

sck cen



sertius

Évaluation de l'impact environnemental

Dans le cadre du report de la désactivation des centrales nucléaires

Doel 4 et Tihange 3

Pour le compte du Service public fédéral Économie, PME, Classes moyennes et Énergie

sous la référence 2022/77251/E2/EIE (Réf. SCK CEN: CO-90-22-6049-00)

Date de publication : 20 mars 2023

© SCK CEN - Date de publication : 20/03/2023

Stichting van Openbaar Nut - Fondation d'Utilité publique - Foundation of Public Utility

Siège social :

Avenue Herrmann Debroux 40 – 1160 Bruxelles - Belgique




Centres de recherche :

Boeretang 200 - 2400 Mol - Belgique

Chemin du Cyclotron 6 - 1348 Ottignies-Louvain-la-Neuve - Belgique

<http://www.sckcen.be>

Signatures des experts en matière d'impact radiologique.

Johan Camps (SCK CEN) Habilité à effectuer la partie radiologique d'une évaluation et d'un rapport d'impact environnemental (FANC-AFCN RIE-003882, approbation du 1er juillet 2018 au 30 juin 2023 inclus)	
Eef Weetjens (SCK CEN) Agrément accordé pour la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement par la FANC-AFCN sous la référence EMER-0303421, en vigueur le 14/12/2022 et valable jusqu'au 13/12/2027	
Lieve Sweeck (SCK CEN) Habilité à effectuer la partie radiologique d'une évaluation et d'un rapport d'impact environnemental FANC-AFCN RIE-003882, approbation du 1er juillet 2018 au 30 juin 2023 inclus	
Geert Olyslaegers (SCK CEN) Habilité à effectuer la partie radiologique d'une évaluation et d'un rapport d'impact environnemental (FANC-AFCN RIE-003882, approbation du 1er juillet 2018 au 30 juin 2023 inclus)	
Hildegarde Vandenhove (SCK CEN) Directrice de l'Institut Environment, Health & Safety Agrément pour la rédaction d'un rapport d'évaluation de l'impact environnemental en ce qui concerne les aspects relatifs aux rayonnements ionisants (FANC-AFCN, agrément à partir du 16 juillet 2020 pour une période de 5 ans)	

SCK CEN - 70 ans d'expérience dans la recherche et la technologie nucléaires

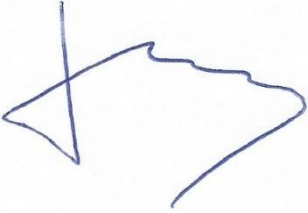



Le SCK CEN compte parmi les plus grands instituts de recherche en Belgique. Plus de 850 collaborateurs s'investissent chaque jour dans le développement d'applications inoffensives de rayonnements ionisants et de radioactivité. Les activités de recherche du SCK CEN s'articulent autour de trois thèmes principaux : la sûreté des installations nucléaires, le développement de la médecine nucléaire et la protection de l'homme et de l'environnement contre le rayonnement ionisant. Le SCK CEN est reconnu dans le monde entier et partage ses connaissances au travers de nombreuses publications et formations, afin de demeurer un pôle de compétences exceptionnelles.

Plus d'infos : www.sckcen.be




Remerciements

Nous tenons à remercier les employés suivants du SCK CEN pour avoir contribué à la réalisation de ce rapport : Katrijn Vandersteen, Pieter De Meutter, Christophe Gueibe, Kristine Leysen

Signatures des experts RIE (aspects non radiologiques Doel 4)

<p>Koen Couderé (KENTER)</p> <p>Coordinateur RIE certifié</p> <p>Agrément n° LNE/ERK/MERCO/2019/00033</p> <p>Expert certifié en RIE Sol, disciplines Géologie et Pédologie</p> <p>Expert RIE certifié Eau, sous-domaines hydrogéologie, eaux marines et eaux de surface et eaux usées</p> <p>Expert RIE certifié Climat</p> <p>Agréation n° EDA-222</p>	
<p>Katelijne Verhaegen (KENTER)</p> <p>Coordinateur RIE certifié.</p> <p>Agréation n° GOP/ERK/MER/2020/00006</p>	
<p>Annemie Pals (effet Mico)</p> <p>Expert RIE certifié Biodiversité</p> <p>Agréation n° EDA-704</p>	
<p>Johan Versieren (Joveco)</p> <p>Expert RIE certifié Air, sous-domaines Odeur et Pollution de l'air</p> <p>Agréation n° EDA-059</p>	

Signatures des experts RIE (aspects non radiologiques Tihange 3)

<p>Xavier Musschoot</p> <p>Coordinateur EIE</p> <p>Ir. Géologue</p> <p>Agrément EIE Sertius du 21/06/2018</p>	
<p>Maureen de Hertogh</p> <p>Bio-ingénieur</p> <p>Experte Eau de Surface et Etre humain</p> <p>Agrément EIE Sertius du 21/06/2018</p>	
<p>Pierre Jacques</p> <p>Bio-ingénieur</p> <p>Expert Biodiversité</p> <p>Agrément EIE Sertius du 21/06/2018</p>	
<p>Amélie de Pierpont</p> <p>Bio-ingénieur</p> <p>Experte Air et Climat</p> <p>Agrément EIE Sertius du 21/06/2018</p>	

Tableaux

Tableau 1 : Calendrier de désactivation selon la loi originale sur la sortie du nucléaire de 2003 et ses amendements ultérieurs (état au 1er janvier 2023).	27
Tableau 2 : Prolongation des réacteurs de Doel 4 et Tihange 3 pour la production d'électricité industrielle telle que prise en compte dans la présente évaluation de l'impact environnemental. Ce calendrier est conforme au projet de loi approuvé par le Conseil des ministres le 1er avril 2022 (voir § 1.1.1).	31
Tableau 3 : Aperçu des données de base de la centrale nucléaire de Doel.	34
Tableau 4 : Principales matières premières et flux de déchets.	39
Tableau 5 : Activités récemment achevées, en cours et planifiées sur les sites de KC Doel et CN Tihange.	42
Tableau 6 : Aperçu des principales installations et activités de Doel 4 et Tihange 3 et leur relation avec les impacts environnementaux potentiels.	60
Tableau 7 : Aperçu des thèmes qui ne sont pas étudiés dans le rapport sur l'impact environnemental stratégique, et justification correspondante.	64
Tableau 8 : Exemples de l'activité de plusieurs sources radioactives, en intensité croissante. Les préfixes utilisés (k, M, G, T, P) figurent plus loin dans le texte.	70
Tableau 9 : Probabilité d'effets stochastiques dus à une exposition à un rayonnement supérieur au fond naturel en pourcentage lors d'une exposition à une dose efficace de 1 Sv à un faible débit de dose (Basé sur le principe de précaution, selon l'approche « linéaire sans seuil », une exposition de 1 mSv au-dessus de l'exposition naturelle, soit 1/1000 des valeurs mentionnées ci-dessous).	76
Tableau 10 : Charge de dose efficace moyenne belge en 2015.	76
Tableau 11 : Limites de dose.	78
Tableau 12 : Synthèse des voies d'exposition possibles lors de l'exploitation d'une centrale nucléaire.	79
Tableau 13 : Cadre de signification des effets radiologiques sur la faune et la flore.	87
Tableau 14 : Principales différences de méthodologie pour déterminer l'impact radiologique sur l'homme et l'environnement.	88
Tableau 15 : Directives internationales et européennes pertinentes relatives à l'identification des scénarios d'accident.	89
Tableau 16 : Niveaux de référence spécifiques pour les mesures de protection immédiates et urgentes. (*) hors ingestion.	96
Tableau 17 : Niveaux dérivés de la contamination du sol (Bq/m ²).	96
Tableau 18 : Niveaux maximaux autorisés pour la libre circulation des denrées alimentaires et des aliments pour animaux (Bq/kg) au sein de l'UE.	97
Tableau 19 : Évaluation de l'état de la masse d'eau Escaut maritime IV.	125
Tableau 20 : Volume d'eau de refroidissement rejetée, d'eaux usées et d'eau de ville usée avec et sans prolongation.	130
Tableau 21 : Synthèse de l'évaluation par rapport au système hydrologique.	139
Tableau 22 : Espèces cibles pour les zones Natura 2000 qui chevauchent ou se trouvent à proximité immédiate de la zone d'étude. X : espèce explicitement incluse comme cible, (x) : l'espèce est la cible d'une zone plus large que celle indiquée dans l'en-tête de colonne, / : l'espèce n'est pas la cible.	144
Tableau 23 : Numérotation des zones de développement naturel existantes.	148
Tableau 24 : Numérotation des futures zones de développement naturel.	150

Tableau 25 : Résultats de la surveillance TRIADE au point de mesure VMM 154100.	153
Tableau 26 : Objectifs de réduction NEC pour 2030 tels que cités dans le Plan flamand de la qualité de l'air 2030.	178
Tableau 27 : Objectifs de qualité de l'air conformément à la directive-cadre européenne sur l'air (révision approuvée le 14 avril 2008).	178
Tableau 28: Concentrations en 2025 à un certain nombre de points d'évaluation à proximité de la zone du projet dans les zones résidentielles environnantes, les stations de surveillance VMM et la frontière néerlandaise (résultat du modèle IMPACT).	187
Tableau 29 : Résultats des émissions de la chaudière vapeur auxiliaire lors des essais après ajustement du réglage des brûleurs (procès-verbal Saacke dd. 19/10/2021) avec les deux brûleurs en fonctionnement simultané.	189
Tableau 30 : Aperçu des pertes de fuite.	190
Tableau 31 : Aperçu des installations de combustion en situation planifiée (à partir de 2025).	195
Tableau 32 : Heures de fonctionnement et consommation de carburant prévues en 2022 et extrapolation à la situation prévue en 2025.	198
Tableau 33 : Facteurs d'émission utilisés pour la cartographie (indicative) des émissions des moteurs diesel installés en permanence (source : Arcadis/NRG 2021)	200
Tableau 34 : Estimation des émissions attendues de gaz de combustion des installations installées en permanence pour 2026.	201
Tableau 35 : Estimation des émissions attendues de gaz de combustion des installations installées en permanence pour 2030.	201
Tableau 36 : Estimation des émissions attendues de gaz de combustion des installations installées en permanence pour 2035.	201
Tableau 37 : Caractéristiques du modèle utilisées dans les calculs d'impact et de dépôt.	202
Tableau 38 : Calcul de l'impact dans la situation prévue sur la base des émissions estimées pour 2026.	204
Tableau 39 : Impact relatif dans la situation prévue sur la base des émissions estimées pour 2026 calculées en pourcentage de contribution aux valeurs limites ou d'essai.	206
Tableau 40 : Aperçu des pertes de fuite possibles après 2025.	210
Tableau 41 : Production d'électricité historique Doel 4.	211
Tableau 42 : Estimation des émissions évitées par rapport à l'utilisation de centrales TVG au gaz naturel de dernière génération.	212
Tableau 43 : Moteurs à combustible fossile clairement attribuables au fonctionnement de Doel 4.	216
Tableau 44 : Émissions de gaz à effet de serre (tonne CO ₂ éq/an) pour la centrale nucléaire de Doel (KC Doel) et le réacteur de Doel 4 pour la période 2015-2021.	216
Tableau 45 : Émissions de CO ₂ estimées (dans un scénario de sortie complète du nucléaire en 2025 (Central) causées par la production de 7500 GWh d'électricité par an, à l'intensité carbone moyenne de la production d'électricité pour chaque année.	221
Tableau 46. Aperçu des facteurs de stress environnementaux potentiellement pertinents.	228
Tableau 47 : Utilisation de l'espace dans la zone d'étude de l'installation.	230
Tableau 48 : Effectifs de la population dans un rayon de 2 et 5 km autour de la centrale nucléaire de Doel (source : Statbel).	232

Tableau 49 : Dose annuelle en mSv du rayonnement externe enregistrée par les 18 stations TELERAD autour du site de Doel (Données basées sur les données FANC-AFCN 10 minutes). La moyenne et l'écart type sont également donnés.	240
Tableau 50 : Limites de rejets à l'échelle du site de KC Doel en activité totale annuelle (12 mois glissants) pour différents groupes ou radionucléides individuels surveillés (licence d'exploitation KC Doel).	243
Tableau 51 : Limites de rejets atmosphériques instantanés pour les tranches Doel 1 et 2, Doel 3 et 4 et le bâtiment de traitement des eaux et des déchets (TED).....	243
Tableau 52 : Limites de rejets des effluents liquides.	247
Tableau 53 : Programme de supervision de la FANC-AFCN aux abords de KC Doel.....	250
Tableau 54 : Programme de surveillance de l'exploitant.....	251
Tableau 55 : Dose efficace par an pour l'individu critique par catégorie d'âge résultant des rejets gazeux, liquides et totaux correspondant aux limites actuelles de rejets pour l'ensemble du site de KC Doel.	252
Tableau 56 : Dose efficace par an pour l'individu critique par catégorie d'âge résultant des rejets gazeux, liquides et totaux réels pour l'ensemble du site de KC Doel.	253
Tableau 57 : Dose efficace des rejets gazeux et liquides estimée de manière prudente pour l'individu critique en fonctionnement normal du projet. La fourchette donnée dans la dose efficace pour l'ensemble du site est l'évaluation dans le temps sur une période de 10 ans basée sur l'expérience de la phase post-opérationnelle des réacteurs en Allemagne.	256
Tableau 58 : Dose efficace et dose équivalente à la thyroïde sur le périmètre de KC Doel (300 mètres du point de rejet) en raison de la survenance d'un LOCA et d'un FHA pour Doel 4, comparées aux limites de dose telles que décrites dans les données générales au titre de l'article 37 du traité Euratom, qui fait partie de la licence, en mSv. Sont également ajoutés à titre informatif les résultats d'une analyse d'impact selon les directives pour les nouvelles installations de Classe 1.	257
Tableau 59 : Dose efficace et dose équivalente à la thyroïde sur le périmètre de KC Doel en raison de la survenance d'une CSBO pour Doel 4.	258
Tableau 60 : Volumes annuels de déchets de faible et moyenne activité transportés de KC Doel à Belgoprocess, et les volumes résultants à stocker après y avoir été traités. DC : déchets conditionnés ; DNC : déchets non conditionnés ; ND : données non disponibles. En 2014, une correction a été apportée aux chiffres des années précédentes ; les valeurs corrigées ont été reprises ici. À partir de 2015, le volume est calculé selon une méthodologie différente : les volumes de résines non conditionnées sont pris en compte..	262
Tableau 61 : Nombre d'assemblages de combustibles finalement déchargés dans les différentes tranches nucléaires de KC Doel.	263
Tableau 62 : Nombre de tonnes de matières fissiles (tML ou tonnes de Métaux Lourds) définitivement déchargées dans les différentes tranches nucléaires de KC Doel.	264
Tableau 63 : Composition des principaux éléments des pièces de la cuve du réacteur de Doel 4 (en % poids).....	267
Tableau 64 : Activité rejetée des différents groupes de radionucléides importants pour l'impact.....	268
Tableau 65 : La dose efficace totale (DET), la dose équivalente à la thyroïde (pour les deux individus critiques) et le dépôt maximal d'I-131 pour les différents pays voisins et pour les différents scénarios d'accidents considérés ont été déterminés en utilisant la méthodologie Flexpart. Deux valeurs sont données pour les Pays-Bas. La première valeur a été déterminée avec la méthodologie pour l'impact local, la valeur entre parenthèses avec la méthodologie Flexpart (voir texte). Pour l'évaluation nous utilisons la méthode locale pour les Pays-Bas (pour les doses) et la méthode Flexpart pour les autres pays.	269
Tableau 66 : Etat écologique et chimique de la masse d'eau MV35R (2013).	283
Tableau 67 : Etat écologique et chimique de la masse d'eau MV35R (2018).	284

Tableau 68 : Nombre de jours où des seuils de température donnés sont dépassés - station ANDENNE.....	285
Tableau 69 : Nombre de jours où des seuils de température donnés sont dépassés - station Flémalle.....	285
Tableau 70 : Résumé de l'évaluation des objectifs par rapport au système hydrographique.....	294
Tableau 71 : Espèces cibles pour les zones Natura2000 se trouvant à moins de 3 km du site de la centrale de Tihange. x : espèce explicitement reprise comme objectif ; / : l'espèce n'est pas un objectif.	299
Tableau 72 : Évaluation des états écologique et chimique des masses d'eau les plus proches du site en 2013 (Source : eau.wallonie.be).....	309
Tableau 73 : Plafonds pour la réduction des émissions définis dans la directive 2016/2284/UE pour la Belgique (Source : Plan Air Climat Energie 2030).	318
Tableau 74 : Répartition des plafonds d'émission belges pour 2030 entre les Régions (Source : PACE 2030).....	320
Tableau 75 : Activités et types de polluants émis au niveau de la centrale de Tihange.	323
Tableau 76 : Description des installations de combustions liées au fonctionnement de Tihange 3.	323
Tableau 77 : Estimation de la charge des polluants générée annuellement pour l'activité de Tihange 3.	324
Tableau 78 : Données utilisées pour estimer les émissions qui seraient générées par le mix énergétique wallon (Sources : Bilan énergétique de la Wallonie 2020 ; AWAC, 2020).	326
Tableau 79 : Estimation des émissions qui seraient générées si la capacité est entièrement reprise par une centrale TGV au gaz naturel de dernière génération.....	327
Tableau 80 : Estimation de la part relative des émissions « évitées » par rapport à l'objectif NEC-2030.	328
Tableau 81 : Résumé de l'évaluation des objectifs par rapport à la discipline aérienne.....	329
Tableau 82 : Émissions de gaz à effet de serre (tonnes éq. CO ₂ /an) et intensité des émissions (g éq. CO ₂ /kWh) estimées pour l'unité Tihange 3 pour la période 2012-2021 (Source : déclarations environnementales 2013-2022, Engie).	333
Tableau 83: Émissions de CO ₂ estimées (dans un scénario de sortie complète du nucléaire en 2025 (Central) causées par la production de 7500 GWh d'électricité par an, à l'intensité carbone moyenne de la production d'électricité chaque année.	337
Tableau 84 : Résumé de l'évaluation des objectifs par rapport au climat.....	341
Tableau 85. Aperçu des facteurs de stress environnementaux potentiellement pertinents.....	343
Tableau 86 : Dose annuelle en mSv de rayonnement externe enregistrée par les 20 stations Telerad autour du site de CN Tihange (Données basées sur les données FANC-AFCN 10 minutes). La moyenne et l'écart type sont également donnés.....	354
Tableau 87 : Limites de rejets atmosphériques pour l'ensemble du site de CN Tihange (licence d'exploitation CN Tihange).....	359
Tableau 88 : Limites de rejets des effluents liquides pour l'ensemble du site de CN Tihange.	363
Tableau 89 : Programme de surveillance FANC-AFCN des abords de CN Tihange.....	365
Tableau 90 : Programme de surveillance de l'exploitant.....	366
Tableau 91 : Dose efficace par an pour l'individu critique par catégorie d'âge de la personne résultant des rejets gazeux, liquides et totaux correspondant aux limites actuelles de rejets pour l'ensemble du site de CN Tihange.....	367
Tableau 92 : Dose efficace de CN Tihange en mSv/an pour les rejets gazeux et liquides réels.....	368
Tableau 93 : Dose efficace des rejets gazeux et liquides estimée de manière prudente pour l'individu critique en fonctionnement normal du projet. La fourchette donnée dans la dose efficace pour l'ensemble du site	

est l'évolution dans le temps sur une période de 10 ans basée sur l'expérience de la phase post-opérationnelle des réacteurs en Allemagne.....	371
Tableau 94 : Dose efficace maximale et dose équivalente à la thyroïde en dehors du périmètre du site de CN Tihange en raison de la survenance d'un LOCA et d'un FHA pour Tihange 3, comparées aux limites de dose telles que décrites dans les données générales au titre de l'article 37 du traité Euratom, qui font partie de la licence, en mSv. Sont également ajoutés à titre informatif les résultats d'une analyse d'impact selon les directives pour les nouvelles installations de Classe 1.....	372
Tableau 95 : Dose efficace et dose équivalente à la thyroïde sur le périmètre de CN Tihange en raison de la survenance d'une CSBO pour Tihange 3 (individu le plus critique).....	373
Tableau 96 : Volumes annuels de déchets de faible et moyenne activité produits sur le site de Tihange, et plus particulièrement pour la tranche nucléaire Tihange 3. DC : déchets conditionnés.....	376
Tableau 97 : Composition des principaux éléments des pièces de la cuve du réacteur de Tihange 3 (en % poids).	379
Tableau 98 : Principaux nucléides contributeurs (en %) à l'activité dans les différentes parties de la cuve du réacteur après 50 ans d'irradiation.....	381
Tableau 99 : Activité rejetée des différents groupes de radionucléides importants pour l'impact.....	383
Tableau 100. La dose efficace maximale et la dose équivalente à la thyroïde pour un individu critique et le dépôt maximal pour les différents scénarios d'accident et pour les différents pays voisins (méthodologie Flexpart).....	384
Tableau 101 : Directives européennes et internationales pertinentes concernant la planification d'urgence nucléaire.	398
Tableau 102 : Législation belge pertinente pour la planification d'urgence nucléaire.....	398
Tableau 103 : Valeurs indicatives d'intervention (VII) et zones de préparation ou de planification d'urgence (rayon des cercles en km) (ZPU) fixées par la Belgique, les Pays-Bas, l'Allemagne et la France autour de la centrale nucléaire de Doel et Tihange pour les mesures de protection immédiate en cas d'urgence nucléaire).	400
Tableau 104 : Exercices KC Doel au cours des 10 dernières années (Source : NCCN).....	401
Tableau 105 : Exercices CN Tihange au cours des 10 dernières années (Source : NCCN).....	402

Figures

- Figure 1 : Localisation des centrales nucléaires de Doel et Tihange (orange). Les centrales nucléaires aux frontières avec la Belgique (vert) et les autres installations nucléaires de classe 1 en Belgique (bleu) sont également représentées. 31
- Figure 2 : Fonctionnement de la centrale nucléaire avec, de gauche à droite, le bâtiment du réacteur, la salle des machines et le circuit de refroidissement (Source : Electrabel sa). 35
- Figure 3 : Les barrières successives protégeant l'uranium et les produits de fission du monde extérieur, c'est-à-dire que l'oxyde d'uranium comprimé en pastilles (1) est empilé dans les crayons de combustible scellés par soudage (2), qui se trouvent dans la cuve du réacteur (fermée en fonctionnement, ouverte pour le chargement et le déchargement du combustible nucléaire), une cuve en acier de 25 cm d'épaisseur (3) placée dans la sphère primaire en acier du bâtiment réacteur qui est résistant à la forte pression de l'intérieur (4) successivement entourée par le mur secondaire du bâtiment du réacteur en béton armé qui protège les installations des accidents externes (5). 38
- Figure 4 : Déclassement d'une tranche nucléaire tel qu'actuellement prévu par Electrabel SA (Figure Electrabel SA). 44
- Figure 5 : Calendrier des activités liées aux différents réacteurs sur les sites de KC Doel et CN Tihange (MAD : mise à l'arrêt définitif, POP : phase post-opérationnelle, LTO : Long Term Operations, exploitation à long terme). La période de prolongation de 10 ans après 2025 n'est pas exactement figée dans le temps et peut donc être décalée avec la date de désactivation prévue au plus tard le 31 décembre 2037 pour les deux réacteurs. Après l'arrêt définitif de Doel 4 et Tihange 3, une phase post-opérationnelle et une phase de démantèlement de ces réacteurs suit dans chaque scénario (ceci n'est pas représenté sur la Figure pour Doel 4 et Tihange 3). 46
- Figure 6 : Évolution de la capacité installée existante et de la nouvelle capacité requise de production d'électricité pour répondre à la norme de fiabilité belge (Elia 2021). 47
- Figure 7 : Représentation schématique de la situation de référence. 52
- Figure 8 : Sites avec les centrales nucléaires en Belgique (Doel et Tihange) et alentours dans un rayon de 1.000 km. Les sites en vert sont des emplacements avec des tranches opérationnelles. Les sites en démantèlement complet sont indiqués en blanc et les sites en bleu sont des sites où de nouveaux réacteurs sont en construction. Carte basée sur la base de données Power Reactor Information System (PRIS) AIEA (<https://www.iaea.org/pris>). Les cercles représentent la zone d'un rayon de 1.000 km respectivement autour des centrales nucléaires de Doel et Tihange. 58
- Figure 9 : Représentation schématique des grandes lignes du scoping de l'évaluation de l'impact environnemental de la décision politique de prolonger la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3. 63
- Figure 10 : Principaux éléments du continuum stratégique-opérationnel du rapport sur l'impact environnemental appliqués à l'évaluation de l'impact environnemental du projet. 68
- Figure 11 : Décroissance exponentielle de l'activité d'une source radioactive avec le temps (le temps s'exprime en demi-vie, soit le temps qu'il faut pour que l'activité d'une source radioactive diminue de moitié). 72
- Figure 12 : Aperçu des différentes quantités de doses avec leur symbole et leur unité (voir le texte pour une discussion plus approfondie). 74
- Figure 13 : Relation dose-réaction schématique pour les réactions tissulaires (à gauche) et pour les effets stochastiques (à droite). Des réactions tissulaires surviennent à partir d'une certaine dose seuil. Par la suite, l'occurrence augmente rapidement jusqu'à ce qu'elle se produise chez tout le monde. L'occurrence d'effets stochastiques présente un lien linéaire avec la dose à laquelle on est exposé. À faibles doses (en dessous de 50-100 mSv de dose efficace), cependant, cela n'a jamais été démontré et, par précaution, on suppose une extrapolation linéaire. L'occurrence totale des effets stochastiques (cancer et effets génétiques) pour une personne du public à faible débit de dose est présentée ici, où à une dose efficace

de 1 Sv, on s'attend à une occurrence supplémentaire de 5,7 % (en plus de l'occurrence spontanée qui est beaucoup plus probable) des effets stochastiques.....	75
Figure 14 : Étapes méthodologiques pour l'impact radiologique des rejets en fonctionnement normal.....	81
Figure 15 : Principe des limites de dose et optimisation : la limite de dose de 1 mSv/an par rapport à la dose moyenne par an qu'un Belge reçoit de toutes les expositions (naturelles, médicales et industrielles) et par rapport aux valeurs typiques des doses de rejets radioactifs (tant la dose provenant des limites de rejets que la dose typique provenant des rejets réels sont indiquées) pour les centrales nucléaires de Doel et Tihange.	82
Figure 16 : Occurrence relative de la direction du vent (gauche Doel – droite Tihange) basée sur des données horaires pour une période de 5 ans [2018-2022] (Source : IRM – CEPMMT).....	84
Figure 17 : État opérationnel et accidentel d'une centrale nucléaire ^{xxiv}	89
Figure 18 : La dissémination de la radioactivité et les voies d'exposition des personnes à proximité dans un scénario d'accident avec rejet de radioactivité dans l'atmosphère.	94
Figure 19 : Domaine de calcul des effets transfrontières des scénarios d'accident. Les nombres dans le bas de la Figure représentent la longitude [°], les nombres à gauche de la Figure représentent la latitude [°]. (Voir le texte pour plus d'explications).....	98
Figure 20 : Exemple de calcul Flexpart pour un rejet fictif au 1er janvier 2020 entre 00h00 UTC et 06h00 UTC de 1 TBq d'aérosols radioactifs de la centrale nucléaire de Doel. La ligne du haut indique la concentration intégrée dans le temps ; la ligne du bas indique le dépôt total. Les résultats des calculs sont présentés pour la grande grille (colonne de gauche) et la petite grille (colonne de droite).	99
Figure 21 : Exemple de calcul Flexpart pour un rejet fictif au 1er juillet 2020 entre 00h00 UTC et 06h00 UTC de 1 TBq d'iode élémentaire 131 de la centrale nucléaire de Tihange. La ligne du haut indique la concentration intégrée dans le temps ; la ligne du bas indique le dépôt total. Les résultats des calculs sont présentés pour la grande grille (colonne de gauche) et la petite grille (colonne de droite).	100
Figure 22 : Distribution de la concentration maximale intégrée dans le temps (CIT) en France après un hypothétique rejet de gaz nobles radioactifs pendant 6 heures de la centrale nucléaire de Doel. Le nombre total de valeurs CIT indiquées dans la distribution est de 8779.....	101
Figure 23 : Distribution du dépôt total maximal en Allemagne après un hypothétique rejet d'aérosol radioactif pendant 6 heures de la centrale nucléaire de Tihange. Le nombre total de valeurs CIT indiquées dans la distribution est de 8779.	101
Figure 24 : La dose en mSv par an due au rayonnement externe (rayonnement cosmique et terrestre) telle que déterminée sur la base des relevés TELERAD (année 2020). Principalement en raison de la composition du sous-sol, la dose externe sur la Belgique varie considérablement sur une base annuelle, à savoir entre 0,58 et 1,16 mSv/an. Cette Figure illustre aussi très bien les différentes strates du réseau TELERAD : une densification du réseau autour des installations nucléaires avec des stations annulaires et des stations d'agglomération et, en plus, le réseau national qui couvre tout le territoire avec typiquement 1 détecteur tous les 20 km x 20 km (Figure : FANC-AFCN).	104
Figure 25 : L'impact sur les personnes et l'environnement de l'exploitation de KC Doel et CN Tihange est surveillé via deux voies complémentaires : surveillance des rejets et surveillance du cadre de vie.	105
Figure 26 : Principe d'entreposage à sec des assemblages de combustible usé en emballages de transport-entreposage (DPC - dual purpose cask) tel que prévu dans les installations d'entreposage du SF ² . L'emballage est constitué d'une structure métallique conçue de manière à ce que la chaleur résiduelle du combustible usé puisse être dissipée passivement par conduction interne, rayonnement et convection naturelle. L'emballage est fait de métal et d'autres matériaux qui offrent une protection contre les rayonnements ionisants.	110

Figure 27 : Illustrations des trois types de caissons à déchets : type I (gauche), type II (milieu) et type III (droite). Après mise en place du couvercle et remplissage de l'espace entre les déchets et le caisson par du mortier, ces colis sont appelés « monolithes ».	111
Figure 28 : Schéma de l'installation de stockage des déchets de catégorie A lors du remblayage avec des monolithes.	112
Figure 29 : Superconteneur pour déchets vitrifiés (gauche) et monolithe-B pour déchets compactés (droite).	114
Figure 30 : Superconteneurs pour le combustible usé si considéré comme un déchet : un superconteneur peut contenir 4 grappes de combustible UOX (à gauche) ou 1 grappe de combustible MOX (à droite) ^{lix}	114
Figure 31 : Évolution de la saturation en oxygène (indice de Prati) dans l'Escaut maritime (point de mesure 154100) entre 1994 et 2022 (Source : MM, géoguchet qualité de l'eau).....	126
Figure 32 : Bilan hydrique KC Doel pour 2021.	128
Figure 33 : Volume d'eau de refroidissement (m ³) rejeté suite à la prolongation de dix ans de l'exploitation de Doel 4 par rapport à la situation de référence (pas de prolongation).	130
Figure 34 : Zones inondables pluviales (carte des tests d'eau, Source : waterinfo.be).	132
Figure 35 : Carte des risques d'inondations pluviales pour le climat actuel pour une probabilité d'occurrence faible et élevée (Source : waterinfo.be).	133
Figure 36 : Carte des risques d'inondations pluviales pour le climat futur pour une probabilité d'occurrence faible et élevée (Source : waterinfo.be).....	133
Figure 37 : Charge en N dans les eaux usées industrielles sur la période 2017-2021 (Source : Electrabel SA, déclaration environnementale 2022).	135
Figure 38 : Zones de protection de la nature.	143
Figure 39 : Aperçu des zones de développement naturel existantes (permanentes et temporaires).	148
Figure 40 : Futures zones de développement naturel.	149
Figure 41 : Tableau final du développement naturel pour autant qu'il soit connu et basé sur des compensations naturelles à réaliser qui n'ont pas encore été clarifiées.	150
Figure 42 : Carte de valorisation biologique (version 2020) à proximité immédiate de la centrale.....	154
Figure 43 : Carte des habitats à proximité immédiate de la centrale.....	155
Figure 44 : Schéma de principe de l'eau de refroidissement avec indication de la prise d'eau Doel 1&2 et Doel 3&4 (Source : Electrabel SA, 2011).....	160
Figure 45 : Équiniveaux de bruit des sources en fonctionnement continu en journée, en soirée et de nuit (Source : RIE Arcadis/NRG, 2021).	161
Figure 46 : Dépassement des charges critiques (modélisées et pondérées par surface) pour l'eutrophisation (à gauche) et l'acidification (à droite) dans les forêts, les prairies riches en espèces et les landes entre 1990 et 2017 (Source : Schneiders et al., 2020).	162
Figure 47 : Dépôts eutrophisants actuels en kg N/ha.an (VLOPS22).	164
Figure 48 : Dépôts acidifiants réels en Zeq/ha.an (VLOPS22).....	164
Figure 49 : Carte des dépassements des dépôts eutrophisants.	166
Figure 50 : Carte de dépassement des dépôts acidifiants.	167
Figure 51 : Fertilisation, contribution au plan.....	169
Figure 52 : Acidification, contribution au plan.	170
Figure 53 : Dépôts eutrophisants dans la zone VEN.	173

Figure 54 : Dépôts acidifiants dans la zone VEN.....	174
Figure 55 : Concentration moyenne annuelle en PM ₁₀ en 2019 (Source : VMM).....	183
Figure 56 : Concentration moyenne annuelle de PM _{2,5} en 2019 (Source : VMM).....	184
Figure 57 : Concentration moyenne annuelle de NO ₂ en 2019 (Source : VMM).....	185
Figure 58 : Concentration moyenne annuelle de CE en 2019 (Source : VMM).....	186
Figure 59 : Présentation de l'impact calculé (moyenne annuelle) par rapport aux équivalents NO _x (µg/m ³) dans la situation prévue en 2026 (équivalents NO _x = somme NO + NO ₂ exprimée en NO ₂).....	208
Figure 60 : Concentration moyenne annuelle de NO ₂ (µg/m ³) en situation planifiée (impact 2026 + concentrations de fond 2025).....	209
Figure 61 : Intensité des émissions de gaz à effet de serre (g CO ₂ éq/kWh) du secteur de l'électricité pour les différents États membres de l'UE, en 2020.....	217
Figure 62 : Évolution estimée des émissions directes de gaz à effet de serre de la centrale nucléaire de Doel entre 2023 et 2040.....	219
Figure 63 : Prévion de l'intensité carbone de la production et des importations belges d'électricité (Elia).....	220
Figure 64 : Évolution de l'intensité carbone de la production d'électricité dans un scénario de sortie totale du nucléaire en 2020 (Central) et dans un scénario avec une prolongation de durée de vie de 10 ans pour 2 GW de capacité.....	221
Figure 65 : Dose annuelle en mSv (moyenne sur la période 2015 à 2022 inclus) mesurée par les stations TELERAD exploitées par la FANC-AFCN autour du site de KC Doel (Figure basée sur les données 10 minutes obtenues auprès de la FANC-AFCN).....	240
Figure 66 : Résultat des relevés en hélicoptère au-dessus du site de KC Doel et des abords. Le débit de dose mesuré à partir de l'hélicoptère est indiqué, mais corrigé en fonction de la hauteur au-dessus du sol pour obtenir l'exposition (débit de dose) au sol. Pour plus d'explications : voir le texte ; les couleurs et l'échelle ont été choisies pour mettre en évidence les différences mineures. Les variations s'inscrivent dans les variations naturelles du rayonnement de fond auxquelles on peut s'attendre sur ces abords.....	242
Figure 67 : Rejets gazeux par an pour l'ensemble du site de KC Doel.....	244
Figure 68: Les rejets réels sur une base annuelle pour l'ensemble du site de KC Doel, moyenne pour la période 2014 jusqu'à 2021 inclus, en pourcentage de la limite de rejet pour différents (groupes de) radionucléides.....	245
Figure 69 : Distribution de la dose efficace pour les différentes catégories d'âge en mSv par an pour KC Doel pour les rejets atmosphériques réels des effluents radioactifs les plus importants (moyenne pour la période 2009-2018). La prédominance du carbone 14 (C-14) dans la contribution à la dose efficace est ici bien visible.....	246
Figure 70 : Évolution des rejets liquides de la centrale nucléaire de Doel dans l'Escaut pour la période 2004-2021.....	248
Figure 71 : Distribution de la dose efficace (en mSv/an) par radionucléide et catégorie d'âge suite aux rejets liquides dans l'Escaut pour la période 2009-2018.....	249
Figure 72 : Rejets liquides en % de la limite de rejet pour les rejets liquides dans l'Escaut.....	249
Figure 73 : Emplacements d'échantillonnage pour un programme supplémentaire réalisé par l'exploitant de KC Doel (pour les noms, voir Tableau 54, fond de carte : OpenStreetMap).....	251
Figure 74 : Dose efficace pour l'individu le plus critique aux abords de KC Doel calculée sur la base des rejets réels rapportés. À titre de comparaison, la dose limite pour le public et la dose correspondant aux limites de rejets sont indiquées.....	253

Figure 75 : Représentation schématique de a) le flux de neutrons simulé dans une cuve de réacteur, b) la répartition qui en résulte en classes de déchets et c) la désignation de la zone de transition (en gris) pour le classement a priori en déchets de catégorie A (vert) ou B (violet), a) et b) tirés de.	266
Figure 76 : Spectre normalisé de neutrons par unité de léthargie.....	267
Figure 77: Barrages de la Meuse entre Andenne et Lixhe et localisation de la centrale de Tihange (Source : SPW).	282
Figure 78 : Evolution de la température (2018-2020) en amont (Andenne) et en aval (Flémalle) de la centrale Tihange.	285
Figure 79 : Bilan hydrique de la CN Tihange pour 201.	286
Figure 80 : Zones de protection de la nature.	298
Figure 81 : Sites de grand intérêt biologique dans la région du projet.	302
Figure 82 : Structure écologique principale (Source : GxABT 2012).	305
Figure 83 : Prise de vue au niveau des deux hectares réhabilités le long de la N90 (Source : Electrabel nv 2018)..	307
Figure 84 : Photographies des aménagements réalisés sur le site de la centrale et sur la parcelle Natagora (Source : Electrabel nv 2017)	308
Figure 85 : Système de répulsion (6 émetteurs à infrasons) au niveau des prises d'eau dans la Meuse (Source : ULiège 2009).....	313
Figure 86 : Aménagements en faveur de la biodiversité (Source : Engie 2022).....	315
Figure 87 : Emissions de GES (tonnes éq.CO2/an) pour la centrale de Tihange et attribuées à l'unité Tihange 3...333	333
Figure 88 : Intensité des émissions de gaz à effet de serre (g éq.CO ₂ /kWh) du secteur de l'électricité pour les différents États membres de l'UE (EEA, 2022).	334
Figure 89 : Prévion de l'intensité carbone de la production et des importations belges d'électricité (Elia).....	336
Figure 90 : Évolution de l'intensité carbone de la production d'électricité dans un scénario de sortie totale du nucléaire en 2020 (Central) et dans un scénario avec une prolongation de durée de vie de 10 ans pour 2 GW de capacité. (Nuclear 10).....	336
Figure 91 : Sites Seveso dans un rayon de 3 km autour de la centrale de Tihange.....	347
Figure 92 : Dose annuelle en mSv (moyenne sur la période 2015 jusqu'à 2022 inclus) mesurée par les stations Telerad exploitées par la FANC-AFCN autour du site de CN Tihange (Figure basée sur les données 10 minutes obtenues auprès de la FANC-AFCN).....	354
Figure 93 : Débit de dose en microSv par heure (µSv/h) au sol déterminé sur la base de relevés en hélicoptère après correction de l'altitude au-dessus de CN Tihange et de ses abords plus larges. L'échelle et les couleurs ont été choisies pour mettre en évidence des différences minimales de débit de dose, par exemple on reconnaît clairement le cours de la Meuse, en raison des niveaux de radioactivité naturelle plus faibles mesurés au-dessus de l'eau. Une petite élévation est visible au-dessus de CN Tihange : voir aussi Figure 95et texte).	356
Figure 94 : Distribution des débits de dose pour tous les relevés effectués au-dessus de CN Tihange et de ses abords plus larges (7 km x 7 km). Seul un très petit nombre de relevés révèlent des valeurs supérieures à 0,100 µSv/h.....	357
Figure 95 : Agrandissement des relevés en hélicoptère au-dessus du site de CN Tihange. Pour plus d'explications : voir le texte ; l'échelle et les couleurs ont été choisies pour mettre en évidence les différences mineures.	358
Figure 96: Rejets gazeux par an pour l'ensemble du site de CN Tihange.....	360

Figure 97 : Rejets en pourcentage de la limite de rejet pour différentes catégories de rejets gazeux pour l'ensemble du site de CN Tihange, moyennés sur 10 ans de 2012 à 2021.....	361
Figure 98 : Répartition de la dose efficace en pourcentage pour l'impact total de dose des rejets gazeux par catégorie d'âge et par radionucléide rejeté pour la période 2009-2020.....	362
Figure 99 : Évolution des rejets liquides de la centrale nucléaire de Tihange dans la Meuse pour la période 2004-2021. ^{.lxvii}	363
Figure 100 : Distribution de la dose efficace par radionucléide et catégorie d'âge suite aux rejets liquides dans la Meuse.....	364
Figure 101 : Rejets liquides en % de la limite de rejet pour les rejets liquides en Meuse.....	364
Figure 102 : Emplacements d'échantillonnage pour le programme supplémentaire réalisé par l'exploitant de CN Tihange (pour les noms, voir Tableau 90, fond de carte : Google Earth Map).	366
Figure 103 : Dose efficace pour l'individu le plus critique aux abords de CN Tihange calculée sur la base des rejets réels signalés. À titre de comparaison, la dose limite pour le public et la dose correspondant aux limites de rejets sont indiquées.	369
Figure 104 : Évolution dans le temps des estimations conservatrices de l'activité massique pour les 3 types de matériaux de la cuve du réacteur de Tihange 3.....	380
Figure 105 : Évolution dans le temps de l'activité massique pour l'anneau de transition de la cuve du réacteur de Tihange 3 : comparaison entre une irradiation continue, une irradiation réaliste en cycles et un cas combiné.....	380
Figure 106 : Évolution dans le temps des principaux produits d'activation pendant la période LTO et leur décroissance dans la période post-arrêt.....	381
Figure 107 : Comparaison des activités calculées à l'anneau de transition avec différents spectres de neutrons. ...	382

Abréviations

AFCN	Agence fédérale de Contrôle nucléaire
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ANB	Agentschap voor Natuur en Bos
AOX	Composés organohalogénés adsorbables
AR	Arrêté royal
AR	Arrêté royal
BC	Carbone noir
BEL V	Autorité de contrôle des installations nucléaires (filiale de l'AFCN)
CCSA	Capacité de conteneurs supplémentaire Anvers
CFVS	Containment Filtered Venting System
CIPR	Commission internationale de protection radiologique
CN	Centrale nucléaire
CN (KC)	Centrale nucléaire (Kerncentrale)
CO ₂	Dioxyde de carbone
CQE	Coefficient de qualité écologique
CRM	Capacity remuneration mechanism
CSBO	Complete Station Black Out
dB	Décibel
DBO	Demande biologique en oxygène
DCE	Directive-cadre Eau
DCE	Directive-cadre Eau
DCO	Chemische zuurstofvraag (demande chimique en oxygène)
DEC	Design Extension Conditions
DHP	Déshydrogénation propylène
DNG	Deuxième nivellement général
DPIE	Décret sur la Politique intégrée de l'Eau
DSM	Demand side management
DTL	Détecteur de thermoluminescence
EIE	Évaluation de l'impact environnemental
ESD	Effort sharing decision
EVP	Équivalent véhicule personnel
FHA	Fuel handling accident

GUN	Grande unité nature
GUND	Grande unité nature en développement
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt heure
Ha	Hectare
HERCA	Heads of the European Radiological protection Competent Authorities
INES	Échelle internationale des événements nucléaires
LOCA	Loss Of Coolant Accident
LTO	Long Term Operation
MAD	Mise à l'arrêt définitif
NCCN	Centre de crise National
NOx	Oxyde d'azote
OCDE/AEN	Organisation de Coopération et de Développement économiques / Agence pour l'Énergie nucléaire
OM	Objectifs de maintien
OMS	Organisation mondiale de la Santé
OM-S	Objectifs de maintien spécifiques
ONDRAF	Organisme National belge des Déchets radioactifs et des Matières fissiles enrichies
PANES	Plan d'action national pour l'environnement et la santé
Pb	Plomb
PES	Plan d'exécution spatial
PESR	Plan d'exécution spatial régional
PM	Particulate Matter
PPA	Plan particulier d'aménagement
PPE	Programme de protection des espèces
PRIS	Power Reactor Information System
PWR	Pressurised Light-Water Moderated and Cooled Water Reactor
RDE	Rive droite de l'Escaut
RGE	Rive gauche de l'Escaut
RGPRI	l'Arrêté royal du 20 juillet 2001 Règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants
RIE	Rapport sur l'impact environnemental
SEQE	Système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne (Emissions trading system)
SF ²	Spent Fuel Facility
SO ₂	Dioxyde de soufre

TMI	Three Mile Island
TVG	Turbine à vapeur et à gaz
UE	Union européenne
VCD	Valeur critique de dépôt
VEKP	Vlaams Energie- en Klimaatplan
VEN	Réseau écologique flamand (Vlaams Ecologisch Netwerk)
VLAREM	Vlaams Reglement betreffende de milieuvergunning
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij
WENRA	Association des responsables des Autorités de sûreté nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest (Western European Nuclear Regulators' Association)
ZDH	Zone de la directive Habitats
ZDO	Zone de la directive Oiseaux
ZLN	Zones de liaison naturelle
ZPS-H	Zone de protection spéciale de la directive Habitats
ZPS-O	Zone de protection spéciale de la directive Oiseaux

Table des matières

Signatures des experts en matière d'impact radiologique.....	3
Signatures des experts RIE (aspects non radiologiques Doel 4)	4
Signatures des experts RIE (aspects non radiologiques Tihange 3).....	5
Tableaux.....	6
Figures	11
Abréviations.....	17
Partie I. Cadre général et méthodologie de l'évaluation de l'impact environnemental du report de la désactivation de Doel 4 et Tihange 3.....	26
1 Introduction.....	27
1.1 Contexte de l'évaluation de l'impact environnemental	27
1.1.1 Antécédents	27
1.1.2 Initiateur et équipe d'experts	29
1.1.3 Guide de lecture.....	29
1.2 Objet de l'évaluation de l'impact environnemental et alternatives à étudier.....	30
1.2.1 Le Projet.....	30
1.2.2 Évolution de la sécurité d'approvisionnement au cours de la période 2023-2032	47
1.2.3 Alternatives.....	50
1.2.4 Situation de référence et scénario de référence.....	52
1.2.5 Développements autonomes et contrôlés potentiellement pertinents	53
1.3 Procédure	56
2 Méthodologie générale	59
2.1 Évaluation des informations disponibles	59
2.2 Méthodologie générale pour l'évaluation des effets non nucléaires.....	59
2.2.1 Scoping	59
2.2.2 Cadre d'évaluation général.....	67
2.2.3 Cadres d'évaluation spécifiques	67
2.2.4 Profondeur de l'évaluation	67
2.3 Méthodologie générale pour l'évaluation des effets nucléaires, y compris les déchets radioactifs et le combustible usé.....	68
2.3.1 Introduction	68
2.3.2 Concepts de radioprotection de base utilisés dans l'évaluation, y compris la législation pertinente	69
2.3.3 Méthodologie générale d'exposition en fonctionnement normal	79
2.3.4 Méthodologie générale des accidents	88
2.3.5 Surveillance de l'état radiologique du milieu de vie.....	102

2.3.6	Classification des déchets radioactifs et gestion de ces déchets et combustibles usés.....	106
2.3.7	Gestion générale des déchets radioactifs et du combustible usé	107
2.3.8	Méthodologie générale relative aux déchets radioactifs et combustible usé	115
Partie II. Évaluation de l'impact environnemental du report de la désactivation de la centrale nucléaire de Doel 4.....		
3 Effets non radiologiques Doel 4		117
3.1	Généralités.....	117
3.2	Discipline Eau	117
3.2.1	Objectifs politiques pertinents.....	117
3.2.2	Effets pertinents et relations de cause à effet	123
3.2.3	Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence.....	124
3.2.4	Description des effets	127
3.2.5	Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques	137
3.2.6	Résumé des principales conclusions	139
3.2.7	Mesures d'atténuation.....	140
3.2.8	Lacunes dans les connaissances et surveillance	140
3.3	Discipline Biodiversité.....	140
3.3.1	Objectifs politiques pertinents.....	140
3.3.2	Effets pertinents et relations de cause à effet	142
3.3.3	Délimitation de la zone d'étude.....	143
3.3.4	Description de la situation de référence.....	144
3.3.5	Description des effets	156
3.3.6	Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques	171
3.3.7	Résumé des principales conclusions	176
3.3.8	Mesures d'atténuation.....	177
3.3.9	Lacunes dans les connaissances et surveillance	177
3.4	Discipline Air	177
3.4.1	Objectifs politiques pertinents.....	177
3.4.2	Effets pertinents et relations de cause à effet	181
3.4.3	Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence.....	182
3.4.4	Description des effets	188
3.4.5	Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques	211
3.4.6	Résumé des principales conclusions	212
3.4.7	Mesures d'atténuation.....	213
3.4.8	Lacunes dans les connaissances et surveillance	213
3.5	Discipline Climat.....	213
3.5.1	Objectifs politiques pertinents.....	213

3.5.2	Effets pertinents et relations de cause à effet	215
3.5.3	Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence.....	215
3.5.4	Description des effets	215
3.5.5	Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques	226
3.5.6	Résumé des principales conclusions	227
3.5.7	Mesures d'atténuation.....	227
3.5.8	Lacunes dans les connaissances et surveillance	227
3.6	Homme et Santé	228
3.6.1	Effets pertinents et relations de cause à effet	228
3.6.2	Délimitation de la zone d'étude.....	230
3.6.3	Description de la situation de référence.....	230
3.6.4	Incidences abordées.....	233
3.6.5	Résumé des principales conclusions	238
3.6.6	Mesures d'atténuation.....	238
3.6.7	Lacunes dans les connaissances et surveillance	238
3.7	Effets transfrontières	238
4	Effets radiologiques Doel 4	239
4.1	Rayonnement direct et rejets en fonctionnement normal	239
4.1.1	Situation actuelle	239
4.1.2	Effets lors de la désactivation de Doel 4 (alternative zéro).....	254
4.1.3	Effets de la prolongation de Doel 4 pendant 10 ans après 2025 (Le projet)	256
4.2	Rejets accidentels.....	256
4.2.1	Accident de base de conception.....	256
4.2.2	Accident d'extension de la conception	258
4.2.3	Impact des accidents considérés sur la biodiversité.....	259
4.2.4	Rejets accidentels	260
4.3	Déchets radioactifs d'exploitation.....	260
4.3.1	Traitement des déchets sur site.....	260
4.3.2	Quantités de déchets de faible et moyenne activité.....	261
4.3.3	Effets de la LTO et implications pour la gestion des déchets	262
4.4	Combustibles usés	263
4.4.1	Quantités.....	263
4.4.2	Effets de la LTO et implications pour la gestion des déchets	264
4.5	Démantèlement	265
4.5.1	Données d'entrée	266
4.5.2	Résultats	268
4.5.3	Conclusions	268

4.6	Effets transfrontières	268
4.6.1	Fonctionnement normal	268
4.6.2	Accidents	268
4.7	Mesures d'atténuation : planification d'urgence	270
4.8	Lacunes dans les connaissances	270
4.9	Recommandations	270
5	Synthèse et de décision site Doel – Doel 4.....	271
5.1	Synthèse des effets	271
5.1.1	Effets non radiologiques.....	271
5.1.2	Effets radiologiques	272
5.2	Synthèse des effets transfrontières.....	274
Partie III. Évaluation de l'impact environnemental du report de la désactivation de la centrale nucléaire de Tihange 3		
275		
6	Effets non radiologiques Tihange 3.....	276
6.1	Généralités	276
	Objectifs politiques pertinents.....	276
	Effets pertinents et relations de cause à effet	276
	Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence.....	276
	Description des impacts	276
	Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques.....	276
6.2	Eau	276
6.2.1	Objectifs politiques pertinents.....	276
6.2.2	Effets pertinents et relations de cause à effet	280
6.2.3	Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence.....	281
6.2.4	Mesures d'atténuation.....	294
6.2.5	Lacunes dans les connaissances et suivi	294
6.3	Biodiversité.....	295
6.3.1	Objectifs politiques pertinents.....	295
6.3.2	Discussion des impacts à étudier.....	296
6.3.3	Délimitation de la zone d'étude	297
6.3.4	Description de la situation de référence.....	298
6.3.5	Description des effets	310
6.3.6	Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques	316
6.3.7	Conclusions	317
6.3.8	Mesures d'atténuation.....	318
6.4	Air.....	318
6.4.1	Objectifs politiques pertinents.....	318

6.4.2	Effets pertinents et relations de cause à effet	321
6.4.3	Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence.....	322
6.4.4	Description des effets	323
6.4.5	Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques	327
6.4.6	Résumé des principales conclusions	329
6.4.7	Mesures d'atténuation.....	329
6.4.8	Lacunes dans les connaissances et suivi	329
6.5	Climat	329
6.5.1	Objectifs politiques pertinents.....	329
6.5.2	Effets pertinents et relations de cause à effet	331
6.5.3	Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence.....	332
6.5.4	Description des effets	332
6.5.5	Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques	340
6.5.6	Résumé des principales conclusions	341
6.5.7	Mesures d'atténuation.....	341
6.5.8	Lacunes dans les connaissances et suivi	341
6.6	Homme et Sécurité.....	342
6.6.1	Contexte juridique et politique.....	342
6.6.2	Délimitation de la zone d'étude.....	346
6.6.3	Description de la situation actuelle.....	346
6.6.4	Évaluation des impacts du projet	347
6.6.5	Évaluation des effets politiques.....	351
6.6.6	Mesures d'atténuation.....	351
6.6.7	Lacunes dans les connaissances.....	351
6.7	Effets transfrontières.....	352
7	Effets radiologiques Tihange 3.....	353
7.1	Rayonnement direct et rejets en fonctionnement normal	353
7.1.1	Situation actuelle	353
7.1.2	Effets de la non-prolongation de Tihange 3.....	370
7.1.3	Effets de la prolongation de Tihange 3 pendant 10 ans après 2025 (Le projet)	371
7.2	Rejets accidentels	371
7.2.1	Accident de conception	371
7.2.2	Accident d'extension de la conception	373
7.2.3	Impact des accidents considérés sur la biodiversité.....	374
7.2.4	Rejets accidentels	374
7.3	Déchets radioactifs d'exploitation.....	376
7.3.1	Traitement des déchets sur site.....	376

7.3.2	Quantités de déchets de faible et moyenne activité	376
7.3.3	Effets de la LTO et implications pour la gestion des déchets	377
7.4	Combustibles usés	377
7.4.1	Quantités	377
7.4.2	Effets de la LTO et implications pour la gestion des déchets	377
7.5	Démantèlement	378
7.5.1	Données d'entrée	378
7.5.2	Résultats	379
7.5.3	Conclusions	382
7.6	Effets transfrontières	383
7.6.1	Fonctionnement normal	383
7.6.2	Accidents	383
7.7	Mesures d'atténuation : planification d'urgence	384
7.8	Lacunes dans les connaissances	384
7.9	Recommandations	384
8	Synthèse et conclusion site Tihange – Tihange 3	386
8.1	Synthèse des effets	386
8.1.1	Effets non radiologiques	386
8.1.2	Effets radiologiques	387
8.2	Synthèse des effets transfrontières	389
Partie IV. Synthèse et conclusion générale Évaluation de l'impact environnemental du report de la désactivation de Doel 4 et Tihange 3		390
9	Synthèse des effets du projet	391
9.1	Évaluation des effets conventionnels	391
9.2	Évaluation des aspects radiologiques	392
9.2.1	Impact sur les personnes et l'environnement en fonctionnement normal	392
9.2.2	Impact sur les personnes et l'environnement en cas d'accident	393
9.2.3	Impact sur la production de déchets et de combustibles usés	395
9.3	Mesures d'atténuation et lacunes dans les connaissances pour les effets non radiologiques	396
9.3.1	Mesures d'atténuation	396
9.3.2	Lacunes dans les connaissances et surveillance	397
9.4	Mesures d'atténuation et lacunes dans les connaissances concernant les effets radiologiques	397
9.4.1	Planification d'urgence	397
9.4.2	Lacunes dans les connaissances	402
10	Conclusion générale	403
	Bibliographie	406

Partie I. Cadre général et méthodologie de l'évaluation de l'impact environnemental du report de la désactivation de Doel 4 et Tihange 3

1 Introduction

1.1 Contexte de l'évaluation de l'impact environnemental

1.1.1 Antécédents

Depuis la mise en service des différents réacteurs sur les sites de Doel et Tihange dans les années 1975-1985 (voir Tableau 1), l'énergie nucléaire est la principale source d'électricité en Belgique, avec une part de production annuelle comprise entre environ 40 et 60 % ces 35 dernières années.

La sortie progressive de l'utilisation de l'énergie nucléaire pour la production d'électricité industrielle sur le territoire belge est régie par la **loi du 31 janvier 2003** sur la sortie progressive de l'énergie nucléaire à des fins de production industrielle d'électricité (loi sur la sortie du nucléaire). Celle-ci stipulait que les centrales nucléaires seraient désactivées 40 ans après la date de leur mise en service industrielle et que toutes les licences individuelles relatives à la production d'électricité par ces centrales expireraient en même temps.

La loi stipule également qu'aucune nouvelle centrale nucléaire destinée à la production industrielle d'électricité par fission de combustibles nucléaires ne peut être construite et/ou mise en service.

Cette loi sur la sortie du nucléaire a été modifiée en 2013 (**loi du 18 décembre 2013**) pour prolonger de 10 ans l'exploitation de l'unité de production d'électricité industrielle Tihange 1. La loi sur la sortie du nucléaire a de nouveau été modifiée en 2015 (**loi du 28 juin 2015**) en vue d'assurer l'approvisionnement énergétique. L'autorisation a été donnée pour le redémarrage de Doel 1 (qui avait déjà été arrêté conformément à la loi de 2003) et pour le report de la désactivation de Doel 2 de 10 ans. Ces nouvelles dates de désactivation sont également incluses dans le Tableau 1.

Dans un arrêt du 5 mars 2020, la Cour constitutionnelle a jugé que cette décision (la loi du 28 juin 2015), ainsi que les travaux nécessaires au bon fonctionnement de Doel 1 et 2 pendant les dix années supplémentaires, doit être soumise à la réalisation d'une évaluation de l'impact environnemental, accompagnée d'une consultation publique. Parallèlement, la Cour a confirmé les effets de la loi abrogée jusqu'à l'adoption, par le législateur, d'une nouvelle loi précédée de l'évaluation requise et appropriée de l'impact environnemental, impliquant la participation du public et la consultation transfrontalière, et au plus tard pour le 31 décembre 2022 inclus. Suite à une évaluation de l'impact environnemental et à une consultation du public, y compris transfrontalière¹, la **loi du 11 octobre 2022** modifiant la loi du 31 janvier 2003 relative à la sortie progressive du nucléaire pour la production industrielle d'électricité a été promulguée.

Tableau 1 : Calendrier de désactivation selon la loi originale sur la sortie du nucléaire de 2003 et ses amendements ultérieurs (état au 1er janvier 2023).

Centrale	Date de mise en service industrielle	Date de désactivation (loi originale de 2003)	Date de désactivation (amendements de la loi de 2003, état au 1er janvier 2023)
Doel 1	15 février 1975	15 février 2015	15 février 2025
Doel 2	1er décembre 1975	1er décembre 2015	1er décembre 2025
Doel 3	1er octobre 1982	1er octobre 2022	1er octobre 2022 ²

¹ Voir <https://economie.fgov.be/fr/themes/energie/sources-denergie/nucleaire/evaluation-des-incidences-sur>

² Dans la soirée du vendredi 23 septembre 2022, à 21h31, les opérateurs de la salle de commande de Doel 3 ont arrêté une dernière fois le réacteur et débranché la connexion au réseau à haute tension. En raison de la limitation réglementaire de la durée d'1 cycle du combustible nucléaire à 365 jours maximum, le réacteur a été arrêté quelques jours avant l'échéance de désactivation. À ce moment-là, le réacteur était déjà en mode d'étirement depuis 2,5 mois et produisait encore environ 60 % de sa puissance.

Centrale	Date de mise en service industrielle	Date de désactivation (loi originale de 2003)	Date de désactivation (amendements de la loi de 2003, état au 1er janvier 2023)
Doel 4	1er juillet 1985	1er juillet 2025	1er juillet 2025
Tihange 1	1er octobre 1975	1er octobre 2015	1er octobre 2025
Tihange 2	1er février 1983	1er février 2023	1er février 2023 ³
Tihange 3	1er septembre 1985	1er septembre 2025	1er septembre 2025

Fin décembre 2021, le Gouvernement (Conseil des ministres du 23 décembre 2021) a demandé à l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire (AFCN) et au SPF Économie (DG Énergie) de lister et d'analyser d'ici le 17 janvier les actions nécessaires à l'activation dudit plan B (maintien des réacteurs nucléaires Doel 4 et Tihange 3 ouverts plus longtemps que prévu) en lien avec la sécurité d'approvisionnement énergétique belge après 2025.

L'analyse de l'AFCN a révélé qu'une prolongation de la durée d'exploitation des réacteurs nucléaires les plus récents en matière de sûreté nucléaire était possible, sous réserve toutefois des adaptations réglementaires nécessaires et des améliorations au niveau de la sûreté des installations. Un rapport sur les incidences environnementales est également exigé pour une prolongation d'exploitation.

Le 18 mars 2022, le Gouvernement fédéral a alors décidé de prolonger effectivement la durée d'exploitation de Doel 4 et Tihange 3 afin de maintenir une capacité de production nucléaire de 2 gigawatts. Compte tenu des problèmes d'approvisionnement en électricité des pays voisins, de la forte dépendance aux énergies fossiles, de l'accélération de la transition énergétique, des tensions géopolitiques qui rendent les prix très volatils et mettent la pression sur l'approvisionnement en gaz naturel, le Conseil des ministres a décidé le 18 mars 2022 de prendre les mesures nécessaires en vue de prolonger 2 GW de capacité nucléaire – plus précisément Doel 4 et Tihange 3 – durant une période de 10 ans. Cette décision s'inscrit dans la politique que la Commission européenne souhaite mener pour une indépendance accrue vis-à-vis des énergies fossiles et pour un approvisionnement énergétique diversifié.

Le 1er avril 2022, sur proposition de la ministre de l'Énergie Tinne Van der Straeten, le Conseil des ministres a approuvé un projet de loi modifiant la loi sur la sortie progressive de l'énergie nucléaire⁴. L'avant-projet de loi vise à autoriser l'activation des réacteurs nucléaires de Doel 4 et Tihange 3 pour une nouvelle période de 10 ans, après prise en compte des résultats de l'évaluation des incidences sur l'environnement, de la consultation publique, de la consultation des autorités concernées et de consultations transfrontalières.

Le 22 juillet 2022, les premières discussions entre l'État belge et ENGIE Electrabel ont abouti à une déclaration d'intention non contraignante. Le **9 janvier 2023**, le Gouvernement belge et l'exploitant ENGIE Electrabel ont conclu un accord pour maintenir les deux plus jeunes réacteurs nucléaires du pays, Doel 4 et Tihange 3, ouverts pendant dix ans de plus que leur date de fermeture prévue en 2025.

³ Le 31 janvier 2023 à minuit, Tihange 2 a également été définitivement arrêté après 40 ans d'exploitation.

⁴ <https://news.belgium.be/fr/modification-de-la-loi-sur-la-sortie-du-nucleaire>

1.1.2 Initiateur et équipe d'experts

1.1.2.1 Initiateur

L'initiateur de l'évaluation de l'impact environnemental est le Service public fédéral belge Économie, PME, Classes moyennes et Énergie, rue du Progrès 50, 1210 Bruxelles.

1.1.2.2 Équipe d'experts

L'évaluation de l'impact environnemental a été réalisée par une équipe d'experts indépendants en RIE radiologique et non radiologique. Une référence à leur agrément figure aux p. 3, 4 et 5.

Experts en RIE radiologique du SCK CEN (KC Doel et CN Tihange) :

- Johan Camps : coordinateur de projet et expert en RIE radiologique ;
- Eef Weetjens : experte en RIE radiologique, en particulier pour les déchets radioactifs et le combustible usé ;
- Lieve Sweeck : experte en RIE radiologique ;
- Geert Olyslaegers : expert en RIE radiologique ;
- Hildegard Vandenhove : experte RIE radiologique (révision) ;

Experts en RIE non radiologique :

- Coordination générale RIE : Koen Couderé (KENTER);

Pour KC Doel :

- Expert RIE Eau et Climat : Koen Couderé (KENTER) ;
La discipline Santé a également été abordée par Koen Couderé ;
- Coordinatrice RIE : Katelijne Verhaegen (KENTER) ;
- Experte RIE Biodiversité : Annemie Pals (effet Mieco) ;
- Expert RIE Air : Johan Versieren (Joveco) ;

Pour CN Tihange :

- Coordinateur EIE : Xavier Musschoot (SERTIUS) ;
- Experte Eau de Surface et Être humain : Maureen de Hertogh (SERTIUS) ;
- Expert Biodiversité : Pierre Jacques (SERTIUS) ;
- Experte Air et Climat : Amélie de Pierpont (SERTIUS).

1.1.3 Guide de lecture

La présente évaluation de l'impact environnemental est structurée en dix chapitres, divisés en 4 parties. Une première partie, générale sur le Projet et la méthodologie suivie, puis une partie sur l'évaluation des incidences sur l'environnement pour Doel 4 suivie d'une partie sur l'évaluation des incidences sur l'environnement pour Tihange 3. La partie 4 reprenant ensuite une synthèse des effets du projet.

Le rapport original a été rédigé en néerlandais et, pour les effets non radiologiques Tihange 3, en français. Par conséquent, le présent rapport contient des traductions du texte original.

Le *chapitre 1* d'introduction (ce chapitre) décrit le contexte du Projet qui fait l'objet de la présente évaluation de l'impact environnemental (EIE). Le contexte juridique et politique du Projet ainsi que l'objectif de l'évaluation ont été abordés ci-dessus, et l'équipe qui a réalisé cette étude a également été présentée. Plus loin dans le chapitre 1, le Projet est décrit et un certain nombre d'aspects méthodologiques sont abordés, tels que l'opportunité ou non d'étudier des alternatives et la définition de la situation de référence, ainsi que les évolutions externes qui peuvent influencer cette situation de référence. Il traite également de l'évolution de la sécurité d'approvisionnement sur la période 2020-2030, qui constitue la motivation du Projet. Enfin, le chapitre 1 décrit également brièvement la procédure suivie, en mettant l'accent sur la consultation et la participation du public et sur la demande d'avis auprès d'un certain nombre d'instances compétentes.

Le *chapitre 2* décrit la méthodologie d'évaluation de l'impact environnemental, respectivement pour les aspects radiologiques et non radiologiques. En ce qui concerne les effets non radiologiques, ce chapitre identifie les disciplines qui feront l'objet d'une attention particulière dans la présente EIE et donne les raisons pour lesquelles certaines disciplines ne sont pas abordées en détail. On distingue également les effets du projet sur son environnement, les effets évités du projet et les effets de l'environnement sur le projet. En ce qui concerne les effets radiologiques, le chapitre aborde d'abord les concepts de base de la radioprotection et des déchets radioactifs et de leur gestion. Il décrit ensuite la méthodologie appliquée pour déterminer les effets des rejets en situation normale et accidentelle sur l'homme et l'environnement et les effets des déchets radioactifs.

Le *chapitre 3* décrit et évalue les effets non radiologiques de la prolongation de la durée de vie de Doel 4 pour les disciplines Eau, Biodiversité, Air, Climat et Santé. L'évaluation est toujours basée sur un examen des objectifs politiques pertinents pour la discipline étudiée.

Le *chapitre 4* décrit les effets radiologiques de la prolongation de la durée de vie de Doel 4. Il aborde les effets sur l'homme et la biodiversité en fonctionnement normal, ainsi que les effets qui peuvent être attribués aux rejets accidentels, aux déchets radioactifs générés lors de l'exploitation et au combustible utilisé. Les mesures d'atténuation sous forme de planification d'urgence sont également discutées.

Le *chapitre 5* présente, pour Doel 4, une synthèse des effets non radiologiques et radiologiques. Une attention particulière est accordée aux effets transfrontières.

Les *chapitres 6, 7 et 8* contiennent respectivement les mêmes informations pour Tihange 3 que celles reprises aux chapitres 3, 4 et 5 pour Doel 4 : les effets non radiologiques, les effets radiologiques et une synthèse des deux.

Le *chapitre 9* contient une synthèse globale des effets du projet pour Tihange 3 et Doel 4, tant pour les effets radiologiques que non radiologiques. Enfin, au *chapitre 10*, une conclusion générale est formulée.

La présente EIE contient également un résumé non technique, sous la forme d'un document à part, destiné à fournir au grand public un aperçu des résultats de la présente évaluation de l'impact environnemental. Pour les disciplines réceptrices de la santé et de la biodiversité, les effets radiologiques et non radiologiques sont traités de manière intégrée.

1.2 Objet de l'évaluation de l'impact environnemental et alternatives à étudier

1.2.1 Le Projet

1.2.1.1 Introduction

la présente évaluation de l'impact environnemental porte sur la décision stratégique et les travaux pour la prolongation des réacteurs nucléaires Doel 4 et Tihange 3 pour une période de 10 ans après la fermeture prévue (conformément à la loi sur la sortie du nucléaire de 2003, tel que déterminé dans le Tableau 2) tels que connus lors de la réalisation de l'évaluation⁵. Lorsque nous faisons référence à la prolongation de Doel 4 et Tihange 3 dans ce rapport, nous entendons toujours la prolongation telle que définie dans le Tableau ci-dessous.

⁵ Les informations disponibles jusqu'à la fin janvier 2023 ont été incluses dans la présente évaluation de l'impact environnemental, les informations devenues disponibles ultérieurement n'ont pas été automatiquement incluses dans l'évaluation.

Tableau 2 : Prolongation des réacteurs de Doel 4 et Tihange 3 pour la production d'électricité industrielle telle que prise en compte dans la présente évaluation de l'impact environnemental. Ce calendrier est conforme au projet de loi approuvé par le Conseil des ministres le 1er avril 2022 (voir § 1.1.1).

Réacteur	Fermeture prévue - Loi sur la sortie du nucléaire 2003	Prolongation	Dernière date prévue de désactivation lors de la prolongation
Doel 4	1er juillet 2025	Période de dix ans à compter de la date de la première production industrielle d'électricité après le 1er juillet 2025	31 décembre 2037
Tihange 3	1er septembre 2025	Période de dix ans à compter de la date de la première production industrielle d'électricité après le 1er septembre 2025	31 décembre 2037

Le projet, tel qu'il est considéré ici, concerne la prolongation de la production d'énergie industrielle avec les réacteurs/tranches nucléaires Doel 4 et Tihange 3 comme indiqué dans le Tableau 2, qui font respectivement partie du site de la centrale nucléaire de Doel (KC Doel) situé à la Scheldemolenstraat, Haven 1800, 9130 Doel et du site de la centrale nucléaire de Tihange (CN Tihange) situé au 1 avenue de l'Industrie, 4500 Huy ; les deux centrales nucléaires étant exploitées au 1er février 2023 par Electrabel SA. L'évaluation de l'impact environnemental de ce projet sera basée sur toutes les directives européennes applicables (2011/92/UE, 92/43/CEE et 2009/147/CE). La localisation des deux sites en Belgique est illustrée à la Figure 1.



Figure 1 : Localisation des centrales nucléaires de Doel et Tihange (orange). Les centrales nucléaires aux frontières avec la Belgique (vert) et les autres installations nucléaires de classe 1 en Belgique (bleu) sont également représentées.

La centrale nucléaire de Doel (KC Doel) et la centrale nucléaire de Tihange (CN Tihange) se composent respectivement d'un total de quatre et trois réacteurs nucléaires, de bâtiments et installations auxiliaires nécessaires à la production d'électricité et à l'entreposage du combustible usé. KC Doel est située dans la commune de Beveren (province de Flandre orientale) le long de l'Escaut, en rive gauche, et à une distance minimale de 3,15 km de la frontière néerlandaise. CN Tihange est située sur la commune de Huy (province de Liège) le long de la Meuse, en rive droite, et à une distance minimale de 38 km et 58 km respectivement des frontières néerlandaise et allemande. Le fonctionnement de la centrale nucléaire, en particulier le fonctionnement des unités Doel 4 et Tihange 3, visées par le projet, est décrit plus en détail au §1.2.1.2.

Le projet est considéré comme indépendant d'autres projets en cours et/ou prévus pour le site de KC Doel et CN Tihange, comme le projet SF² (la construction d'une nouvelle installation pour l'entreposage temporaire de combustible nucléaire usé sur le site de Doel : l'installation pour combustibles usés ou « Spent Fuel Facility »ⁱ) et la fermeture de Doel 3 et Tihange 2⁶. Les différentes activités qui se déroulent en parallèle sur les sites de KC Doel et CN Tihange sont décrites au §1.2.1.3.

La présente évaluation de l'impact environnemental porte sur la décision politique stratégique et sur les travaux nécessaires à la poursuite de l'exploitation des unités de production électrique industrielle de Doel 4 et Tihange 3 pendant une période de 10 ans, comme spécifié dans le Tableau 2.

Dans le cadre de la réglementation belge, les différents établissements qui utilisent des substances radioactives ou des appareils pouvant produire des rayonnements ionisants sont classés en *quatre classes d'établissements*ⁱⁱ. Les règles de classification sont basées sur le *risque potentiel de l'exploitation*. Un établissement (ou une installation) appartient à une certaine catégorie en fonction des quantités de substances radioactives, de la puissance de l'appareil ou de l'activité de la ou des sources radioactives ou du niveau d'exposition aux rayonnements ionisants. Toutes les installations nucléaires belges, y compris KC Doel et CN Tihange, appartiennent à la *Classe 1* et doivent donc se conformer à toutes les réglementations concernant les installations de *Classe 1*.

Comme indiqué précédemment, le projet tel que défini ici implique une période supplémentaire d'exploitation des unités Doel 4 et Tihange 3 après la période de fonctionnement initiale de quarante ans. Conformément à l'arrêté royal du 25 janvier 1974 et à l'arrêté royal du 30 novembre 2011 portant prescriptions de sûreté des installations nucléaires, l'exploitant doit procéder à une révision périodique de la sûreté à des intervalles ne dépassant pas 10 ans. C'est ce qu'on appelle *l'examen décennal ou l'examen périodique de sûreté* (Periodic Safety Review). Pour la période après 2025, il s'agit de la quatrième examen et les deux unités sont en outre également en exploitation depuis 40 ans. Il s'agit donc d'une exploitation d'une période supérieure à celle initialement prévue dans la conception des réacteurs, également appelée exploitation à long terme des centrales nucléaires (Long Term Operations ou LTO).

En matière de sûreté, tous les réacteurs nucléaires sont actuellement conformes aux consignes de sécurité en vigueur fixées par l'AR du 30 novembre 2011. Cette réglementation a été renforcée en 2020 avec des exigences de sûreté supplémentaires qui s'appliqueront à partir de 2025. Étant donné que Doel 4 et Tihange 3 sont parmi les réacteurs nucléaires les plus modernes de Belgique et qu'ils ont déjà fait l'objet de plusieurs projets d'amélioration (dans le cadre des 3 précédentes révisions de sûreté et des tests de stress post-Fukushima), les besoins/opportunités potentiels identifiés ne sont pas très nombreux ou extrêmement complexes à mettre en œuvre. Aujourd'hui, ils sont largement conformes aux nouvelles exigences, même si un certain nombre d'améliorations sont encore nécessaires au niveau de la sûreté. Une distinction peut être faite ici entre les « exigences indispensables » pour se conformer pleinement aux exigences les plus strictes et qui doivent être réalisées avant le début de la prolongation de l'exploitation après 2025, et les « ajustements éventuels » qui peuvent être réalisés par la suite, sans porter préjudice à la sûreté.

⁶ Comme prévu par l'arrêté royal du 31 janvier 2003 relatif à la sortie progressive de l'énergie nucléaire.

Ceux-ci constituent les travaux que nous considérons dans la présente évaluation de l'impact environnemental et ils comprennent :

- Améliorations de conception :

Les principales améliorations de conception identifiées comme « besoins » sont les suivantes :

- Gestion des températures extrêmes : la gestion d'éventuelles vagues de chaleur (et des températures associées qui peuvent être plus élevées que prévu dans la conception initiale) peut conduire à des améliorations de conception, par exemple des refroidisseurs d'air supplémentaires ou des humidificateurs dans les locaux ;
- Renforcement des centres de planification d'urgence : l'habitabilité des centres de planification d'urgence existants en cas de certains accidents graves ne peut pas toujours être assurée sans l'utilisation d'équipements de protection individuelle : les améliorations de conception peuvent être liées, par exemple, à un meilleur blindage ou une meilleure ventilation des centres de planification d'urgence ;
- Robustesse du refroidissement des piscines pour combustible nucléaire irradié : les systèmes de refroidissement des piscines de désactivation existants pourraient être améliorés et complétés par des systèmes de refroidissement supplémentaires (mobiles) utilisables en cas d'accident.

- Gestion de l'obsolescence :

En termes de gestion de l'obsolescence, l'exigence est que tous les systèmes, structures et composants liés à la sûreté doivent démontrer que leur qualification reste valable dans la nouvelle période d'exploitation. Cela peut se faire soit par le biais d'un dossier de justification (ce qui nécessite les travaux d'étude nécessaires) soit par le remplacement éventuel de ces composants avant qu'ils ne dépassent leur durée de vie qualifiée.

Sur base des connaissances actuelles, l'Autorité de sûreté nucléaire FANC-AFCN estime que les composants mécaniques majeurs (cuve du réacteur, couvercle du réacteur, générateurs de vapeur) n'ont pas besoin d'être remplacés.

Pour les autres composants (composants mécaniques plus petits tels que pompes ou vannes, équipements électriques, instrumentation, ouvrages de génie civil), il n'existe actuellement pas de vue complète sur les travaux de remplacement possibles avant que l'exploitant n'ait terminé ses études. Il ne peut donc pas être exclu pour le moment que ces travaux de remplacement puissent entraîner des effets possibles, qui sont toutefois de nature limitée.

Outre les améliorations de la conception et la gestion de l'obsolescence, l'Autorité de sûreté nucléaire de sûreté a également identifié les ressources humaines comme un facteur à ne pas sous-estimer pour une exploitation à long terme. Cependant, cela sort du cadre de l'évaluation de l'impact environnemental.

Sur la base des travaux connus au moment du scoping des impacts potentiels et de l'évaluation de ces impacts⁷, on peut dire que les impacts sont très localisés et généralement limités au site pour les différentes disciplines non radiologiques. Il n'y a pas d'impact radiologique au cours de la période pendant laquelle l'extension est étudiée et les déchets radioactifs sont évalués pour le LTO, y compris les travaux. Une quantité limitée des déchets de faible activité est prévue pour les travaux, cette quantité ne représente qu'une fraction de la quantité cumulée sur la période considérée du LTO.

⁷ Les informations disponibles jusqu'au 31 janvier 2023 ont été incluses, les informations reçues après cette date n'étant pas garanties d'être incluses.

La situation actuelle des travaux qui font partie de l'évaluation des incidences sur l'environnement dans le présent rapport était disponible dans une note datée du 15 mars 2023⁸. La description des travaux et le scoping des incidences possibles contenues dans cette note ne sont pas fondamentalement différentes de celles utilisées pour évaluer les incidences des travaux réalisés dans le cadre de la présente EIE. La liste effective des travaux à réaliser dans le cadre du LTO Doel 4 et Tihange 3 peut encore évoluer en concertation entre l'exploitant, Electrabel S.A., et les autorités de sûreté.

1.2.1.2 Fonctionnement des centrales nucléaires Doel 4 et Tihange 3

La prolongation des unités Doel 4 et Tihange 3 sur les sites respectifs de KC Doel et CN Tihange a pour objectif la poursuite de la production industrielle d'électricité. Nous abordons donc le fonctionnement des centrales nucléaires Doel 4 et Tihange 3, y compris un aperçu global de leur impact potentiel sur les personnes et l'environnement.

Doel 4 et Tihange 3 sont des réacteurs du type dit à eau sous pressurisé ou à haute pression (Pressurized-Water Reactor - PWR) de conception Westinghouse. Un aperçu des données de base pour ces deux unités de production électrique est repris dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Aperçu des données de base de la centrale nucléaire de Doel.

Tranche	Type/modèle	Puissance thermique (MWth)	Puissance électrique (MWe)	Date de la première criticité	Confinement	Capacité d'entreposage de combustible
Doel 4	PWR (3 circuits de refroidissement primaires) Westinghouse	3000	1036	31/03/1985	Double avec liner intérieur	628 positions
Tihange 3	PWR (3 circuits de refroidissement primaires) Westinghouse	2988	1038	05/09/1985	Double avec liner intérieur	820 positions

Un PWR est généralement composé de trois compartiments avec trois circuits séparés : le bâtiment du réacteur avec le circuit primaire, la salle des machines avec le circuit secondaire et le circuit de refroidissement qui forme le circuit tertiaire(Figure 2).

⁸ PSR LTO KCD4 CNT 3-ELP-DESCRIPTION DES TRAVAUX DU LTO DE D4/T3" (ref CNT-KCD/4NT/0031174/000/00), Tractebel Engineering, 15 mars 2023.



Figure 2 : Fonctionnement de la centrale nucléaire avec, de gauche à droite, le bâtiment du réacteur, la salle des machines et le circuit de refroidissement (Source : Electrabel sa).

Le bâtiment du réacteur (BR) comprend la cuve du réacteur, qui contient le combustible nucléaire ou la matière fissile. La matière fissile est de l'uranium enrichi sous forme d'oxyde d'uranium fritté (UO_2) avec un pourcentage d'enrichissement en uranium 235 (U-235) d'environ 4 % (l'uranium naturel contient environ 0,7 % d'U-235). Les pastilles de combustible sont empilées dans des gaines en alliage de zirconium. Ils assurent le confinement des produits de fission. Les crayons ainsi formés sont regroupés en assemblages de combustible et maintenus dans un réseau à mailles carrées (grilles). La fission (voir encadré) produit des produits de fission et des neutrons ; ces derniers peuvent provoquer de nouvelles fissions, entraînant une réaction en chaîne. Pour contrôler cette réaction en chaîne et surveiller la réactivité du réacteur nucléaire, on insère des grappes d'absorbants (barres de commande) et du bore⁹ (un élément qui capture facilement les neutrons). Les barres de commande sont divisées en deux groupes :

- Les barres de commande (28 pièces) qui assurent le contrôle rapide de la réactivité ;
- Les barres d'arrêt ou le système d'arrêt (également appelé SCRAM, 24 pièces) qui, avec les barres de commande, peuvent procéder à un arrêt d'urgence.

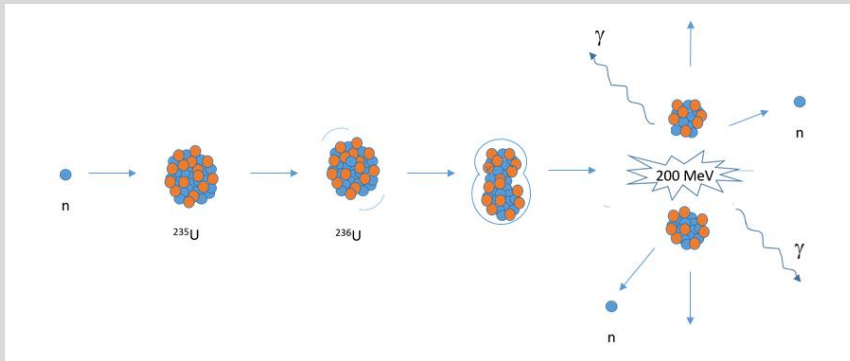
Les barres de commande ont la propriété d'absorber fortement les neutrons et, en cas d'arrêt automatique ou d'arrêt d'urgence, tomberont d'elles-mêmes parmi les éléments combustibles sous l'effet de la gravité et arrêteront ainsi les réactions de fission (sécurité passive). Cependant, en raison de la décroissance radioactive des produits de fission, le cœur du réacteur reste chaud après l'arrêt et doit être refroidi davantage.

⁹ Présent dans l'eau du circuit primaire sous forme d'acide borique.

Intermezzo – fission nucléaire

Les noyaux des atomes, constitués de protons et de neutrons (tous deux appelés nucléons), ont une très grande énergie de liaison. Autrement dit, il faut beaucoup d'énergie pour diviser un tel noyau en ses nucléons individuels. Tant d'énergie (E), que même – selon la formule bien connue d'Einstein $E=mc^2$ – il y a une différence de masse non négligeable (m) entre le noyau atomique et la somme des masses des nucléons individuels qui composent le noyau (c étant la vitesse de la lumière). L'uranium utilisé pour la fission dans la plupart des réacteurs nucléaires (uranium 235 ou U-235) est composé de 235 nucléons (92 protons et 143 neutrons). Si vous comparez la masse d'un tel noyau d'uranium 235 avec la somme des masses des 235 nucléons individuels (les protons et les neutrons ont approximativement la même masse, les neutrons sont légèrement plus lourds), le noyau atomique a une masse nettement plus petite. Cette différence (appelée différence de masse ou défaut de masse) dans l'uranium 235 correspond à la masse de près de deux nucléons individuels. Les atomes (les électrons et le noyau atomique) et les molécules (plusieurs atomes) sont également des systèmes liés de particules, mais l'énergie de liaison dans les noyaux atomiques est supérieure de plusieurs ordres de grandeur à celle des atomes et des molécules : un facteur de cent mille (10^5) ou plus.

La fission nucléaire (également appelée fission) peut avoir lieu dans des noyaux lourds ; le noyau ne se divise alors pas en tous ses nucléons individuels, mais il se divise en deux noyaux atomiques plus petits et (par nucléon) plus fortement liés. Cela peut se produire spontanément, ce qu'on appelle la fission spontanée (qui est une forme de décroissance radioactive), ou être induit par la capture d'un neutron, également connu sous le nom de fission nucléaire induite. Cela libère la différence d'énergie de liaison entre le noyau initial et ses fragments. Il s'agit d'une grande quantité d'énergie, car les énergies de liaison dans les noyaux atomiques sont très importantes. La Figure ci-dessous montre un exemple de fission induite par des neutrons. Le noyau d'uranium 235 absorbe un neutron, le noyau d'uranium a donc à présent un neutron de plus et est devenu de l'uranium 236. Ce noyau a un surplus d'énergie dû à l'absorption du neutron et oscille, le noyau peut donc prendre une forme allongée et se



scinder en deux produits de fission. Parfois (dans 15 % des cas), le cœur d'uranium 236 ne va pas fissionner, mais émettra son excès d'énergie sous forme de rayons gamma. Cependant, la fission se produira dans 85 % des cas, libérant une grande quantité d'énergie, une moyenne de 200 millions d'électronvolts (200 MeV) par fission, l'électronvolt étant une mesure d'énergie comme le joule. À titre de comparaison, la formation d'une molécule de CO_2 (à partir de combustibles fossiles, par exemple) libère 4,08 eV, soit près d'un facteur 50 millions (5×10^7) de moins que la fission d'un noyau d'uranium 235. L'énergie libérée lors de la fission est répartie sous forme d'énergie cinétique entre les produits de fission et les neutrons libérés (typiquement 2 à 3 neutrons par fission) et sous forme de rayonnement gamma instantané. Les neutrons ont une énergie moyenne d'environ 2 MeV. Les produits de fission qui se forment ont un surplus relatif de neutrons et vont se désintégrer par désintégration bêta en atomes finalement stables (voir §2.3.2). La répartition de l'énergie dégagée lors de la fission est donnée dans le Tableau ci-dessous. Dans la désintégration bêta, l'énergie va aux électrons émis (rayonnement bêta), au rayonnement gamma et aux antineutrinos. Or, ces dernières particules ont la propriété de peu interagir avec la matière et donc de s'en échapper complètement, emportant avec elles leur énergie. En fonctionnement normal d'un réacteur tel que Doel 4 et Tihange 3 d'une puissance thermique de 3000 MW_{th} , environ 6×10^{20} antineutrinos par seconde correspondant à une puissance d'environ 150 MW sont envoyés dans l'espace, en partie de part en part à travers la Terre. Pour mettre ce chiffre en perspective, on peut comparer cela à la quantité d'antineutrinos qui sont émis par seconde lors de la désintégration de la radioactivité naturelle présente sur notre planète Terre (également appelée géoneutrinos), soit 10^{25} par seconde. La fission peut produire un grand nombre de combinaisons différentes de produits de fission et l'énergie moyenne libérée est de 207 MeV. Comme discuté, une moyenne de 12 MeV par fission sera emportée par les antineutrinos et ne sera donc pas disponible pour la production d'énergie. Cependant, les neutrons libérés qui ne provoquent pas de fission peuvent être absorbés par l'uranium 235 et l'uranium 238. Les noyaux nouvellement formés émettront alors un rayonnement gamma, qui contribue également à l'énergie récupérable, mais ne provient pas de la fission elle-même. De plus, l'absorption des neutrons par l'uranium 238 donne lieu à la formation d'éléments transuraniens, atomes radioactifs à vie très longue, qui entrent dans les déchets radioactifs en plus des produits de fission. Les neutrons qui s'échappent du cœur peuvent également être absorbés dans la cuve du réacteur et rendre les atomes non radioactifs (par exemple le cobalt) radioactifs (cobalt-60), que nous appelons activation ou produits d'activation. Outre la radioactivité qui est créée et émettra un rayonnement lors de la désintégration, un rayonnement instantané (neutrons

et rayons gamma) est également émis au cours du processus de fission nucléaire. Ce rayonnement très intense doit être correctement blindé.

	Énergie libérée lors de la fission (MeV)	Énergie récupérable (MeV)
Produits de fission	168	168
Neutrons instantanés	5	5
Gammas instantanés	7	7
Désintégration des produits de fission		
Rayonnement bêta	8	8
Antineutrinos	12	-
Rayonnement gamma	7	7
Rayonnement gamma après capture de neutrons en U-235 et U-238	-	3-12
Total	207	198-207

Si pour chaque fission, exactement un neutron (instantané ou ralenti) provoque une nouvelle fission, nous obtenons une réaction de fission contrôlée. Cependant, la probabilité qu'un neutron produit pendant la fission provoque immédiatement une nouvelle fission est faible. Les neutrons ont beaucoup d'énergie et, lors de l'impact, sont principalement diffusés et non absorbés par les noyaux d'uranium 235. Pour ce faire, les neutrons doivent d'abord être ralentis (thermalisés). Cela peut être fait en les laissant entrer en collision avec des noyaux légers tels que les noyaux d'hydrogène présents dans l'eau, également appelés modérateurs. Le combustible nucléaire doit donc être entouré d'un modérateur pour ralentir les neutrons avant qu'ils aient une chance suffisante de provoquer une nouvelle fission. D'autre part, il faut aussi veiller à ce qu'en moyenne pas plus d'un neutron par fission ne provoque une nouvelle fission : sinon cela signifierait une augmentation exponentielle de l'énergie libérée. Ceci est réglé d'une part avec les barres de commande et également en ajoutant de l'acide borique à l'eau. Ceux-ci ont la propriété d'absorber les neutrons, une fois ralentis, les rendant indisponibles pour la fission. Cet équilibre doit être maintenu tout au long du cycle du réacteur. En début de cycle, le combustible est frais et de nombreux noyaux d'uranium 235 sont disponibles pour la fission : la réactivité est alors élevée. Pour obtenir une réaction nucléaire contrôlée, l'acide borique est démarré dans l'eau de refroidissement, les barres de commande étant complètement abaissées dans le cœur. Au fur et à mesure que le cycle du réacteur progresse, les niveaux de réactivité diminuent. Les concentrations en acide borique dans l'eau primaire sont progressivement réduites et les barres de commande sont progressivement retirées du cœur pour maintenir une réaction nucléaire équilibrée. À la fin du cycle du combustible, la concentration en acide borique s'annule et les barres de commande sont complètement sorties du cœur. À ce stade, la température de l'eau de refroidissement est abaissée pour maintenir la réactivité à un niveau suffisant pour maintenir la réaction nucléaire en chaîne. Cela provoque une baisse de la puissance délivrée.

Le rayonnement et la radioactivité sont un aspect important de la sûreté lors de l'exploitation d'une centrale nucléaire. Le rayonnement et la radioactivité proviennent :

- du combustible nucléaire lui-même : il est constitué d'oxyde d'uranium et contient divers isotopes de l'uranium, notamment l'U-238, l'U-235 et l'U-236 qui sont tous spontanément radioactifs, mais ont une longue demi-vie et se désintègrent principalement par désintégration alpha ;
- du rayonnement gamma et neutronique instantané émis lors du processus de fission nucléaire des noyaux d'uranium (pendant le fonctionnement du réacteur) ;
- des produits de fission, dont beaucoup sont radioactifs avec des demi-vies allant de quelques millisecondes à des millions d'années et se désintègrent principalement par rayonnement bêta et gamma ;

- de l'activation de différents matériaux, eau primaire, etc. , par laquelle des noyaux radioactifs et non radioactifs peuvent capturer un neutron et fabriquer de nouveaux radionucléides ; c'est ce que nous appelons des produits d'activation (l'activation de l'acier de cuve en est un exemple, ainsi que la formation de tritium) ;
- de l'absorption successive de neutrons et la désintégration bêta à partir de l'uranium dans le combustible nucléaire. Cela crée plusieurs isotopes de neptunium, de plutonium, d'américium et de curium, qui sont tous radioactifs et dont plusieurs ont des demi-vies très longues.

L'exploitation nécessite donc d'importantes mesures de sécurité, de radioprotection et de gestion des déchets radioactifs et du combustible usé.

L'énergie libérée lors de la fission, provenant de l'énergie et de la décroissance radioactive des produits de fission et de l'énergie des neutrons, est transférée à l'eau sous haute pression (155 bars) dans un PWR tel que Doel 4 et Tihange 3. L'eau est également utilisée comme « modérateur » pour ralentir les neutrons qui sont produits lors de la fission (ce que l'on appelle aussi la thermalisation), afin d'augmenter les chances qu'ils provoquent une nouvelle fission. Deux à trois neutrons sont libérés en moyenne par fission ; en cas de fonctionnement normal, un de ces neutrons provoquera une nouvelle fission. La haute pression permet d'éviter que l'eau ne bout. Doel 4 et Tihange 3 possèdent chacun trois circuits, qui forment ensemble le circuit de refroidissement primaire (chacun avec sa propre pompe), et qui font circuler l'eau du cœur du réacteur vers les générateurs de vapeur. Un pressuriseur régule la pression dans le circuit primaire. Ceux-ci, ainsi que le réacteur, sont tous situés dans le bâtiment du réacteur et le confinement est double : l'intérieur est en béton précontraint, doublé intérieurement pour l'étanchéité avec un chemisage acier, l'extérieur est en béton armé. L'espace entre les deux confinements s'appelle l'espace annulaire. L'enceinte est conçue pour résister à un LOCA (accident par perte de réfrigérant primaire - APRP), à une rupture de ligne de vapeur (SLB - stoomleidingbreuk) et à un impact d'avion sur le bâtiment du réacteur. En résumé, on peut affirmer que la conception prévoit des barrières successives pour éviter une éventuelle dissémination de substances radioactives dans l'environnement comme l'illustre la Figure 3.

Doel 4 et Tihange 3 sont organisés en 3 parties : (1) l'îlot nucléaire, (2) une partie avec les équipements liés à la sûreté et enfin (3) la partie avec les installations sans systèmes liés à la sûreté nucléaire.

Outre le bâtiment du réacteur, l'îlot nucléaire contient également le bâtiment des services d'assistance nucléaires (BAN), avec les principaux systèmes de sûreté et les bâtiments d'entreposage des éléments combustibles nucléaires frais, c'est-à-dire les bains de combustible usé (dont l'eau est continuellement purifiée et refroidie) ainsi que les réservoirs de stockage des effluents liquides et gazeux.

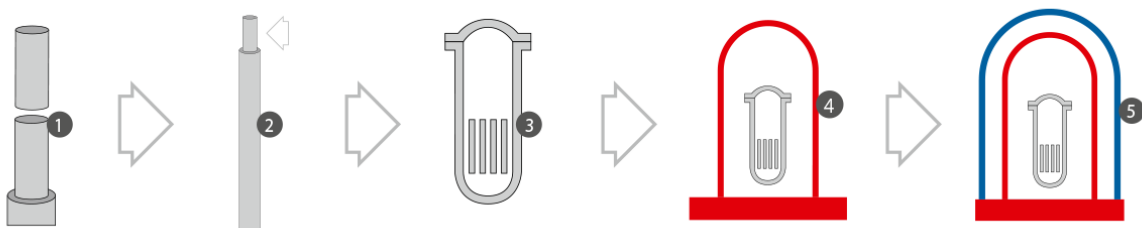


Figure 3 : Les barrières successives protégeant l'uranium et les produits de fission du monde extérieur, c'est-à-dire que l'oxyde d'uranium comprimé en pastilles (1) est empilé dans les crayons de combustible scellés par soudage (2), qui se trouvent dans la cuve du réacteur (fermée en fonctionnement, ouverte pour le chargement et le déchargement du combustible nucléaire), une cuve en acier de 25 cm d'épaisseur (3) placée dans la sphère primaire en acier du bâtiment réacteur qui est résistante à la forte pression de l'intérieur (4) successivement entourée par le mur secondaire du bâtiment du réacteur en béton armé qui protège les installations des accidents externes (5).

L'eau chauffée sous haute pression du circuit primaire va au générateur de vapeur où, via des milliers de tubes, elle transfère sa chaleur à l'eau de l'autre côté (circuit secondaire) où de la vapeur est créée à une pression de 60 bars. Il n'y a donc jamais de contact direct entre l'eau du circuit primaire et celle du circuit secondaire. La vapeur entraîne une turbine dans la salle des machines et l'alternateur qui lui est connecté convertit la rotation de la turbine en courant électrique. La vapeur dans le circuit secondaire continue vers le condenseur où elle est reconvertie en eau liquide qui est pompée vers le générateur de vapeur. Le condenseur est refroidi avec l'eau du circuit tertiaire dans le circuit de refroidissement, où il n'y a jamais non plus de contact direct avec l'eau du circuit secondaire. Le circuit tertiaire est alimenté par l'eau de l'Escaut (Doel) ou de la Meuse (Tihange). La vapeur du circuit secondaire cède sa chaleur à l'eau de l'Escaut et de la Meuse du circuit tertiaire, ce qui provoque un léger réchauffement de cette eau respectivement de l'Escaut et de la Meuse. C'est pourquoi elle est d'abord acheminée vers les tours de refroidissement à tirage forcé avant de retourner soit au condenseur, soit de s'écouler à nouveau respectivement dans l'Escaut ou la Meuse.

Comme dans tous les processus industriels, de petites quantités de ces éléments radioactifs peuvent être libérées dans la zone nucléaire en fonctionnement normal et lors de la maintenance. Cela crée un certain nombre de flux de déchets radioactifs sous forme gazeuse, liquide et solide, en plus des assemblages combustibles usés. Pour ces deux derniers, des systèmes de traitement existent également sur les sites de KC Doel et CN Tihange, pour Doel celui-ci est logé dans un bâtiment central de traitement des eaux et des déchets (TED, en néerlandais : Water- en AfvalBehandelingsgebouw - WAB), pour Tihange il est réparti sur les différentes installations.

L'exploitation des centrales nucléaires KC Doel et CN Tihange dans leur ensemble, et de Doel 4 et Tihange 3 spécifiquement pour la production d'électricité, nécessite, comme tout processus industriel, des matières premières et génère également un certain nombre de flux de déchets. Nous en résumons les principaux éléments dans le Tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Principales matières premières et flux de déchets.

Principales matières premières	Flux de déchets
Uranium enrichi (combustible nucléaire)	Flux de déchets radioactifs : rejets atmosphériques et liquides, déchets radioactifs, y compris le combustible nucléaire usé
Mazout	Déchets dangereux non radioactifs (recyclage)
Huiles	Déchets non dangereux non radioactifs
Eau de surface pour la production d'eau déminéralisée	Émissions atmosphériques non radioactives
Eau de l'Escaut (Doel) ou de la Meuse (Tihange) (eau de refroidissement)	Eaux usées sanitaires et industrielles
Eau de ville	Eau de refroidissement redéversée
Eaux souterraines (Tihange)	
Utilisation du sol (occupation de l'espace)	

1.2.1.3 Évaluations périodiques de la sûreté et modifications avant le Projet

Les règles de construction et d'exploitation de chaque centrale nucléaire belge sont fixées dans le rapport de sûreté, la licence d'exploitation et le permis d'environnement.

Les principales modifications de la sûreté nucléaire s'appuient sur les évaluations périodiques de sûreté (*Periodic Safety Reviews*, les PSR : voir 1.2.1.1)¹⁰ et le benchmarking international avec d'autres centrales nucléaires.

¹⁰ Un aperçu des révisions décennales avec les rapports de synthèse est disponible sur le site Web de la FANC-AFCN : <https://fanc.fgov.be/nl/dossiers/kerncentrales-belgie/veiligheid/tienjaarlijkse-herzieningen>.

Le PSR ou révision décennale a plusieurs objectifs. L'exploitant doit évaluer l'état de l'installation et de l'organisation au regard de la législation, des normes et des bonnes pratiques internationales. De plus, les points forts et les améliorations possibles doivent être identifiés, ainsi que les mesures compensatoires au cas où certaines améliorations possibles ne pourraient être mises en œuvre.

Outre les améliorations résultant des PSR, d'autres modifications et améliorations ont été apportées sur base des informations tirées des inspections internes et externes, de la maintenance et des données empiriques (y compris celles des incidents et accidents nucléaires majeurs, tels que ceux de Three Miles Island, Tchernobyl et Fukushima). Les inspections externes sont effectuées notamment par :

- **L'Agence fédérale de Contrôle nucléaire (FANC-AFCN)**. Il s'agit de l'Autorité de Sûreté nucléaire, établissement d'utilité publique placé sous la tutelle de la ministre de l'Intérieur et de la Sécurité. La FANC-AFCN veille à ce que la population et l'environnement soient efficacement protégés contre le danger des rayonnements ionisants. Pour les contrôles permanents, la FANC-AFCN fait appel à sa filiale technique Bel V qui, comme la FANC-AFCN, a libre accès aux sites de KC Doel et CN Tihange.
- **L'Agence internationale de l'Énergie atomique (AIEA)** est une organisation intergouvernementale indépendante des Nations Unies. Elle élabore des normes de sûreté nucléaire et de protection des personnes et de l'environnement contre les rayonnements ionisants. L'AIEA met en place des équipes internationales qui étudient les documents et vérifient sur place comment la sûreté des installations nucléaires est assurée dans la pratique. Cela se fait par le biais des missions OSART (Operational Safety Review Team)¹¹ et SALTO (Safety Aspects of Long Term Operation).
- **WANO (World Association of Nuclear Operators)**. Cette organisation, fondée après les événements de Tchernobyl, a pour mission de maximiser la sûreté et la fiabilité des centrales nucléaires. Les centrales nucléaires de Doel et Tihange reçoivent une équipe d'experts internationaux tous les 4 ans pour une WANO Peer Review, suivie 2 ans plus tard par un WANO Follow Up. Des suggestions découlent de chaque réévaluation afin d'optimiser la sûreté et les performances des centrales nucléaires.

Concernant l'expérience des accidents, la Commission européenne a pris l'initiative d'organiser des tests de résistance après l'accident de Fukushima en mars 2011. Cela a conduit à une série d'actions : les tests de stress (« Belgian Stress Tests », BEST). Ces actions ont été réalisées pour Doel 4 et Tihange 3ⁱⁱⁱ et ne font pas partie du Projet présenté dans cette évaluation de l'impact environnemental.

Les principales réalisations pour Doel 4 et Tihange 3 avant le début du Projet sur la base des révisions décennales antérieures et d'autres projets sont énumérées ci-dessous. Les projets sont regroupés par thème :

Projets liés à l'amélioration de la conception :

- Réalisation de l'Étude Probabiliste de Sûreté (EPS, en anglais Probabilistic Safety Assessment - PSA), pour identifier et mettre en œuvre les points d'amélioration possibles au niveau des installations.
- Des recombineurs autocatalytiques ont été installés pour éviter l'accumulation d'hydrogène lors d'un accident avec endommagement du combustible.
- Agrandissement des filtres de recirculation qui sont mis en service en cas de LOCA (Loss Of Coolant Accident) – des filtres beaucoup plus grands à mailles plus petites excluent tout colmatage et empêchent toute contamination dans le bâtiment du réacteur (Barsebäck).
- Installation d'une chaîne classée gamma global/N16 par générateur de vapeur pour la détection précoce d'une rupture de tuyau de générateur de vapeur.
- Augmentation du diamètre des casse-siphons de toutes les piscines de désactivation pour améliorer la barrière biologique à l'eau au-dessus des assemblages de combustibles en cas de rupture des conduites de remplissage ou de vidage des piscines.
- Mise en place de relais de tension inverse sur les tableaux de sécurité 6,6 kV suite à l'incident de la centrale nucléaire de Byron.

¹¹ Une mission OSART est prévue pour Tihange 1 et 3 du 17 avril au 5 mai 2023.

- Interconnexion entre l'injection de sécurité basse pression (ISBP) et l'aspersion d'enceinte (CAE), de sorte que la recirculation de longue durée à basse pression puisse également être assurée par les pompes d'aspersion d'enceinte en cas de défaillance des pompes d'injection de sécurité basse pression.
- Installation de soupapes de de sûreté sur l'appareil à pression primaire, qualifiées à la fois pour la vapeur et l'eau.
- Conception et installation d'un dispositif d'évent filtré destiné à protéger l'intégrité des enceintes de confinement (Filtered Containment Venting System - FCVS) en cas d'accident grave conduisant à la fusion du cœur.
- Points de raccordements pour alimenter le circuit primaire et les systèmes de sprinklage du bâtiment du réacteur à partir d'une source d'eau externe via une pompe externe.
- Remplacement des dispositifs individuels de contrôle par un type plus efficace – ceux-ci sont utilisés pour vérifier toute éventuelle contamination radioactive des employés lorsqu'ils quittent la zone chaude.
- Remplacement du dispositif de contrôle à la porte de sortie de la zone chaude – celui-ci effectue un contrôle supplémentaire de toute éventuelle contamination des employés lorsqu'ils quittent la zone chaude.
- Mise en place de systèmes de détection d'incendie supplémentaires et amélioration de la séparation physique des câbles dans les bâtiments liés à la sécurité. Renforcement du compartimentage coupe-feu dans le bâtiment électrique.

Spécifique à Doel 4 :

- Investissements récents en protection incendie : modernisation des postes d'extinction, remplacement de la détection incendie dans tous les bâtiments, remplacement des vannes d'arrêt souterraines sur les conduites d'incendie, etc. L'équipement répond aux normes les plus strictes.
- Remplacement des portes du sas du bâtiment du réacteur par une conception plus solide avec un système d'étanchéité passif, afin d'améliorer l'herméticité du bâtiment du réacteur.
- Transformation du refroidissement des générateurs de secours 1er niveau de Doel 4 d'un refroidissement par eau via circuit CD en un refroidissement par air (aéroréfrigérateurs) pour garantir l'indépendance entre les systèmes de sécurité 1er et 2e niveau.
- Mise en place de cloisons de porte mobiles aux entrées des bâtiments liés à la sécurité comme protection contre les inondations.

Spécifique à Tihange 3 :

- Améliorations dans le cadre de la FHA (Fire Hazard Analysis) : remplacement et ajout de détections incendie pour tous les bâtiments, amélioration du compartimentage incendie, amélioration de la protection physique des câbles,...
- Remplacement du circuit d'eau d'incendie et installation de nouvelles pompes de capacité supérieure ainsi que d'un système de maintien en eau propre.
- Protection contre les inondations internes et externes avec notamment la construction d'un mur (1,8 km) de protection contre l'inondation d'une crue décennale et la mise en place des dispositions associées.

Projets liés à l'obsolescence et à la disponibilité :

- Remplacement des générateurs de vapeur suite à des problèmes de corrosion. Les générateurs de vapeur ont été remplacés par le type Inconel 690, équipé d'un matériau de tuyauterie plus résistant. Les nouveaux tubes présentent une meilleure résistance à la corrosion et une plus grande surface d'échange, d'où une capacité de refroidissement plus importante (première RD).
- Remplacement du couvercle de cuve du réacteur ainsi que des mécanismes de commande de grappes avec un matériau plus résistant à la PWSCC (fissuration par corrosion au contact de l'eau primaire).
- Remplacement des arbres des pompes primaires pour mieux résister à la fatigue thermique.

- Rénovation de l'intérieur de la tour de refroidissement.
- Rétrofit de la turbine basse pression.
- Remplacement des clapets coupe-feu dans les systèmes de ventilation.
- Remplacement des circuits de mesure qui surveillent la présence de gaz radioactifs, de poussières et d'iode dans l'atmosphère.
- Remplacement d'une gamme de composants électriques et d'instrumentation tels que les batteries électriques, les redresseurs et les onduleurs liés à la sécurité, les circuits de mesure et l'électronique des relevés de réactivité autour de la cuve du réacteur.
- Ajustements des onduleurs suite à l'incident de surtension de la centrale nucléaire de Forsmark (Suède).

Projets liés à la gestion du combustible nucléaire :

- Mise en place d'un programme d'amélioration continue des performances à court et long terme des assemblages de combustibles.
- Renouvellement des râteliers de combustible dans le bâtiment combustible – l'utilisation d'acier au bore dans les nouveaux râteliers garantit la sous-criticité de manière durable.
- Mise à disposition de moyens alternatifs pour assurer un niveau d'eau adéquat des piscines d'entreposage du combustible usé, avec une pompe externe et des alimentations en eau externes.
- Construction de bâtiments d'entreposage temporaire des combustibles usés sur les sites de KC Doel et CN Tihange.

Projets liés aux connaissances, compétences, comportements et dose radiologique :

- Développement et amélioration continue des procédures de gestion des différents types d'accidents, en tenant compte du retour d'expérience internationale.
- Renouvellement du matériel informatique et des logiciels du simulateur de salle de commande pour la formation des équipes – cela rend les simulations encore plus réalistes et permet d'appliquer plus rapidement les modifications de l'installation du simulateur.
- Création d'une brigade de pompiers permanente (24h/24 et 7j/7), mise à disposition d'un camion à bras télescopique pour lutter contre les incendies de grande ampleur.
- Mise en place d'un programme de contrôle des équipements de protection incendie dans le cahier des charges technique d'exploitation.
- Rénovation de la salle de commande.
- Remplacement du système de dosimétrie électronique qui enregistre les doses des employés.

1.2.1.4 Activités sur les deux sites – calendrier

Le Tableau 5 donne un aperçu des activités récemment achevées, en cours et prévues sur les deux sites, KC Doel et CN Tihange, ainsi que les licences nucléaires correspondantes.

Tableau 5 : Activités récemment achevées, en cours et planifiées sur les sites de KC Doel et CN Tihange.

Installation(s)	Description
LTO Doel 1 et 2 et Tihange 1 jusqu'à fin 2025	Au cours de la période 2013-2015, le Gouvernement belge a décidé d'autoriser l'exploitation à long terme de 3 réacteurs nucléaires : Tihange 1, Doel 1 et Doel 2 jusqu'en 2025. L'Agence fédérale pour le Contrôle nucléaire (AFCN -AFCN) a alors réalisé une analyse de sûreté pour cette période d'exploitation prolongée puis a imposé des travaux à l'exploitant (ENGIE Electrabel SA) pour s'assurer que ces 3 réacteurs répondent aux normes de sûreté les plus récentes. Ces travaux ont été nommés travaux LTO, qui signifie Long Term Operation. ENGIE Electrabel SA a ensuite élaboré des plans d'action visant à réaliser ces travaux selon un calendrier précis lors de chaque arrêt périodique des réacteurs.

Installation(s)	Description
	<p>La FANC-AFCN et Bel V ont suivi de près la mise en œuvre de ces plans d'action au travers de réunions de travail périodiques et après chaque arrêt de ces réacteurs.</p> <p>Depuis le dernier arrêt des réacteurs en 2019, les derniers points d'action des travaux LTO ont été réalisés.</p>
Exploitation de Doel 4 et Tihange 3 pour la production d'électricité jusqu'à fin 2025	Fonctionne dans le cadre de la licence actuelle
SF ² KC Doel et CN Tihange	<p>CN Tihange : par arrêté royal du 26 janvier 2020, Electrabel SA a obtenu une autorisation de création et d'exploitation pour l'installation destinée à l'entreposage temporaire de combustible nucléaire usé sur le site d'Electrabel SA à Tihange.</p> <p>KC Doel : arrêté royal du 1er juillet 2021, autorisation de création et d'exploitation de l'installation de stockage de combustible usé (Spent Fuel Storage Facility) à Doel.</p>
Permis de restructuration KC Doel et CN Tihange	<p>KC Doel : Le 1er mars 2022, les autorisations de création et d'exploitation d'Electrabel SA pour leurs installations à la centrale nucléaire de Doel ont été modifiées et complétées par arrêté royal pour arriver à 1 licence globale restructurée. L'arrêté a été publié par extrait au Moniteur belge du 15 mars.</p> <p>CN Tihange : Le 29 mai 2022, les autorisations de création et d'exploitation d'Electrabel SA pour ses installations à la centrale nucléaire de Tihange ont été modifiées et complétées par arrêté royal pour aboutir à 1 licence globale restructurée. L'arrêté a été publié par extrait au Moniteur belge du 17 juin.</p> <p>Ces arrêtés royaux constituent une restructuration administrative des autorisations d'exploitation existantes de KC Doel et CN Tihange et ont été initiés par l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire (FANC-AFCN). La procédure conformément à l'article 13 de l'arrêté royal du 20 juillet 2001 portant règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants (RGPRI) a été suivie. L'AFCN a préparé cet amendement et l'a présenté au Conseil Scientifique qui a émis un avis favorable.</p> <p>L'objectif de ces restructurations administratives est d'aboutir à une licence globale entièrement révisée et regroupée qui tienne compte de l'arrêt définitif imminent des réacteurs nucléaires et de leur éventuel démantèlement. De plus, une harmonisation des conditions d'autorisation et diverses améliorations administratives et ponctuelles ont également été assurées. Dans cette restructuration des licences, aucun assouplissement substantiel n'a été apporté aux conditions de licences existantes en vigueur.</p>
Arrêt définitif de Doel 3 et Tihange 2	<p>Conformément à la loi du 31 janvier 2003, la date à laquelle le réacteur de puissance de Doel 3 devra être arrêté et ne pourra plus produire d'électricité a été fixée au 1er octobre 2022. Le 1er avril 2022, l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire (FANC-AFCN) a reçu la « notification d'arrêt » pour le réacteur de puissance Doel 3 (KCD3) d'Electrabel SA. Sur la base de son analyse, la FANC-AFCN estime indispensable de modifier les conditions d'autorisation d'exploitation de la centrale nucléaire. Ces amendements sont proposés en application des articles 17.1 et 13 de l'arrêté royal du 20 juillet 2001 portant règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants (RGPRI). la FANC-AFCN a préparé cet amendement et l'a présenté au Conseil Scientifique qui a émis un avis favorable.</p> <p>Cette initiative vise à :</p>

Installation(s)	Description
	<ul style="list-style-type: none"> de définir le réacteur de Doel 3 comme un réacteur définitivement arrêté et de préciser que seules les opérations préparatoires au démantèlement et la vidange des piscines de désactivation pourront être réalisées ; de supprimer les éléments liés au fonctionnement en puissance du réacteur de Doel 3 qui ne seront plus nécessaires. Ces amendements constituent une simplification administrative ; de créer un nouveau chapitre général pour les réacteurs arrêtés définitivement contenant les exigences générales valables pendant la période MAD (après l'arrêt d'activité et dans l'attente du début du démantèlement). <p>Le 6 novembre 2022, les autorisations de création et d'exploitation d'Electrabel SA pour ses installations à la centrale nucléaire de Doel ont été modifiées et complétées par arrêté royal à l'initiative de l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire. L'arrêté a été publié par extrait au Moniteur belge du 2 décembre 2022.</p> <p>Dans cet amendement des licences, aucun assouplissement substantiel n'a été apporté aux conditions de licences existantes en vigueur.</p>
Prolongation Doel 4 et Tihange 3 ¹²	Objet de la présente évaluation de l'impact environnemental
Démantèlement des réacteurs après mise à l'arrêt définitif et éventuellement d'autres installations	Objet d'une nouvelle évaluation de l'impact environnemental et d'une nouvelle licence

Depuis la mise à l'arrêt définitif (MAD) de Doel 3 (23 septembre 2022) et de Tihange 2 (31 janvier 2023) pour la production industrielle d'électricité, les deux sites sont dans un état où une partie des réacteurs produit encore de l'électricité (ou est en arrêt temporaire) pour maintenance ou éventuellement pour d'autres raisons et une autre partie qui est en phase d'arrêt définitif ou encore appelée phase post-opérationnelle (POP - Post-Operational Phase). La POP constitue la première phase de mise à l'arrêt définitif d'une unité nucléaire après l'arrêt du réacteur, suivie de la phase de démantèlement et de la phase de démolition comme l'illustre la Figure 4, qui fournit également une estimation approximative du calendrier pour chacune des phases.

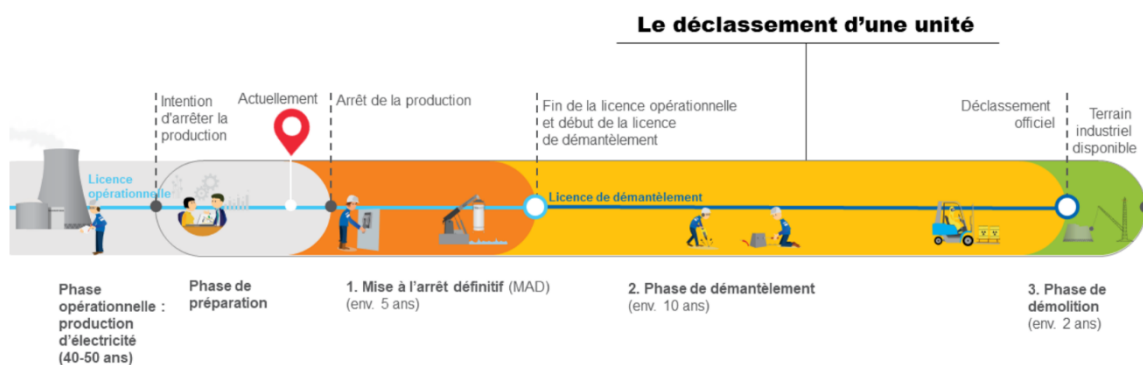


Figure 4 : Déclassé d'une tranche nucléaire tel qu'actuellement prévu par Electrabel SA (Figure Electrabel SA).

¹² Y compris les travaux préparatoires nécessaires pour permettre cette prolongation.

La POP dure environ 5 ans, selon l'unité, et peut être divisée en quatre phases liées à un certain nombre d'activités définies. La fin d'une phase est liée à un état spécifique (opérationnel/technique) de l'unité.

La phase 1 démarre après l'arrêt du réacteur et la déconnexion du réseau électrique. Le réacteur est déchargé et les assemblages de combustibles, barres de commande et autres composants à haut rayonnement contenant des non fissiles sont transférés dans les piscines de désactivation. La phase se termine lorsque le réacteur est complètement déchargé.

La phase 2 concerne la décontamination chimique des circuits primaires. Les autres circuits de la zone contrôlée (sauf autour des piscines de désactivation) sont vidés et nettoyés. La décontamination chimique se fait selon une méthodologie conforme aux bonnes pratiques et expériences internationales. Lors de la décontamination chimique, l'intérieur des composants principaux des systèmes concernés est nettoyé au moyen de produits chimiques, la couche contenant la majorité de l'activité (produits activés et/ou de fission précipités) étant totalement ou partiellement éliminée. Les produits chimiques utilisés et la couche entièrement ou partiellement enlevée sont collectés, traités et le reste est éliminé comme déchet radioactif.

La phase 3 se termine lorsque les assemblages de combustibles ont été retirés des piscines de désactivation. Une fois que la chaleur subséquente a été suffisamment évacuée, les éléments sont chargés dans des conteneurs et transportés vers le bâtiment d'entreposage de combustible nucléaire (SCG) pour Doel. Au cours de cette phase, les composants fortement irradiants contenant des matières non fissiles présents dans les piscines de désactivation sont également évacués en tant que déchets radioactifs par la voie appropriée. Les autres circuits sont progressivement mis hors service. Pour Tihange, les assemblages de combustible usé seront ensuite progressivement transférés vers les deux bâtiments exclusivement dédiés à l'entreposage de combustible usé : le DE et le Spent Fuel Storage Facility (SF²).

La phase 4 consiste à vider et nettoyer les piscines de désactivation et les circuits qui l'entourent. Une fois cette phase terminée, la centrale est prête pour le démantèlement.

Pour Doel 4 et Tihange 3, la MAD ou la POP devra également être réalisé(e) avec ou sans la réalisation du projet de prolongation de la durée de vie. La seule différence est le moment où la MAD se produira. Lorsque le projet sera réalisé, ce sera plus de 10 ans plus tard que la MAD ou la POP sera réalisé(e).

Lors du démantèlement, qui peut se dérouler en plusieurs sous-phases et commençant après la MAD, l'installation est démontée. Les équipements, structures et composants sont enlevés et/ou décontaminés pour être libérés, réutilisés, recyclés ou traités comme déchets radioactifs.

Cette phase fait partie intégrante du cycle de vie de la centrale nucléaire. En effet, il incombe à l'exploitant de démolir la centrale après l'arrêt définitif et de restaurer l'environnement d'origine. Concrètement, cela signifie que les installations doivent faire place à une pelouse (aussi appelée « greenfield ») ou à d'autres applications industrielles. Avant le début du démantèlement, une autorisation de démantèlement est requise, précédée d'une évaluation de l'impact spécifique sur l'environnement. Sur la base de la planification d'Electrabel SA, certaines unités nucléaires seront donc démantelées au cours du projet, c'est-à-dire la prolongation de Doel 4 et Tihange 3 de 10 ans supplémentaires après 2025.

Doel 4 et Tihange 3 devront également être démantelés après fermeture et POP. Dans l'évaluation du projet, nous incluons l'impact sur les quantités de déchets radioactifs et de combustible usé.

En résumé, la Figure 5 illustre le calendrier du projet (prolongation de 10 ans de Doel 4 et Tihange 3) par rapport à l'état des autres réacteurs sur les deux sites KC Doel et CN Tihange.

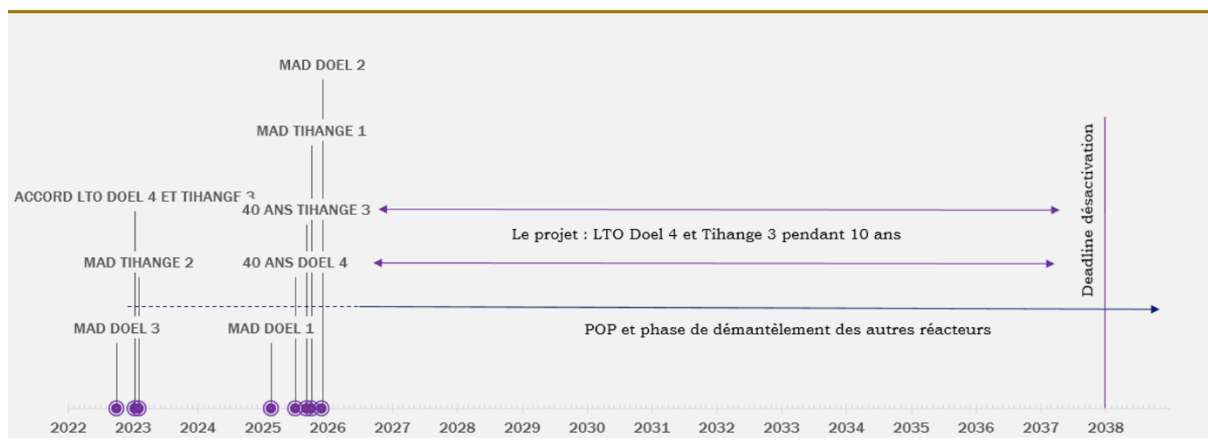


Figure 5 : Calendrier des activités liées aux différents réacteurs sur les sites de KC Doel et CN Tihange (MAD : mise à l'arrêt définitif, POP : phase post-opérationnelle, LTO : Long Term Operations, exploitation à long terme). La période de prolongation de 10 ans après 2025 n'est pas exactement figée dans le temps et peut donc être décalée avec la date de désactivation prévue au plus tard le 31 décembre 2037 pour les deux réacteurs. Après l'arrêt définitif de Doel 4 et Tihange 3, une phase post-opérationnelle et une phase de démantèlement de ces réacteurs suit dans chaque scénario (ceci n'est pas représenté sur la Figure pour Doel 4 et Tihange 3).

1.2.2 Évolution de la sécurité d'approvisionnement au cours de la période 2023-2032

1.2.2.1 La sécurité d'approvisionnement après 2025

Comme indiqué précédemment, l'intention de prolonger la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 est motivée par le souci de garantir la sécurité de l'approvisionnement électrique après 2025. En effet, cette année-là, si la loi sur la sortie du nucléaire est mise en œuvre, les 5 dernières centrales nucléaires belges seraient fermées, ce qui signifierait une réduction de la capacité de production de 3,9 GW presque du jour au lendemain. Il est important de savoir ce que cela signifie en termes de sécurité d'approvisionnement.

Conformément à la loi Électricité, Elia est responsable de la publication d'une étude bisannuelle sur les besoins d'adéquation et de flexibilité de la Belgique pour la prochaine décennie. Cette étude analyse les options politiques sur le futur mix énergétique de la Belgique ; tant à court qu'à long terme. La version la plus récente de cette étude a été publiée en 2021.

Dans ce rapport, Elia a calculé, sur la base d'une simulation approfondie, qu'en 2025, après la fermeture proposée de toutes les centrales nucléaires, une capacité de production supplémentaire pouvant être déployée de manière flexible d'environ 3,6 GW serait nécessaire pour répondre aux normes en matière de sécurité de l'offre et de la flexibilité (voir Figure 6). D'ici 2032, ce besoin passerait à 4,6 GW, principalement en raison de l'électrification croissante de l'économie et de la société¹³.

Les importations d'électricité ne sont pas une réponse adéquate à cette question. Il faut s'attendre à ce que, dans les conditions de marché actuelles, en combinaison avec l'arrêt progressif des installations de combustibles fossiles en Allemagne et l'indisponibilité partielle du parc nucléaire français, il y ait peu de capacité excédentaire sur le marché de l'Europe du Nord-Ouest à certains moments. De plus, les périodes de pénurie d'électricité en Belgique et dans les pays voisins sont fortement corrélées. Elia souligne également que même si l'exigence de capacité susmentionnée est satisfaite, il y aura toujours un besoin d'importations. En 2030-2031, les importations seraient de 200 à 500 heures par an dans le scénario EU-SAFE¹⁴, et de 500 à 1000 heures par an dans le scénario EU-BASE.

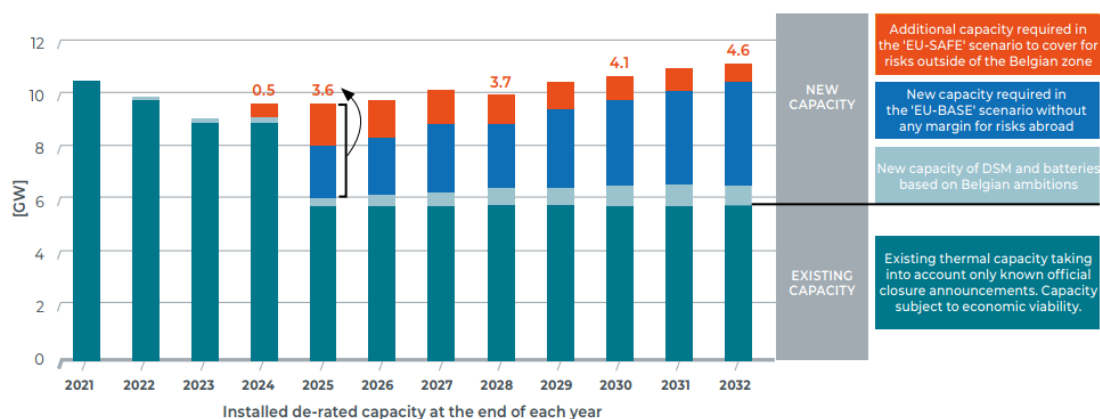


Figure 6 : Évolution de la capacité installée existante et de la nouvelle capacité requise de production d'électricité pour répondre à la norme de fiabilité belge (Elia 2021).

¹³ Elia suppose (dans son scénario « CENTRAL ») une demande d'électricité de 95,6 TWh en 2032. Par rapport à la demande en 2022, cela signifie une augmentation d'environ 11 %.

¹⁴ Le scénario EU-SAFE prend en compte des incertitudes difficilement prévisibles sur lesquelles la Belgique n'a aucun contrôle. Un scénario d'indisponibilité de quatre sites nucléaires en France (en plus de l'indisponibilité « normale ») est considéré comme représentatif de ces risques. Pareil scénario implique d'importer moins et requiert donc une capacité accrue de production locale.

La demande de capacité supplémentaire peut en principe être satisfaite par n'importe quelle technologie (en plus de la capacité déjà incluse dans les hypothèses du scénario CENTRAL pour la Belgique), comme la production thermique, les énergies renouvelables, la gestion de la demande (DSM) ou l'entreposage. Évidemment, chacun de ces choix a ses propres limites.

Sur la base d'une modélisation économique, Elia conclut que la pénurie de capacité à partir de 2025 ne pourra pas suffisamment être comblée par les forces du marché ; il n'y a pas d'incitation suffisante pour investir dans de nouvelles capacités (coûteuses). C'est pourquoi Elia soutient qu'à partir de 2025, une intervention structurelle sur le marché, basée sur un mécanisme de rémunération des capacités (CRM - Capacity Remuneration Mechanism), est nécessaire. Le système de production ainsi développé doit non seulement fournir une capacité suffisante, mais doit également pouvoir utiliser cette capacité avec une flexibilité suffisante. Dans la pratique, les centrales électriques modernes au gaz de type turbine à gaz à cycle fermé (CCGT - Closed cycle gas turbine) semblent être les plus adaptées à cet effet.

À un peu plus long terme, le déficit pourrait être largement et progressivement comblé par les énergies renouvelables, même si la disponibilité de capacités de réserve facilement déployables sera encore nécessaire – d'autant plus que la part de l'éolien dans le mix énergétique augmente¹⁵.

Cependant, l'analyse d'Elia du rapport « adéquation et flexibilité » 2021 est désormais en partie dépassée par la réalité. La crise énergétique et la guerre en Ukraine ont changé les conditions-cadres. Là où Elia supposait toujours un prix du gaz d'environ 6 euros par Gjoule, les prix du gaz au premier semestre 2022 étaient quatre fois plus élevés¹⁶. De plus (à l'échelle européenne), la sécurité de l'approvisionnement en gaz de la Russie est menacée. Puis sont venus les problèmes avec les centrales nucléaires françaises, où à un moment donné plus de la moitié du parc nucléaire français était inactif pour cause de maintenance et de dysfonctionnements.

Dans ce contexte d'incertitude, le Gouvernement souhaite se concentrer davantage sur la capacité de production nationale et réduire la dépendance aux sources fossiles (étrangères). Bien que l'enchère selon le mécanisme CRM ait généré une capacité suffisante pour combler le déficit de capacité de 3,6 GW calculé par Elia en 2021 (voir également ci-dessous), mais dans le contexte actuel, la question est de savoir si cette capacité est encore suffisante dans toutes les circonstances et dans tous les scénarios, compte tenu des prix plus élevés, de la disponibilité étrangère probablement plus faible (tant en termes d'énergie fossile que de capacité nucléaire), et de l'instabilité géopolitique. De plus, la capacité CRM est actuellement encore en construction.

Prolonger la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 est une décision logique dans ce contexte ; cela permet de remettre au réseau une capacité garantie de 2 GW dans un délai relativement court (c.-à-d, après l'arrêt des centrales en 2025 et leur redémarrage après les ajustements et procédures nécessaires).

1.2.2.2 Sécurité d'approvisionnement jusqu'en 2025

Il existe également un risque de pénurie dans les années précédant la sortie du nucléaire prévue en 2025, sans investissement dans des capacités supplémentaires. La disponibilité du parc nucléaire français semble y jouer un rôle important. Au cours des hivers 2023-2024 et 2024-2025, des pénuries de respectivement 1000 et 1400 MW¹⁷

¹⁵ Elia a calculé que le nombre d'heures de fonctionnement des nouvelles centrales à gaz efficaces passerait d'environ 7 000 heures en 2025 à 4000 à 5000 heures en 2032, principalement en raison d'une plus grande pénétration des énergies renouvelables. Elia suppose qu'en 2032, la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique belge se situerait approximativement entre 35 et 55 %, selon le scénario. Si la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 est prolongée, on peut supposer que les heures de fonctionnement des centrales électriques au gaz seront inférieures à celles indiquées ici.

¹⁶ Depuis, le prix du gaz a beaucoup baissé, mais il est illustratif de la volatilité du marché.

¹⁷ L'augmentation des pénuries au cours des trois hivers (en l'absence de développement de capacité supplémentaire) est due à la fermeture ou à la réduction de capacité de plusieurs centrales belges conventionnelles (Rodenhuize, Vilvoorde) et à la possibilité d'une capacité disponible plus faible dans les pays voisins.

surviendraient en Belgique en cas d'indisponibilité de 6 unités nucléaires (en plus de l'indisponibilité « normale ») en France. Dans son scénario EU-SAFE, Elia suppose une disponibilité légèrement meilleure, dans laquelle « seulement » 4 unités supplémentaires ou moins seraient indisponibles¹⁸. Dans cette hypothèse, la pénurie susmentionnée (relativement limitée) pourrait se transformer en excédent de capacité, au moins pour l'hiver 2023-2024.

Compte tenu de la fragilité de la production nucléaire française, démontrée ces derniers mois, il est clair qu'il convient d'utiliser au maximum les capacités nationales pour combler le déficit potentiel créé par la sortie du nucléaire. Ceci est particulièrement important dans la période allant jusqu'en 2028 environ ; par la suite, une capacité supplémentaire d'environ 2,2 GW d'énergie éolienne devrait normalement être disponible, en provenance de la nouvelle zone Princesse Élisabeth à développer en mer du Nord¹⁹.

En termes de sécurité d'approvisionnement, il y a deux périodes cruciales :

- **Les hivers 2023-2024 et 2024-2025**, où la capacité nucléaire est systématiquement supprimée. Doel 3 était déjà fermée le 23 septembre 2022. Au 31 janvier 2023, c'était également le cas pour Tihange 2. En 2025, Doel 1 (15/2), Tihange 1 (1/10) et Doel 2 (1/ 12) seront ensuite successivement arrêtées définitivement. De plus, les centrales électriques conventionnelles de Rodenhuize et Vilvoorde seront fermées. De plus, environ 26 GW de capacité thermique disparaîtraient en Europe au cours de la période 2022-2025. En revanche, Elia suppose que la nouvelle centrale EPR (« European Pressurized Reactor », devenu « Evolutionary Power Reactor ») de Flamanville serait au moins partiellement opérationnelle à partir de 2024. Une augmentation des énergies renouvelables sur cette période permettra également de combler une partie du déficit. C'est pourquoi, sur la période 2021-2025, au cours de laquelle les capacités nucléaires seront systématiquement supprimées, aucune ou presque aucune capacité nouvelle (en plus de celle déjà prévue) ne semble nécessaire. Comme mentionné, la disponibilité de la capacité nucléaire française joue un rôle important à cet égard. Une condition est également qu'aucune capacité actuellement disponible ne quitte le marché pendant cette période.
- **Les hivers 2025-2026 et 2026-2027**. En effet, les réacteurs nucléaires Doel 4 (1/7) et Tihange 3 (1/9) seraient également arrêtés en 2025, conformément à la loi sur la sortie du nucléaire. Cet arrêt ne sera pas définitif, car les plans actuels visent à redémarrer les deux réacteurs à l'automne 2027. Au cours de la période 2025-2027, les préparatifs nécessaires pour permettre un redémarrage seront effectués. Cependant, aucune capacité nucléaire n'est disponible pendant les deux hivers intermédiaires. Par rapport à la situation antérieure au 23 septembre 2022, un total de 5,9 GW de capacité de production nucléaire en moins sera alors disponible ; dont 3,9 GW seront fermés en 2025. Comme l'illustre la Figure 6, il y aurait un besoin de capacité d'environ 3,6 GW sur la période 2025-2027.

Comme indiqué, le présent Projet ne contribue pas à combler ce manque à gagner, qui se produira avant que la prolongation de la durée de vie ne soit un fait. Cependant, le Gouvernement devra tout mettre en œuvre pour éviter les pénuries aux hivers 2025-2026 et 2026-2027. Le mécanisme CRM sera en principe opérationnel d'ici là (et pourra fournir la puissance nécessaire), mais compte tenu de l'incertitude liée au contexte actuel, il ne peut être exclu que des mesures supplémentaires soient nécessaires. Les mesures prises dans ce contexte seront, espérons-le, suffisamment durables et rentables pour contribuer davantage à préserver la sécurité de l'approvisionnement après le redémarrage de Doel 4 et de Tihange 3.

¹⁸ En outre, l'indisponibilité de 6 resp. 4 tranches françaises équivaut à une perte de capacité disponible de resp. environ 5,4 et 3,6 GW, sur une capacité totale du parc nucléaire français d'environ 60 GW. Un peu moins de 10 GW d'entre eux ne sont pas disponibles pendant les hivers « normaux », mais ce nombre a été plus élevé ces dernières années.

¹⁹ Le Gouvernement fédéral suppose qu'en raison de la puissance accrue des (futurs) éoliennes dans la même zone, une capacité allant jusqu'à 3,5 GW pourrait éventuellement être étendue.

1.2.3 Alternatives

Une alternative à un plan ou à un projet peut être définie comme « *une autre façon d'atteindre les objectifs du plan ou du projet* ». La question est donc de savoir s'il existe d'autres moyens d'atteindre l'objectif politique visé.

L'objectif politique poursuivi avec la prolongation de la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 est de *garantir la sécurité de l'approvisionnement en électricité*. Avec une sortie complète du nucléaire prévue par la loi, une capacité de production d'environ 5,9 GW aurait disparu d'ici fin 2025. En maintenant les deux réacteurs ouverts plus longtemps, en combinaison avec la capacité existante (centrales à gaz, énergies renouvelables, etc.) qui est déjà en place et qui reste à développer, la réalisation de cet objectif est en effet plus solidement ancrée.

La décision de prolonger de 10 ans la durée de vie des réacteurs nucléaires de Doel 4 et Tihange 3 est avant tout une décision politique, motivée par des évolutions inattendues et indésirables du marché de l'énergie et de la situation géopolitique en Europe. On peut supposer que, pour préparer cette décision, le Gouvernement a vérifié si des options alternatives équivalentes étaient disponibles et, si nécessaire, a pesé les avantages et les inconvénients de ces options.

Néanmoins, il est utile d'examiner brièvement les alternatives potentielles qui, du moins en théorie, sont (ou pourraient être) disponibles pour sécuriser l'approvisionnement en électricité. En théorie, toute combinaison de formes d'énergie pouvant garantir une capacité suffisante et un degré élevé de fiabilité opérationnelle est éligible. Cependant, il ne suffit pas de proposer des alternatives théoriques de remplacement sous la forme de mix énergétiques alternatifs. Ces alternatives doivent également passer le test du caractère raisonnable. Cela signifie, entre autres, qu'elles doivent être réalistes et prometteuses, c'est-à-dire que la réalisation de ces alternatives à court terme est une option plausible. Nous passons donc brièvement en revue les différentes options ci-dessous.

Jusqu'à récemment, le **mécanisme CRM** était considéré comme la solution idéale pour faire le pont entre la fermeture définitive de toutes les centrales nucléaires (en 2025) et le moment où une capacité d'énergie renouvelable suffisante serait disponible. Comme vu ci-dessus, Elia a calculé en 2021 qu'en 2025, après la fermeture prévue de toutes les centrales nucléaires, une capacité de production supplémentaire pouvant être déployée de manière flexible d'environ 3,6 GW serait nécessaire pour répondre aux normes en matière de sécurité d'approvisionnement et de flexibilité. Dans l'étude d'adéquation et de flexibilité de 2019, Elia indiquait déjà que même avec une prolongation de la durée de vie de deux réacteurs d'une capacité combinée de 2 GW (= Doel 4 et Tihange 3), il resterait un besoin structurel de capacité supplémentaire. Les centrales électriques au gaz (et autres formes de CRM) dont la construction et l'exploitation ont été prévues par le Gouvernement resteront donc de toute façon nécessaires.

Si le mécanisme CRM est en principe ouvert à tout type de capacité existante ou future (production, entreposage, gestion de la demande), il apparaît en pratique que les candidats se concentrent principalement sur les centrales thermiques à turbine au gaz ou à la vapeur (TVG). Comme mentionné, dans le climat économique actuel, avec des prix du gaz élevés et une réduction (au niveau européen) de l'approvisionnement en gaz de la Russie, ce n'est pas nécessairement l'option la plus évidente. Les émissions de CO₂ associées aux centrales électriques au gaz sont également un point d'attention. Via le système SEQE, ces émissions ont également des conséquences sur le prix de revient de production.

Lors de la première enchère en 2021, une capacité totale de 4447,7 MW a été sélectionnée sur base des offres ; 80,6 % de celui-ci était sous la forme de turbines à gaz à cycle combiné (CCGT - Combined cycle gas turbine). De ce nombre, une capacité de 1607,6 MW était constituée de nouvelles unités. En avril 2022, sur la base de l'enchère 2021, une nouvelle allocation de 805,3 MW a été effectuée pour remplacer les unités CCGT d'une capacité combinée de 796 MW, pour lesquelles aucun permis d'environnement n'a été obtenu en Flandre. L'enchère de 2022 a de nouveau offert 807 MW de nouvelle capacité CCGT, ainsi que plusieurs autres offres plus petites. Cependant, aucune de ces offres n'a été retenue, le volume nécessaire étant entièrement couvert par le volume transféré à la deuxième enchère. La capacité supplémentaire disponible en 2025 (qui reste cependant en grande partie à construire) restera donc à environ 4,48 GW. En principe, cela est suffisant pour combler le déficit de capacité qui se produira à partir

de 2025, mais comme mentionné, le Gouvernement ne souhaite pas se fier entièrement et uniquement à la capacité CRM dans le contexte actuel.

Le système de la **réserve stratégique** signifie que les producteurs sont payés pour fournir une production supplémentaire à la demande si des pénuries (temporaires) menacent. En plus d'une production supplémentaire, cela peut également impliquer une réduction de la demande. Chaque année, Elia utilise des prévisions et des modèles mathématiques pour déterminer s'il peut être nécessaire de déployer la réserve stratégique au cours de l'hiver suivant, et quelle devrait être l'importance de la capacité supplémentaire. Cependant, le système de réserve stratégique n'est pas adapté comme solution structurelle à une pénurie de capacité systémique.

La Belgique est l'un des pays les mieux interconnectés du nord-ouest de l'Europe. La capacité d'interconnexion permet d'importer environ la moitié de la demande de pointe. Cependant, cela signifie que des réserves suffisantes doivent également être disponibles à l'étranger. Comme on l'a vu, les **possibilités d'importation** de l'étranger sont sous pression depuis un certain temps, en partie à cause de l'abandon progressif de l'énergie nucléaire par l'Allemagne et de la réduction des énergies fossiles. Récemment, les problèmes des centrales nucléaires françaises se sont ajoutés (cf, supra). Bien que la Belgique soit exportatrice d'électricité nette depuis 2019 (avec une exportation de 7,88 TWh en 2021, soit plus de 8 % de la production nette belge d'électricité), cette tendance ne se poursuivra pas, car la sortie du nucléaire prend des formes plus concrètes et la propre capacité disponible est encore réduite.

Elia a notamment calculé qu'en 2025 (si la sortie du nucléaire prévue par la loi était complète), la Belgique devrait compter sur une capacité d'importation d'au moins 3 GW pendant plus de 2000 heures par an, et que pendant plus de 200 heures par an, une capacité d'importation d'au moins 5 GW serait nécessaire – en supposant qu'aucune nouvelle capacité ne serait construite pour compenser la perte de puissance nucléaire en Belgique. Bien entendu, ce chiffre ne prend pas non plus en compte la prolongation de Doel 4 et Tihange 3.

L'expansion de la production **d'énergies renouvelables** bat son plein ; la capacité créée (surtout au niveau européen) sert avant tout à compenser la perte d'unités de production à base d'énergie fossile. Fin 2021, la capacité totale installée d'énergie renouvelable en Belgique s'élevait à 13,06 GW, soit environ 47 % de la capacité totale installée pour la production d'électricité. Cependant, en raison du facteur de charge relativement faible²⁰ de ces moyens de production, la production d'énergie renouvelable ne représentait qu'environ 18 % de la production belge totale, tandis que l'énergie nucléaire (avec une part de capacité de seulement 21,3 %) représentait 49,7 % de la production. Cela montre que la production d'énergies renouvelables a encore un écart considérable à faire si elle veut pouvoir remplacer à terme la capacité nucléaire totalement perdue. Ici aussi, des problèmes dans le domaine des licences peuvent poser des problèmes. Par exemple, la connexion d'ici 2028 d'environ 3,5 GW de nouvelle énergie éolienne de la zone dite « Princesse Élisabeth » en mer du Nord dépend de l'autorisation et de la réalisation du projet Ventilus.

Elia suppose une capacité disponible en 2032 (dans le scénario « CENTRAL ») de 12,2 GW d'énergie solaire, 5,4 GW d'éolien terrestre, 4,4 GW d'éolien offshore, 157 MW d'hydroélectricité et 904 MW de biomasse ; ensemble, donc, une capacité d'environ 23 GW, soit une augmentation de plus de 76 % par rapport à la situation en 2021.

En résumé, on peut dire que plusieurs des sources d'énergie alternatives possibles ne représentent pas une alternative réaliste : la capacité d'énergie renouvelable n'est pas encore suffisamment développée, les options d'importation sont sous pression et la réserve stratégique n'est pas destinée à être utilisée sur une base structurelle. Le mécanisme CRM est l'alternative la plus évidente et est donc en cours de développement. En ce sens, il ne s'agit pas d'une réelle alternative, mais d'une garantie supplémentaire associée à la prolongation de la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3, pour préserver la sécurité d'approvisionnement électrique. Comme mentionné, Elia suppose que la capacité fournie par le mécanisme CRM restera nécessaire même si la durée de vie des deux centrales est prolongée. C'est aussi une évidence, puisque le manque à gagner en 2025 était estimé à 3,6 GW, dont seulement 2 GW seront comblés en maintenant les centrales ouvertes plus longtemps.

²⁰ Rapport entre la production réelle et la production théorique avec une disponibilité continue à la capacité nominale.

Dans cette analyse, nous nous limitons à visualiser l'impact environnemental du maintien des réacteurs nucléaires Doel 4 et Tihange 3, sur une période de 10 ans supplémentaires. Nous ne faisons donc pas la comparaison avec les effets des solutions alternatives (hypothétiques)²¹ qui, on l'a vu, font défaut à court terme. Nous comparons avec la situation dans laquelle le projet n'aurait pas été réalisé et la prolongation de la durée de vie n'aurait donc pas été réalisée.

1.2.4 Situation de référence et scénario de référence

Une évaluation environnementale nécessite de définir clairement la situation de référence afin de déterminer l'impact du plan ou du projet. La situation de référence est, par définition, la situation de l'environnement qui résulterait de la non-exécution d'un plan ou d'un projet ; elle fournit la base de comparaison des effets du plan ou du projet. Dans ce cas, la situation de référence est donc celle qui se présenterait si la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 n'était pas prolongée, c'est-à-dire si Doel 4 et Tihange 3 devaient être définitivement arrêtés en 2025 conformément au calendrier de la loi sur la sortie du nucléaire. La situation qui se présente si le projet est réalisé (prolongation de la durée de vie) est comparée à cette situation de référence (pas de prolongation de la durée de vie). La différence entre les deux indique l'ampleur de l'effet du plan ou du projet (dans ce cas, la prolongation de la durée de vie) (Figure 7).

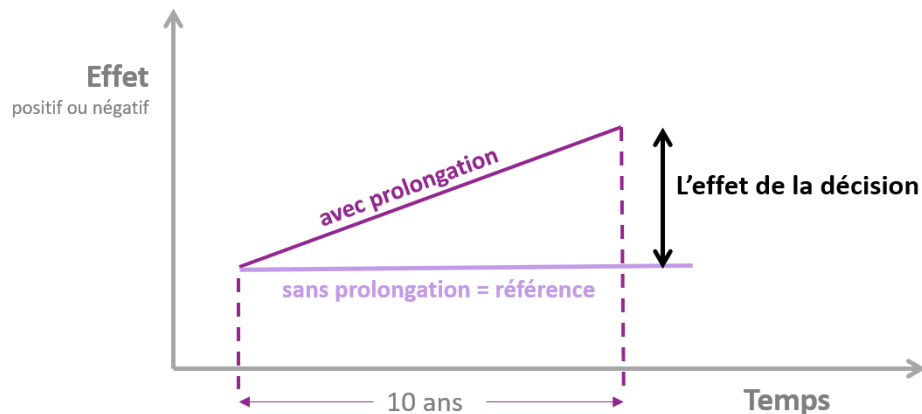


Figure 7 : Représentation schématique de la situation de référence.

La situation de référence dans ce cas est en principe la situation de l'environnement en l'an 2025.

Le point de départ est que cet état de référence ne change pas fondamentalement (sous l'influence d'évolutions non liées à l'exploitation de Doel 4 ou de Tihange 3) pendant la période d'extension de la durée de, ou du moins pas de telle manière qu'il modifierait l'évaluation de l'impact environnemental. Si tel était le cas, il faudra tenir compte de la situation de référence (modifiée) à la fin de cette période.

En plus de la situation de référence, nous utilisons également les termes « période de référence » et « scénario de référence » dans la présente EIE. Ces termes résultent de la particularité du Projet, qui consiste à ce que les effets se limitent à une période de temps, dont le début et la fin sont fixes. Cette période limitée dans le temps est appelée *période de référence*. Pour les effets qui ont une dimension temporelle évidente (par exemple, la quantité de polluants émis par an, la quantité de déchets produits par an, etc.), l'évaluation de l'impact environnemental examine également l'impact cumulé sur la période de référence, en additionnant les quantités par an à un total pour la

²¹ Sauf en ce qui concerne les dites « émissions évitées », voir ci-dessous.

période ou en effectuant une estimation comparable des effets cumulés au cours de la période d'extension de la durée de vie..

Enfin, dans la présente évaluation de l'impact environnemental, nous parlons également du *scénario de référence*. Celui-ci décrit les développements liés au projet au cours de la période de référence si le projet n'est pas exécuté. Pour les sites de Doel et Tihange, ce scénario signifie qu'il n'y a plus un seul réacteur nucléaire en activité sur le site. Pour les centrales de Doel 3 et Tihange 2, la phase post-opérationnelle sera totalement ou largement achevée d'ici 2027, et le démantèlement aura commencé. Pour les réacteurs de Doel 1, Doel 2 et Tihange 1, la phase post-opérationnelle se poursuivra jusqu'en 2030 environ, ensuite le démantèlement commencera également pour ces réacteurs.

Aucune information n'est actuellement disponible sur la forme que prendra le démantèlement et sur les effets environnementaux qui y sont associés ; il ne peut donc pas être pris en compte dans la présente évaluation de l'impact environnemental. Cependant, des rapports sur l'impact environnemental approfondis seront réalisés au niveau du projet pour le déclassement des différents réacteurs à l'avenir.

1.2.5 Développements autonomes et contrôlés potentiellement pertinents

Pour connaître la situation de référence en matière de qualité environnementale, il faut vérifier s'il y a des évolutions entre aujourd'hui et 2025 qui pourraient conduire à une différence avec la situation d'aujourd'hui. Il faut aussi regarder si et comment ces évolutions vont se poursuivre au cours de la période de prolongation de la vie.

En premier lieu, il y a une série **d'évolutions autonomes**, qui peuvent être le résultat d'actions humaines, mais qui ne peuvent pas être maîtrisées dans le cadre temporel et spatial du projet. Le changement climatique en est un exemple. On peut supposer que l'état du climat en 2037 sera différent de l'état en 2023. La question de savoir si cela est pertinent et quelles en sont les conséquences possibles sera discuté dans la discipline Climat.

Ensuite, il faut tenir compte des **évolutions politiques**, qui se traduisent par une amélioration de la qualité de l'environnement. C'est le cas, par exemple, pour la qualité de l'eau et de l'air, et est expliqué plus en détail dans les disciplines respectives. On ne s'attend pas à ce qu'en 2025, ces évolutions aient fondamentalement eu pour effet de modifier l'état de l'environnement par rapport à celui de 2023. Sur la période de prolongement, on s'attend à ce que l'amélioration amorcée se poursuive (selon toute vraisemblance).

Enfin, il y a les **autres évolutions contrôlées**, qui découlent directement des actions humaines, mais non liées à la politique. Cela concerne principalement, par exemple, de nouveaux projets qui peuvent être réalisés à proximité des sites de projet, ou d'autres développements (spatiaux) ayant des conséquences potentielles sur l'état de l'environnement. Si ces aménagements ont des conséquences sur la vulnérabilité de l'environnement, ou s'ils peuvent engendrer des effets cumulés significatifs avec les effets de Doel 4 et Tihange 3 évoqués dans ce RIE, cela sera indiqué. Ces éléments seront donc pris en compte (le cas échéant) dans l'évaluation de l'impact.

Les développements les plus importants et éventuellement pertinents pour le site de **Doel** sont brièvement décrits ci-dessous.

- **Projet complexe de capacité supplémentaire de conteneurs à Anvers (CP CCSA) :** ce projet implique la construction d'un nouveau dock à marée dans le port d'Anvers, à l'est du village de Doel, adjacent au Deurganckdok existant. De grands porte-conteneurs (jusqu'à 400 m de long) accosteront dans ce dock. Sur les quais à conteneurs, les conteneurs sont acheminés, évacués, chargés et déchargés et/ou stockés temporairement. Une nouvelle zone logistique est également aménagée à côté du quai à conteneurs, sur laquelle des activités dans le domaine de la logistique à valeur ajoutée, par exemple, peuvent avoir lieu. Pour l'instant, ce projet est encore en phase de développement (= phase d'étude). La décision pour ce projet est attendu courant 2023. Dès que la décision sera rendue, la construction du dock commencera. La construction du dock prendra plus de trois ans. Au redémarrage de Doel 4, le nouveau dock pourrait donc déjà être opérationnel, mais probablement pas encore à pleine capacité. Cette capacité sera vraisemblablement remplie sur la période de 10 ans qui correspond à la prolongation de la durée de vie

de Doel 4. Parallèlement, les émissions atmosphériques augmenteront également, en particulier celles provenant des navires de haute mer.

Étant donné que les émissions atmosphériques conventionnelles attribuables à Doel 4 sont (très) faibles par rapport aux émissions de la CCSA (et a fortiori par rapport aux émissions de toute la zone portuaire), les émissions atmosphériques cumulées au sein de la zone d'étude ne sont guère influencées par le fait de maintenir ou non Doel 4 ouvert. Ce raisonnement s'applique également, mutatis mutandis, aux effets de la mobilité et du bruit. Pour ces aspects également, la qualité environnementale est principalement déterminée par des développements indépendants de la prolongation de la durée de vie de Doel 4 et des conséquences sur la situation de référence, et l'impact supplémentaire de Doel 4 sur cette situation de référence est limité.

- Pour le village de Doel, qui ne doit pas disparaître pour la CCSA, un projet séparé est en cours pour dessiner une perspective d'avenir durable dans le cadre de la décision préférentielle sur la CCSA. Actuellement, Doel est une zone résidentielle (selon le plan d'aménagement) et des habitations y sont aussi présentes dans les faits. On s'attend à ce que cette situation ne change pas fondamentalement (planologiquement et factuellement). Au cours de la période de prolongation de la durée de vie de Doel 4, il n'est pas supposé qu'il y aura une augmentation ou une diminution significative du nombre d'habitants à Doel. La vulnérabilité de l'environnement vis-à-vis des récepteurs humains ne change donc pas significativement. Dans ce cas aussi, l'exposition aux effets environnementaux conventionnels dans le village est dominée par les effets du port.
- De l'autre côté de l'Escaut, entre la Scheldelaan et le Kanaaldok B2, INEOS prévoit le « Projet ONE », une usine de déshydrogénation du propane (DHP), dans laquelle le gaz propane est transformé en propylène, et un craqueur d'éthane dans lequel le gaz éthane est transformé en éthylène. En raison de sa taille et de sa complexité, la réalisation du projet se déroulera en différentes phases sur une période de quatre à cinq ans. Il est probable que les installations seront déjà en grande partie opérationnelles lorsque la prolongation de la durée de vie de Doel 4 commencera. Durant les premières années de la période d'exploitation supplémentaire de Doel 4, Ineos Project One atteindra progressivement sa pleine capacité. Ici aussi, nous pouvons dire que les effets de Doel 4 seront faibles par rapport aux effets de Project One.
- Développement de la nature : dans le cadre du développement du port d'Anvers et du plan Sigma, des projets de développement de la nature sont planifiés et mis en œuvre à proximité immédiate de KC Doel. Ces projets entraînent une augmentation de la valeur biologique et donc de la vulnérabilité potentielle de l'environnement. Étant donné que ces projets de compensation doivent être réalisés avant que la mise en œuvre de la CCSA puisse commencer, on peut supposer que ceux-ci font pleinement partie de la situation de référence à partir de 2027.
- Réalisation des différentes étapes de la loi sur la sortie du nucléaire : la présente EIE étudie les conséquences du maintien plus long le réacteur Doel 4. Cela n'a toutefois aucune influence sur les autres étapes prévues dans la loi sur la sortie du nucléaire. Pendant la période de référence, les trois autres réacteurs du site seront à l'arrêt et seront à différents stades de MAD (phase post-opérationnelle ou démantèlement), comme décrit ci-dessus. Les effets cumulatifs de ces activités ne sont pas explicitement décrits dans la présente EIE, car on en sait trop peu sur la nature de ces activités et des émissions associées. Cependant, des RIE de projet devront également être établis pour les activités de démantèlement, qui peuvent inclure le fonctionnement de Doel 4 dans la situation de référence, identifiant donc également les effets cumulatifs. La présente EIE prend en compte l'impact qu'aurait l'arrêt de Doel 1, 2 et 3 sur la situation de référence à laquelle sont comparés les effets du maintien de Doel 4 ouvert plus longtemps (par exemple parce que les émissions diminuent). Sauf indication contraire dans la discussion des différents thèmes environnementaux, nous supposons cependant que la situation de référence ne changera pas fondamentalement pendant la période de prolongation de la durée de vie de Doel 4, par rapport à la situation actuelle.

En résumé, on peut affirmer qu'à proximité du site, plusieurs projets sont en cours, dont on peut supposer qu'ils seront opérationnels (au moins en partie) au début de la prolongation de la durée de vie de Doel 4. Pour tenir compte du fait que l'impact de ces projets peut évoluer sur la période de référence, nous proposons de retenir l'hypothèse que ces projets (CCSA, Project One) seront opérationnels à pleine capacité à partir de 2027.

Par rapport à la situation actuelle, la future *situation de référence pour Doel* pendant la période d'extension de la durée de vie sera donc caractérisée, du fait des évolutions décrites ci-dessus, par une augmentation de la valeur biologique environnante d'une part, mais aussi plus d'émissions atmosphériques et un climat acoustique dégradé d'autre part, en combinaison avec une forte augmentation du charroi. Dans la mesure où des effets cumulatifs se produisent, la contribution de la Doel 4 à ces effets est très limitée.

En ce qui concerne le cas de la centrale de **Tihange**, un aperçu est donné ci-dessous d'un certain nombre de développements autonomes et contrôlés qui peuvent être pertinents pour l'évaluation de l'impact environnemental du report de la désactivation de Tihange 3 :

- Mise à grand gabarit de l'écluse d'Ampsin, située à environ 1 km en aval sur la Meuse. Cet agrandissement permettra d'assurer la navigation intérieure à grand gabarit (4.500 tonnes dans le cas d'Ampsin) de Namur aux Pays-Bas et à Anvers, via le Canal Albert. Les travaux ont déjà débuté et la navigation est déjà ouverte depuis janvier 2022. Les travaux se poursuivent et devraient être terminés courant 2024 ou 2025. Ce projet aura été mis en œuvre lors de la prolongation des centrales.
- Bien qu'il s'agisse d'un projet d'infrastructure de grande ampleur, il n'est pas supposé qu'il interférera avec le Projet qui fait l'objet de la présente EIE. Dans la mesure où la phase de construction entraînant des effets sur l'environnement (nuisances sonores, émissions, charroi, etc.) sera terminée, ces effets font partie de la situation de référence de l'évaluation environnementale pour Tihange 3. Les incidences en phase d'exploitation étant liée à l'augmentation du trafic fluvial, il est considéré qu'aucun impact cumulatif n'est à craindre avec la prolongation du réacteur 3 de Tihange.
- Divers projets industriels de grande ampleur sont prévus dans une rayon d'une dizaine de kilomètres autour de la centrale de Tihange :
 - a. Projet de nouveau centre de tri de déchets portés par la société Vanheede à Hermalle-sous-Huy (> 6 km à l'est de CN Tihange) ;
 - b. Projet de nouvelle usine de production d'ailettes de compresseurs pour moteurs d'avions porté par la société Safran à Marchin (\pm 4,5 km au sud-ouest de CN Tihange) ;
 - c. Projet CO₂ncREAT qui est né de la technologie de carbonatation développée par la société Orbix offrant une voie de valorisation durable pour certains co-produits de la sidérurgie : il s'agit de faire réagir ces matières avec du CO₂ pour la fabrication d'éléments de construction. Ce projet est porté par le consortium Prefer (producteur de matériaux de construction), Fluxys Belgium (expert dans le transport par canalisations), Lhoist (producteur de chaux, fournisseur du CO₂) et Orbix. Sa localisation précise n'est actuellement pas connue mais devrait être située à plus de 6 km environ de CN Tihange (entre le site existant de Lhoist situé à 6 km et le site de Prefer qui est encore plus loin à l'est).

Pour l'instant, ces projets sont encore en phase de développement (= phase d'étude). Cette phase se déroulera, selon les projets, normalement jusque fin 2023 ou courant 2024 et se terminera par une décision sur chaque projet. Une fois la décision sur un projet prise, sa construction commencera, ce qui prendrait entre 1 à 3 ans. Ces projets pourraient donc entrer en exploitation entre 2024 et 2027.

Vu les distances considérées (> 4 km), seules les éventuelles incidences suivantes sont à craindre :

- a. Mobilité : le trafic généré par ces projets en phase de construction et d'exploitation emprunterait majoritairement les N90 et/ou N684. Comme mentionné au § 2.2.1, le trafic sur ces routes nationales n'est pas à saturation et n'est impacté qu'à hauteur de 8 % maximum par le flux de la centrale de Tihange. Il n'est donc pas à craindre un impact cumulatif significatif avec ces projets;
- b. Emissions atmosphériques : les impacts cumulatifs potentiels visent essentiellement les émissions issues d'installations de combustion (ex. NO_x) et les émissions de gaz à effet de serre (CO₂). En ce qui concerne les émissions, la nature même des projets implique des émissions faibles (absence de grande installation de combustion – plus de 50 MWth) et les effets potentiels ont un rayon d'incidence limité (environ 3 km), ce qui implique des incidences cumulatives potentielles négligeables. Il est à noter que le projet CO₂ncREAT aurait même un effet bénéfique en réduisant les émissions de CO₂ dans le rayon considéré ;

- c. Effets thermiques en Meuse, avec incidences sur la biosphère aquatique, suite au rejet d'eau de refroidissement : la nature même des projets implique l'absence de grande installation de combustion (plus de 50 MWth) et limite la génération d'eau de refroidissement en grande quantité. Aucun impact cumulatif significatif n'est donc à craindre.

En conclusion, vu la distance entre ces projets et CN Tihange et vu la nature même des projets, il n'est pas à craindre d'impacts cumulatifs significatifs avec les grands projets industriels prévus actuellement dans les environs de la centrale.

- Projets de centrales thermiques (Combined Cycle Gas Turbine) des Awirs et de Seraing : ces deux projets ont pour objectif de compenser, partiellement la fermeture des réacteurs nucléaires belges entre 2022 et 2025 (d'autres mesures étaient préconisées telles que la prise en compte des réserves étrangères). Ces projets ont été désignés au travers du Mécanisme de Rémunération de Capacité mis en place suite à la sortie programmée du nucléaire. Ces projets ont déjà fait l'objet d'une autorisation environnementale et leurs chantiers respectifs ont débuté en 2022 afin d'être opérationnels en 2025. Les puissances en jeu sont dans les deux cas de 805 MW. Ces centrales sont situées en aval de CN Tihange, le long de la Meuse, à ± 12 km dans le cas des Awirs et à ± 17 km dans le cas de Seraing.

Comme dans le cas des autres projets mentionnés ci-dessus, la distance entre le Projet et ces centrales thermiques implique qu'aucune incidence cumulative n'est attendue sur l'ensemble du domaine environnemental, à l'exception des rejets thermiques en Meuse pouvant affecter la faune aquatique. En effet, CN Tihange et ces deux centrales thermiques sont de très grands émetteurs d'eau de refroidissement en Meuse, dont la dilution et la déperdition thermique en Meuse nécessite de grandes distances. Des interactions à cet égard avaient été relevées lors de l'évaluation des incidences sur l'environnement des deux centrales et ces points font l'objet de conditions d'exploiter spécifiques dans les permis de celles-ci. Ce point sera abordé de manière plus précise dans le cadre du volet "eau" de l'évaluation des incidences non radiologiques de la centrale de Tihange (voir § 6.2) ;

- Réalisation des différentes étapes de la loi sur la sortie du nucléaire : la présente EIE étudie les conséquences du maintien plus long du réacteur Tihange 3. Cela n'a toutefois aucune influence sur les autres étapes prévues dans la loi sur la sortie du nucléaire. Respectivement les 1er octobre 2025 et 1er février 2023, la production d'électricité à Tihange 1 et Tihange 2 cessera. Pendant la période de référence, les deux autres réacteurs sur le site seront donc fermés et en seront à différents stades de MAD (mise à l'arrêt définitif), tel que décrit ci-dessus. Les effets cumulatifs de ces activités ne sont pas explicitement identifiés dans la présente EIE, parce qu'à ce stade trop peu d'information est disponible sur la nature de ces activités et des émissions associées. Toutefois, des EIE de projet devront également être établies pour les activités de déclasserment, qui pourront inclure l'exploitation de Tihange 3 dans leur situation de référence, assurant que les effets cumulatifs sont pris en compte. Dans la mesure où l'arrêt de Tihange 1 et 2 aurait un impact significatif sur les effets du fonctionnement de Tihange 3 (parce que la situation de référence change, par exemple en réduisant les rejets), il en est tenu compte dans la présente EIE. Toutefois, sauf indication contraire dans la discussion des différentes disciplines, nous supposons que pendant la période d'exploitation prolongée de Tihange 3, la qualité non radiologique de l'environnement ne changera pas de manière significative.

1.3 Procédure

Comme indiqué ci-dessus, la présente évaluation de l'impact environnemental est réalisée dans le cadre de la directive européenne EIE, de la directive Habitats et de la directive Oiseaux. Toutefois, ces directives ne contiennent que peu ou pas de dispositions procédurales sur la manière dont le processus d'évaluation de l'impact environnemental doit être mené.

En résumé, les principales dispositions de portée procédurale contenues dans la directive EIE portent sur :

1. La consultation des instances « susceptibles d'être concernées par le projet en raison de leurs responsabilités spécifiques en matière d'environnement » (article 6.1) ;

2. L'information du public, à un stade précoce de la procédure décisionnelle en matière d'environnement, entre autres sur la procédure, les possibilités de participation et l'objet de la demande de permis (article 6.2) ;
3. La mise à disposition du public des résultats de l'évaluation de l'impact environnemental et des avis exprimés (article 6.3) ;
4. La consultation des instances compétentes dans d'autres États membres (article 7) ;
5. L'information du public concernant, entre autres, le contenu de la décision relative au permis et des considérations sur lesquelles la décision est fondée (article 9) ;
6. Les procédures d'appel (article 11).

Ces dispositions seront bien entendu respectées. Il convient également de noter que pour l'évaluation de l'impact environnemental pour le présent Projet, les procédures détaillées prescrites par les réglementations fédérales ou régionales (en termes, par exemple, de délais) ne sont pas applicables.

Les notifications requises en vertu de la convention d'Espoo, de la convention d'Aarhus et de la directive EIE (transfrontalière et à l'intérieur de la Belgique) sont exécutées par le Gouvernement belge, le Service public fédéral Économie et la ministre de l'Énergie.

Le jeudi 14 juillet 2022, une prénotification a été envoyée par le Service public fédéral Économie via le contrat ESPO relatif au projet proposé, à savoir le report de la désactivation de Doel 4 et Tihange 3, aux autorités des pays situés dans un rayon de 1 000 km autour de Doel 4 et Tihange 3. La Figure 8 donne un aperçu des centrales nucléaires en Belgique (Doel et Tihange) et ses abords et montre les pays et leurs centrales nucléaires dans un rayon de 1 000 km autour respectivement de Doel et Tihange. Cette notification et cette consultation ont été effectuées par le Service public fédéral Économie conformément à l'article 7.1 de la directive EIE. Les pays qui expriment un intérêt à participer à la consultation transfrontalière auront la possibilité de fournir les avis de leur public et des autorités compétentes sur l'évaluation de l'impact environnemental à la Direction générale de l'Énergie du Service public fédéral Économie, PME, Indépendants et Énergie.

Après la clôture des évaluations de l'impact environnemental, le Service public fédéral Économie organisera une consultation des trois régions belges, des provinces belges, des administrations communales intéressées, du Conseil fédéral du Développement durable, de l'Organisme national belge des Déchets radioactifs et des Matières fissiles enrichies (ONDRAF) et de l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire (FANC-AFCN).

Par ailleurs, une consultation publique en ligne est également organisée pendant 60 jours calendriers via un site Web dédié à la publication de l'intégralité du dossier d'évaluation environnementale concernant le report de la désactivation de Doel 4 et Tihange 3 (évaluation de l'impact environnemental au niveau stratégique et travaux). La notification concernant la consultation et la participation du public est assurée par le Service public fédéral Économie.

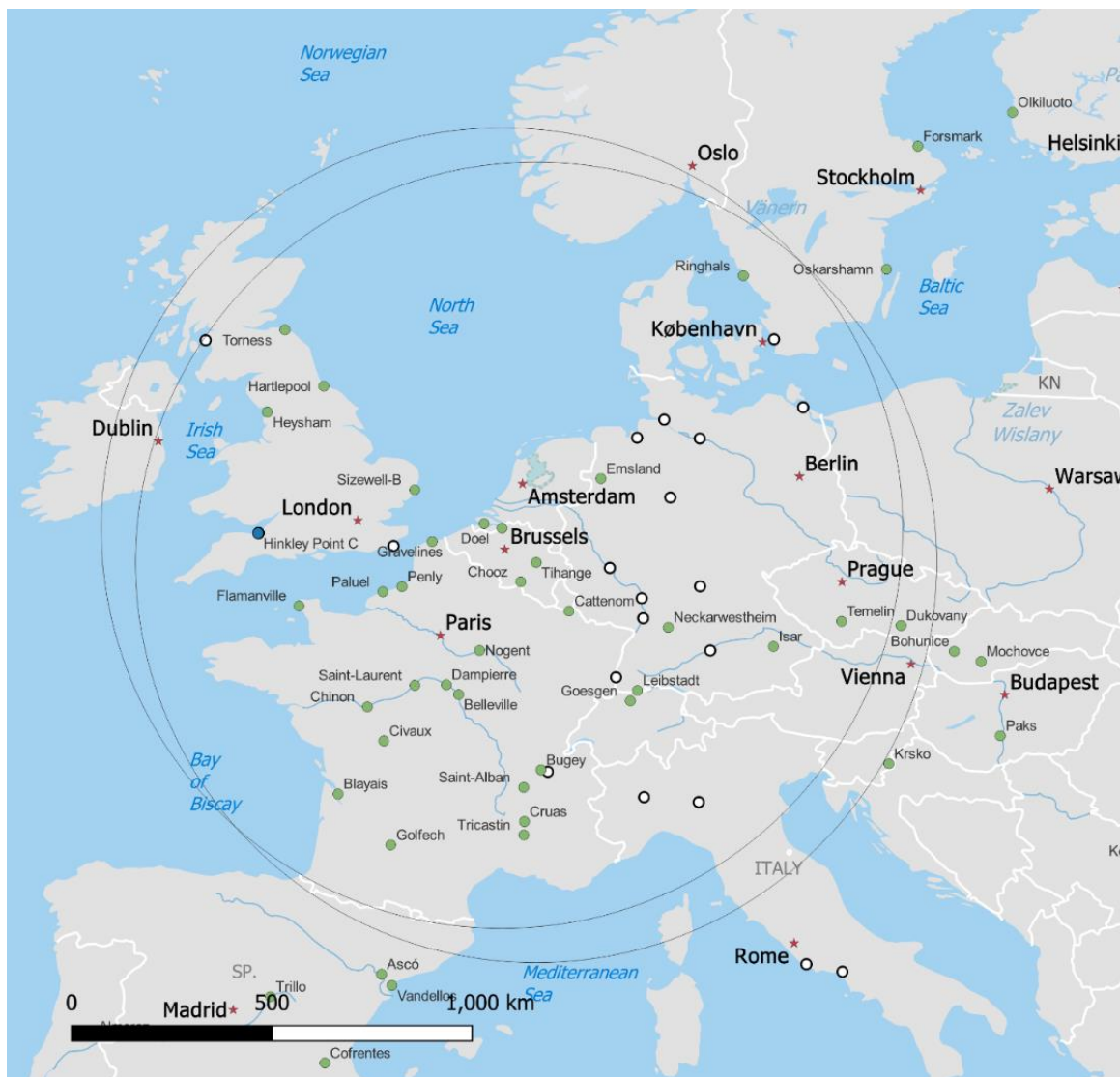


Figure 8 : Sites avec les centrales nucléaires en Belgique (Doel et Tihange) et alentours dans un rayon de 1.000 km. Les sites en vert sont des emplacements avec des tranches opérationnelles. Les sites en démantèlement complet sont indiqués en blanc et les sites en bleu sont des sites où de nouveaux réacteurs sont en construction. Carte basée sur la base de données Power Reactor Information System (PRIS) AIEA (<https://www.iaea.org/pris>). Les cercles représentent la zone d'un rayon de 1.000 km respectivement autour des centrales nucléaires de Doel et Tihange.

2 Méthodologie générale

2.1 Évaluation des informations disponibles

Pour l'évaluation des effets environnementaux du Projet, une liste des informations nécessaires a été dressée sur base d'un scoping des effets possibles. Ces informations sont en partie accessibles au public, en revanche des informations complémentaires de l'exploitant sont indispensables pour évaluer les effets. Il s'agit d'une part d'un aperçu des travaux prévus qu'implique le Projet et d'autre part d'un certain nombre de données techniques, d'analyses et de documents concernant l'exploitation des réacteurs nucléaires Doel 4 et Tihange 3 et leur phase post-opérationnelle. En septembre 2022 au début de l'évaluation de l'impact environnemental, une liste des informations indispensables a été demandée auprès de l'exploitant des centrales nucléaires KC Doel et CN Tihange. Des informations provenant de l'exploitant ont été mises à disposition après l'accord du 9 janvier 2023 entre le Gouvernement belge et l'exploitant ENGIE Electrabel SA pour maintenir les deux plus jeunes réacteurs nucléaires de notre pays, Doel 4 et Tihange 3, opérationnels pendant dix ans de plus. La plupart des informations ont été reçues entre le 19 et le 30 janvier 2023, des informations complémentaires ou des clarifications ont été obtenues en février 2023. Celles-ci ont été incluses dans la mesure du possible. Les informations disponibles étaient suffisantes pour effectuer une évaluation adéquate de l'impact sur l'environnement. Lorsque certains détails manquaient, des hypothèses prudentes ont été faites pour estimer les effets potentiels. De plus, la description des lacunes dans les connaissances fait partie de l'évaluation.

2.2 Méthodologie générale pour l'évaluation des effets non nucléaires

2.2.1 Scoping

2.2.1.1 Concept

Le scoping (sélection des impacts potentiellement significatifs) vise à identifier les disciplines et les impacts environnementaux (probablement) les plus significatifs dès le début de l'EIE, et à les distinguer d'autres disciplines moins pertinentes. De cette façon, le processus d'EIE se concentre sur l'essentiel.

Le scoping consiste en deux étapes clairement distinctes :

- L'identification des impacts possibles (l'impact peut-il se produire ?) ;
- La vérification de l'importance (l'effet est-il susceptible d'être significatif ?).

La première étape consiste à essayer d'obtenir un aperçu aussi complet que possible des effets potentiels. Dans un deuxième temps, la liste des impacts possibles est réduite en identifiant lesquels de ces impacts peuvent être (potentiellement) significatifs. Pour déterminer si les impacts sont potentiellement significatifs, on tient généralement compte, entre autres, des éléments suivants :

- La nature, l'ampleur, la durée et la réversibilité des effets ;
- L'importance, la rareté, la sensibilité ou la vulnérabilité des facteurs environnementaux affectés par l'impact ;
- La localisation du projet par rapport aux objectifs politiques et aux dispositions juridiques qui s'appliquent à l'environnement récepteur (priorités environnementales) ;
- La mesure dans laquelle l'étude d'un effet particulier contribue de manière substantielle à la décision soutenue par l'EIE.

2.2.1.2 Approche

Le scoping a été effectué dans le cadre de la présente évaluation de l'impact environnemental avec le soutien des actions suivantes :

- Analyse des principales caractéristiques des sites de Doel et Tihange, et plus particulièrement des réacteurs de Doel 4 et Tihange 3 (et des installations associées), au regard de leur impact potentiel sur l'environnement ;

- Analyse de la vulnérabilité de l'environnement ;
- Consultation des précédentes évaluations de l'impact l'environnemental réalisées pour les deux sites, et du scoping assuré dans celles-ci ;
- Organisation d'un atelier de scoping en présence des différents experts RIE (radiologiques et non radiologiques). L'interaction qui en a résulté a permis de mieux comprendre le fonctionnement des centrales et les effets qui peuvent en découler.

La sélection des impacts potentiellement significatifs qui a ainsi été déterminée est abordée plus en détail dans la discussion des différentes disciplines. Les résultats du scoping sont commentés en termes généraux ci-dessous.

La conclusion de cet exercice était que la discussion des impacts devrait se concentrer sur les récepteurs finaux de ces impacts, à savoir la santé humaine d'une part et la biodiversité d'autre part. Cela s'applique aux effets tant radiologiques que non radiologiques.

2.2.1.3 Scoping dans les grandes lignes

Étape 1 : Analyse des éléments potentiellement générateurs d'impact

Une première étape du scoping délimite la nature des effets susceptibles de se produire. Cette analyse commence par une liste des principaux composants et installations des centrales et évalue ensuite si le fonctionnement ou la présence de ces composants et installations peut avoir des incidences sur l'environnement. On utilise dans ce cadre les connaissances d'experts dans le domaine des relations de cause à effet et on s'appuie également sur les informations disponibles dans les précédents rapports sur l'impact environnemental ou notes d'impact (Doel : RIE 2010, Screening Note 2015, EIE concernant les travaux 2021 ; Tihange : RIE projet SF² 2018, RIE projet SF² 2019 et déclarations environnementales 2012 à 2022).

Le résultat de cette analyse est présenté dans le Tableau 6. Les symboles de ce Tableau ont les significations suivantes :

- X L'effet peut se produire et est potentiellement important ; l'accent de l'évaluation est mis sur ces effets.
- (x) L'effet peut se produire, mais est probablement négligeable

Le Tableau fait la distinction entre les disciplines réceptrices (climat, biodiversité, population et paysage) et les autres disciplines, que nous appelons ici disciplines auxiliaires. Souvent, les effets des centrales sur les disciplines réceptrices ne se produisent pas directement, mais par le biais des disciplines auxiliaires. Par exemple, les pompes et les générateurs n'ont pas d'impact direct sur la biodiversité, mais ils en ont un à travers le bruit et les émissions atmosphériques qu'ils génèrent.

Tableau 6 : Aperçu des principales installations et activités de Doel 4 et Tihange 3 et leur relation avec les impacts environnementaux potentiels.

Composant	Disciplines auxiliaires					Disciplines réceptrices			
	Eau	Sol/eaux	Air	Mobilité	Bruit	Climat	Biodiversité	Santé	Paysage
1. Traitement et rejet des eaux usées	X		(x)				X	(x)	
2. Rejet d'eau de refroidissement	X						X		
3. Gestion des eaux pluviales	X	(x)							
4. Captage de l'eau de refroidissement	X						X		
5. Tours de refroidissement et circuits de refroidissement	X		X		X	(x)		(x)	X

Composant	Disciplines auxiliaires					Disciplines réceptrices			
	Eau	Sol/eaux	Air	Mobilité	Bruit	Climat	Biodiversité	Santé	Paysage
6. Chaudières à vapeur, générateurs et installation de chauffage			X		(x)	X	(x)	(x)	
7. Réacteur, turbines à vapeur et alternateur					(x)				
8. Transformateurs et infrastructure haute tension		(x)			(x)		(x)	(x)	
9. Compresseurs et pompes/stations de pompage					(x)		(x)		
10. Entreposage de substances dangereuses non nucléaires		(x)	(x)						
11. Entreposage de déchets non nucléaires (huile, déchets		(x)	(x)						
12. Éclairage extérieur							(x)		
13. Trafic			(x)		(x)		(x)		

La présente EIE n'a pas pour but de décrire les impacts complets des centrales nucléaires de Doel et Tihange, mais seulement d'indiquer la différence entre les impacts en cas de désactivation de Doel 4 et Tihange 3 en 2025 d'une part, et la prolongation de leur durée de vie de 10 ans après redémarrage. Cela signifie que tous les effets générés par la centrale nucléaire ne sont pas pertinents pour la présente EIE.

Les effets qui *ne sont pas* exclusivement imputables au fonctionnement ou à la présence respectivement de Doel 4 ou de Tihange 3 font partie de la situation de référence de la présente EIE ; elles interviennent dans les deux cas et ne sont donc pas déterminantes pour la différence entre les situations avec ou sans prolongation de la durée de vie des deux réacteurs. Les activités de démantèlement des réacteurs précédemment désactivés sur les deux sites en sont un exemple. Ces activités (et les effets associés) auront lieu dans tous les cas, que la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 soit prolongée ou non. Elles permettent bien entendu de déterminer l'impact total des sites de Doel et de Tihange, mais pas de répondre à la question des différences spécifiques entre d'une part la situation dans laquelle Doel 4 et Tihange 3 sont encore en activité, et d'autre part la situation dans laquelle ce n'est pas le cas.

Étape 2 : Sélection des disciplines (thèmes) au sein desquels des effets potentiellement pertinents peuvent se produire

Au cours de cette étape, on détermine sur la base du Tableau 6 quelles disciplines devront faire l'objet d'une plus grande attention dans la présente évaluation stratégique de l'impact environnemental. En pratique, il s'agit des disciplines dans lesquelles des effets potentiellement significatifs peuvent se produire, qui peuvent être attribués au moins en partie à l'exploitation ou à la présence de Doel 4 ou Tihange 3.

En outre, dans cette étape, nous étendons également l'attention à certains effets « évités » du Projet ; il s'agit d'effets qui ne se produisent pas lors de la prolongation de la durée de vie, mais qui se produisent si Doel 4 et Tihange 3 sont désactivées. Cette question est examinée plus en détail ci-dessous.

La Figure 9 illustre schématiquement le scoping dans les grandes lignes au niveau des disciplines.

Comme l'illustre ce schéma, trois groupes d'impacts potentiellement importants ressortent du scoping : les effets du Projet, les effets évités du Projet et les effets sur le Projet.

Effets du Projet

Il s'agit d'effets directement imputables au Projet, c'est-à-dire à la décision politique stratégique (et des travaux associés) qui conduit à prolonger la durée de vie, d'une durée de 10 ans, des unités de réacteurs Doel 4 et Tihange 3. Comme nous l'avons dit, nous indiquerons de manière plus détaillée de quels effets il s'agit précisément lorsque nous aborderons les disciplines. Nous suivons une approche basée sur les récepteurs, selon laquelle nous évaluons d'abord les effets sur la biodiversité et la santé²² humaine. Pour ce faire, il est toutefois important d'avoir un aperçu des effets des centrales sur la qualité de l'air, d'une part, et sur le système hydrologique, d'autre part. Les émissions de gaz à effet de serre sont également traitées dans la présente EIE, tant comme un effet direct que comme un effet « évité ».

L'air, l'eau de surface, la biodiversité, la santé et le climat sont donc les cinq disciplines (thèmes) pour lesquelles les effets directs du Projet sont déterminés dans la présente EIE. Plus loin dans la présente évaluation de l'impact environnemental, les effets attendus et les critères d'évaluation associés seront abordés pour chacune de ces disciplines.

²² Les effets sur la santé sont principalement (potentiellement) liés aux effets radiologiques.

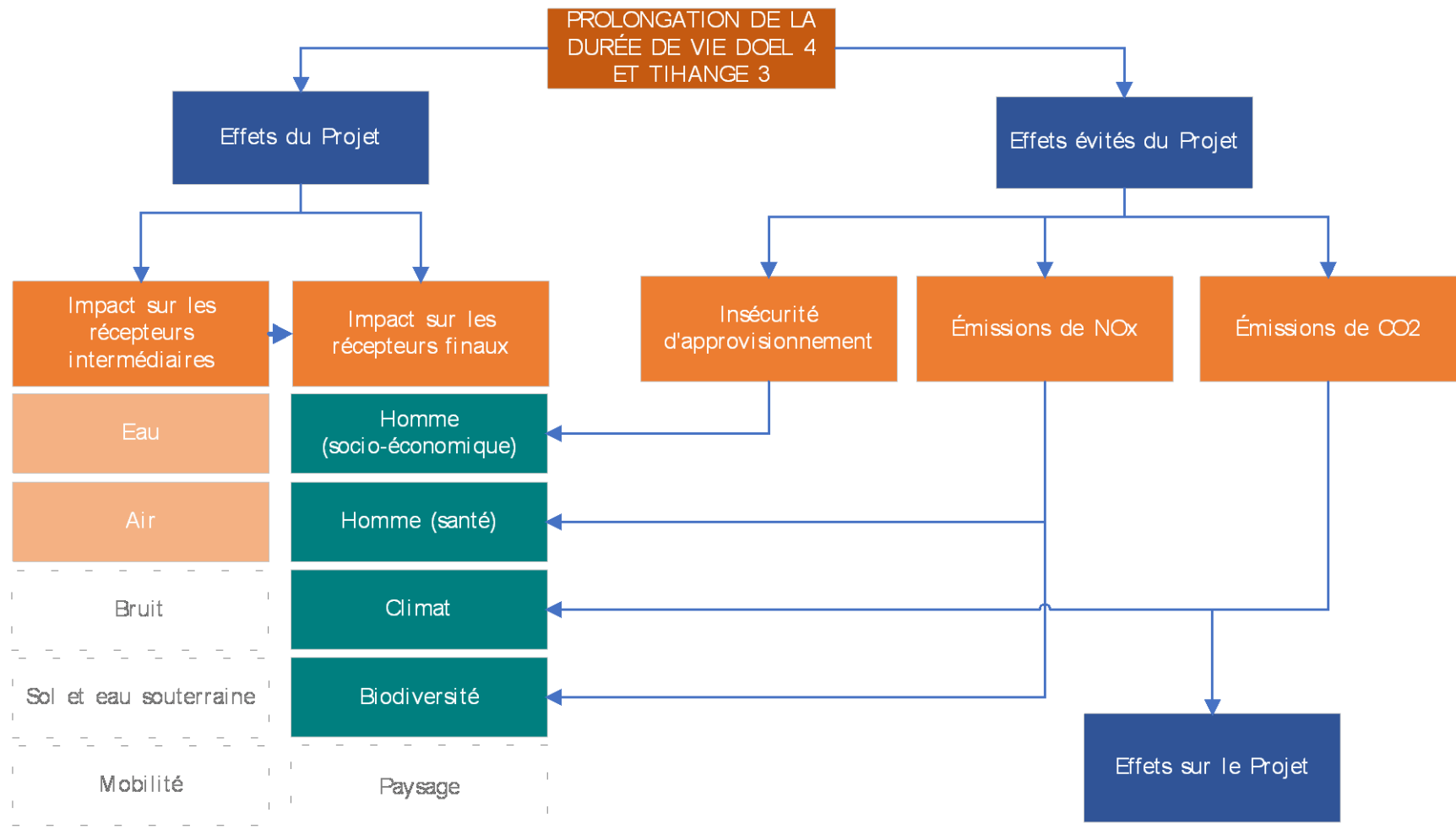


Figure 9 : Représentation schématique des grandes lignes du scoping de l'évaluation de l'impact environnemental de la décision politique de prolonger la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3.

Un certain nombre d'autres thèmes non radiologiques ne sont donc pas abordés dans la présente évaluation stratégique de l'impact environnemental. Dans le Tableau 7eci est brièvement motivé pour chacune de ces disciplines.

Tableau 7 : Aperçu des thèmes qui ne sont pas étudiés dans le rapport sur l'impact environnemental stratégique, et justification correspondante.

Thème	Raison de ne pas étudier ce thème dans le rapport sur l'impact environnemental au niveau stratégique
Sol	<p>La loi prévoit que l'installation doit être périodiquement soumise à une étude exploratoire des sols en raison des risques liés à l'entreposage de substances dangereuses dans l'établissement. Cet entreposage s'effectue conformément aux conditions du Vlare II pour Doel et du permis d'environnement en vigueur pour Tihange.</p> <p>Sur la base d'enquêtes précédentes, plusieurs parcelles du site KC Doel ont été inscrites au registre des terrains contaminés de l'OVAM, mais aucune de ces contaminations ne représentait une menace sérieuse pour l'homme ou l'environnement ni ne nécessitait un assainissement du sol.</p> <p>Sur le site de Tihange, certaines parcelles ont été intégrées à la banque de données wallonnes des sols (Banque de Données de l'État des Sols - BDES). Certaines parcelles ont été examinées et certaines contaminations ont été constatées. Cependant, la plupart des contaminants ne constituaient pas une menace sérieuse et quelques autres ont été corrigés.</p> <p>L'entreposage et la manutention de substances dangereuses en grandes quantités (diesel, produits de neutralisation, etc.) comportent potentiellement certains risques de contamination des sols et des eaux souterraines. Une partie de cet entreposage est également directement lié à Doel 4 et Tihange 3 (par exemple, une partie de l'entreposage de diesel nécessaire pour maintenir les pompes en marche en cas de panne de l'alimentation électrique). Le fait de garder Doel 4 et Tihange 3 ouvertes plus longtemps augmente donc théoriquement le risque de pollution supplémentaire du sol à la suite de fuites diffuses ou d'accidents. Étant donné qu'un certain nombre de mesures ont été prises sur les deux sites conformément aux réglementations respectives des permis environnementaux (par exemple, encuvement, détection de fuites, etc.), on peut toutefois affirmer que la probabilité d'une nouvelle pollution significative du sol pendant la période d'exploitation supplémentaire de 10 ans est très faible.</p> <p>L'exploitation de Doel 4 et Tihange 3 implique aussi le revêtement de la partie du site occupée par les installations. La prolongation de la durée de vie signifie que ce revêtement du sol est maintenu pendant au moins 10 ans. Toutefois, on peut supposer que même si les centrales étaient arrêtées définitivement en 2025, le revêtement ne serait pas enlevé au cours des dix années suivantes, étant donné la longue période nécessaire au démantèlement. De leur côté, les travaux nécessaires pour permettre la prolongation n'entraînent pas d'augmentation significative de revêtement du sol.</p>
Paysage	<p>L'impact paysager des centrales nucléaires de Doel et de Tihange est principalement déterminé par les hautes tours de refroidissement et leurs panaches de vapeur d'eau caractéristiques, et dans une moindre mesure également par les bâtiments des réacteurs. Les lignes à haute tension contribuent également à l'impact visuel. Compte tenu de la durée des activités de démantèlement, on peut dire que l'impact paysager des deux sites sera significatif jusqu'en 2037 au moins, que Doel 4 et Tihange 3 soient arrêtés ou non. L'effet paysager des éventuelles installations supplémentaires qui seraient nécessaires pour rendre possible la prolongation peut être considéré comme négligeable par rapport aux autres installations sur le site.</p>
Eaux souterraines	<p>La centrale nucléaire de Doel n'utilise pas les eaux souterraines. Prolonger ou non la durée de vie de Doel 4 n'a donc aucun effet dans ce domaine.</p> <p>La centrale de Tihange pompe la nappe phréatique pour garantir l'alimentation en eau des circuits de refroidissement en cas de défaillance d'autres sources d'eau. Reporter ou ne pas désactiver Tihange 3 n'y change rien voire peu, car les ressources en eau souterraine ne sont utilisées que dans des circonstances très exceptionnelles.</p> <p>La présence de plusieurs bâtiments déjà existants (dont les fondations et les pieux de fondation atteignent la profondeur des sédiments tertiaires à Doel et des alluvions mosans à Tihange) et des parois moulées</p>

	<p>autour de différentes parties de la centrale peuvent perturber l'écoulement naturel des eaux souterraines. Cependant, cette situation n'est pas fondamentalement différente dans une situation avec ou sans prolongation de la durée de vie, puisque les activités sur le site se poursuivront pendant de nombreuses années même si la production d'électricité est arrêtée.</p> <p>En ce qui concerne la pollution potentielle des eaux souterraines, on peut se référer en premier lieu aux considérations relatives au thème du sol (voir ci-dessus), d'où il ressort que la probabilité d'une pollution supplémentaire du sol (et donc des eaux souterraines) à la suite de l'entreposage de substances polluantes est très faible, compte tenu des mesures prises conformément à la réglementation en vigueur.</p> <p>Un effet sur le bilan hydrique des eaux souterraines ne doit pas être prévu non plus, car au cours de la période de référence, on ne s'attend pas à des différences significatives dans la surface revêtue entre la situation avec et sans report de la désactivation.</p>
Mobilité	<p>Les mouvements de trafic résultant de l'exploitation des sites de Doel et de Tihange sont principalement causés par les véhicules utilisés par le personnel et les sous-traitants à destination et en provenance du site. Il y a également des déplacements de véhicules de personnel à l'intérieur des sites. En outre, il y a les transports en fonction de l'approvisionnement et de l'entretien des installations (produits chimiques, carburant, pièces détachées, évacuation des déchets, etc.). Le transport lié à l'exploitation quotidienne des centrales s'effectue par la route.</p> <p>À Doel, le trafic (lourd) à destination et en provenance de la centrale nucléaire passe par le port du Pays de Waes, plus précisément autour du Deurganckdok, et de là jusqu'à la jonction avec la R2 (et de là soit vers l'A12, la E34, la E17 ou la R1). Aucune zone résidentielle n'est traversée. Il existe bien sûr plusieurs variantes sur cette route principale, où le trafic passe par les polders, éventuellement via la Kieldrecht et la N451 directement vers la jonction avec la E34.</p> <p>En moyenne, quelque 1700 personnes sont présentes sur le site (pendant la journée) et cette présence peut être liée à quelque 1300 véhicules, qui se répartissent approximativement en 900 voitures particulières, 300 camionnettes et 100 camions. Le nombre de mouvements de véhicules augmente lors de grands travaux/révisions. La saturation du réseau routier local vers le site de Doel ne se produit pas. Toutefois, il est possible que la circulation soit dense aux heures de pointe du matin et du soir. La construction de la future route d'accès ouest au port du Pays de Waes, qui aura lieu pendant la période de la prolongation de la durée de vie de Doel 4, améliorera considérablement l'accessibilité du site. Par conséquent, même avec une augmentation des mouvements de véhicules à destination et en provenance du site (ce qui n'est pas prévu), il n'y aurait probablement aucun effet sur la fluidité de la circulation.</p> <p>Le trafic (lourd) à destination et en provenance du site de Tihange passe par la N90, qui a un accès direct au site, et la N684, qui traverse la Meuse et rejoint l'E42 (sortie 15). Ce sont des routes larges (3 à 4 voies) adaptées au trafic de la centrale nucléaire. En moyenne, il y a environ 1200 personnes sur place (en journée) : 1000 employés et 200 fournisseurs, sous-traitants ou visiteurs. On estime qu'en moyenne 900 véhicules visitent le site chaque jour, dont environ 650 voitures particulières, 200 camionnettes et 50 camions. Cela équivaut à environ 950 équivalents véhicules particuliers par jour dans chaque direction. Le nombre de mouvements de véhicules augmente lors de grands travaux/révisions. Étant donné que le trafic est de l'ordre de 15 000 équivalents véhicules particuliers par sens sur la N90 et 12 500 équivalents véhicules particuliers par sens sur la N684, il s'ensuit que le trafic imputable à la centrale de Tihange représente entre 6 et 8 % du trafic sur ces routes nationales. Il n'y a pas de saturation du réseau routier local vers le site de Tihange, bien qu'un trafic important soit possible pendant les heures de pointe du matin et du soir.</p> <p>La prolongation de la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 n'augmente ni ne diminue de manière significative le nombre de mouvements de véhicules à destination et en provenance du site par rapport à la période avant 2025. Le démantèlement resp. de Doel 1, 2 et 3 et de Tihange 1 et 2 se poursuivra pendant toute la période de prolongation de la durée de vie.</p>
Bruit	<p>Sur les sites des deux centrales nucléaires, on peut distinguer plusieurs sources de bruit qui représentent collectivement l'émission sonore totale de l'opération en plein air. Il faut distinguer les sources qui sont en fonctionnement continu et celles qui ne sont réellement en fonctionnement qu'une partie limitée du temps (< 1 %), comme les groupes de secours et les bancs de refroidissement de secours. Les sources temporaires ne fonctionnent qu'en cas d'urgence, mais sont également testées chaque mois pour des raisons de sécurité et d'entretien.</p>

	<p>Le RIE de 2010 a révélé que les deux tours de refroidissement de Doel étaient responsables de 55 % de la puissance sonore (principalement le bruit de la chute d'eau). Les tours de refroidissement auxiliaires (ventilateurs) représentent 20 %, tandis que les ouvertures et les murs des salles des machines et des bâtiments du réacteur représentent 15 % supplémentaires. Cumulativement (c'est-à-dire pour l'ensemble du site, avec toutes les installations en production), cela conduit à un dépassement des valeurs guides du Vlare, en particulier à l'est du site. Pendant la période d'extension de la durée de vie, les sources de bruit liées à Doel 4 continueront à fonctionner, mais l'impact sonore du site dans son ensemble diminuera, vraisemblablement à un niveau tel que les dépassements de normes ne seront plus un problème. Le RIE de Tihange réalisé en 2019 a révélé que le site est conforme à la réglementation wallonne sur le bruit. Dans ce cas, la prolongation de la durée de vie n'a de toute façon aucun effet.</p> <p>Si la prolongation de la durée de vie devait nécessiter la construction ou l'exploitation de plusieurs nouvelles installations ou bâtiments, il est supposé que cela n'entraînerait pas d'augmentation significative des nuisances sonores et associées pour les riverains en phase opérationnelle. Cette hypothèse est confirmée par l'exemple du récent projet SF² à Tihange, qui n'a pas eu d'impact significatif sur les niveaux de bruit.</p> <p>En revanche, le démantèlement des autres réacteurs présents sur les sites créera de nouvelles sources de bruit.</p>
--	--

Effets évités du Projet

Ce sont des effets qui ne se produiront pas si le Projet est réalisé, mais qui se produiront si le projet n'est pas réalisé. Il s'agit donc d'effets qui se produisent dans la situation de référence. Étant donné que l'ampleur d'un impact est déterminée en faisant la différence entre la situation du projet et la situation de référence, il s'agit d'impacts négatifs ou « évités ».

Pour pouvoir se prononcer sur l'ampleur de ces effets évités, il est nécessaire de définir plus précisément la situation de référence en termes de manière dont la capacité de production perdue serait comblée au cours de la période de prolongation de la durée de vie. Il s'agit, bien entendu, d'un exercice théorique qui n'a pas pour but de comparer les effets de différentes combinaisons énergétiques (non réalisées)²³.

Afin de simplifier cet exercice, il a été décidé dans la présente évaluation environnementale, pour déterminer les effets évités, de faire en sorte que la capacité, perdue ou non, soit comblée selon les mêmes proportions qu'au sein de la part actuelle de la capacité non nucléaire. Compte tenu de la grande incertitude sur la manière dont les capacités éventuellement perdues de Doel 4 et Tihange 3 pourraient être comblées (énergies renouvelables, TVG ou autres formes de compensation de capacité, économies d'énergie, importations de l'étranger, etc.), c'est l'option de repli la plus évidente à portée de main. Compte tenu du manque de clarté quant au remplacement réel de la capacité perdue, nous n'étudions pas un certain nombre d'effets qui pourraient y être liés (mais qui dépendent fortement de la nature et de la localisation des installations de remplacement). Il s'agit notamment à cet égard des effets sur le paysage, la qualité de l'air ou la qualité de l'eau.

Concrètement, nous limitons l'étude des effets évités spécifiquement à :

- Les émissions de gaz à effet de serre évitées (avec des répercussions sur la discipline Climat) ;
- Les émissions de NO_x évitées (avec des répercussions sur la discipline Homme et Santé).

En outre, nous tenons également compte de l'incertitude d'approvisionnement évitée. Éviter cette incertitude est l'objectif même du plan, et n'est donc pas en ce sens un effet secondaire de celui-ci. Néanmoins, il est bon de se faire une idée des effets sur cet aspect si la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 n'était pas prolongée. Les effets de l'incertitude de l'approvisionnement sont examinés avant tout dans le contexte du thème « Homme ».

²³ Un tel exercice a été réalisé dans le cadre de « l'Étude sur les perspectives d'approvisionnement en électricité à l'horizon 2030 » du Service public fédéral Économie (2015) et du plan RIE correspondant.

Effets sur le Projet

Les « effets sur le Projet » font spécifiquement référence aux conséquences du changement climatique sur le plan. L'obligation d'inclure cet aspect dans l'évaluation de l'impact environnemental découle des modifications apportées à la directive EIE 2011/92/UE par la directive 2014/52/UE. L'annexe IV de cette directive stipule en effet qu'une évaluation de l'impact environnemental doit notamment comprendre une description de *l'impact du projet sur le climat* (par exemple, la nature et l'ampleur des émissions de gaz à effet de serre) et de *la vulnérabilité du projet au changement climatique*.

Cela peut concerner l'intégrité ou le fonctionnement du Projet. La logique même d'un projet peut également changer en raison du changement climatique et les impacts d'un projet décrit dans une EIE peuvent devenir plus ou moins importants à mesure que le climat change²⁴.

2.2.2 Cadre d'évaluation général

L'évaluation est faite par rapport aux différents objectifs politiques dans une discipline ou un domaine politique particulier. Pour chaque objectif politique, nous faisons l'une des déclarations suivantes :

1. Le Projet apporte une contribution notable à la réalisation de l'objectif -> score « positif » ;
2. Le Projet ne contribue pas de façon notable à la réalisation de l'objectif, mais ne le contrecarre pas non plus de façon notable -> score « neutre » ;
3. Le Projet contrecarre la réalisation de l'objectif de façon notable -> score « négatif ».

Afin de déterminer si le Projet contribue ou non à la réalisation d'un objectif particulier, certains effets doivent être examinés. Ceux-ci peuvent ou non correspondre aux effets « classiques » des guides, par exemple.

Par exemple : si un objectif de la politique de la nature pouvait être formulé comme « conservation des espèces », alors les différents effets qui pourraient l'influencer doivent être abordés : occupation des terres, fragmentation, perturbation, etc. Ces effets sont uniquement abordés et non évalués ; l'évaluation ne se fait qu'au niveau des objectifs.

2.2.3 Cadres d'évaluation spécifiques

Dans chacune des disciplines couvertes plus loin dans la présente EIE, les effets qui seront étudiés et les critères d'évaluation qui seront utilisés sont examinés plus en détail. Dans la mesure où cela est pertinent, il est également à chaque fois indiqué par rapport à quoi les résultats de la description d'impact seront évalués (cadre d'évaluation).

2.2.4 Profondeur de l'évaluation

Comme indiqué précédemment, l'évaluation de l'impact environnemental concernant la décision politique de prolonger de 10 ans la durée de vie de Doel 4 et de Tihange 3 se situe à un niveau stratégique²⁵. L'approche suivie ici est différente de celle d'une évaluation de l'impact environnemental pour un projet de mise en œuvre.

Dans la pratique, il n'y a pas de frontières vraiment nettes entre ce que nous considérons comme une évaluation au niveau stratégique et une évaluation au niveau des projets. Il y a plutôt une transition progressive de la réflexion

²⁴ Un exemple classique est la mesure dans laquelle l'impact d'un rejet sur un cours d'eau deviendrait plus important si une sécheresse liée au climat modifiait le débit moyen de ce cours d'eau.

²⁵ L'impact des travaux se produit au niveau du projet, mais comme cet impact ne dépasse pas les contours du site et peut être comparé à l'impact des travaux d'entretien précédents, ceux-ci ne jouent pas un rôle significatif dans la détermination de l'impact global du projet.

stratégique à la réflexion opérationnelle. Les éléments clés et les polarités de ce continuum stratégique-opérationnel sont représentés graphiquement dans la Figure 10.

Il est clair que la présente évaluation de l'impact environnemental se situe davantage du côté gauche que du côté droit de ce continuum. Cela signifie, entre autres, que la présente EIE utilise principalement des données existantes et que la description et l'évaluation de l'impact seront en grande partie non quantitatives. De plus, la présente évaluation de l'impact environnemental (stratégique) se concentre sur les effets dont l'impact peut être significatif. Les effets dont l'impact attendu est limité ne sont pas abordés dans la présente évaluation de l'impact environnemental. Compte tenu de la nature stratégique de la décision étayée par la présente EIE, c'est également acceptable.

Projet : report de la désactivation de Doel 4 et Tihange 3		
	Évaluation de l'impact environnemental de la décision politique du report	Étude de l'impact environnemental des travaux inhérents
Nature de l'action	Stratégique, conceptuel	Direct, opérationnel
Échelle des effets	À grande échelle	Localement
Échelle du temps	Long à moyen terme	Moyen à court terme
Sources de données importantes	Données existantes provenant, p. ex., de rapports environnementaux	Données basées sur le travail de terrain et données du projet
Type de données	Plutôt qualitatif	Plutôt quantitatif
Options	À l'échelle de la zone, technologique, intermodal	Emplacement, conception spécifique
Incertitude et justification	Plus incertain	Plus étayé

Figure 10 : Principaux éléments du continuum stratégique-opérationnel du rapport sur l'impact environnemental^{iv} appliqués à l'évaluation de l'impact environnemental du projet.

2.3 Méthodologie générale pour l'évaluation des effets nucléaires, y compris les déchets radioactifs et le combustible usé

2.3.1 Introduction

Ce chapitre décrit les aspects environnementaux nucléaires ou radiologiques qui sont pris en compte dans le cadre du Projet. Il s'agit en premier lieu de l'exposition aux rayonnements ionisants, d'une part en fonctionnement normal et d'autre part en situation accidentelle (incident ou accident nucléaire), et ce tant pour la personne la plus exposée (individu critique) que pour l'environnement (faune et flore). En outre, les effets transfrontières (potentiels) sont également pris en compte. Deuxièmement, l'impact du Projet sur les quantités de déchets radioactifs et de combustible nucléaire usé est pris en compte, en particulier les quantités de déchets radioactifs produits pendant la période prolongée de production d'énergie industrielle (le Projet), ainsi que les quantités de déchets attendues lors du démantèlement après arrêt définitif. La méthodologie pour décrire ces effets étant identique pour Doel et Tihange, nous les abordons ensemble. La situation actuelle, les effets de la prolongation des tranches Doel 4 et

Tihange 3 pendant 10 ans après 2025 (le Projet) et la non-prolongation (désactivation ou arrêt définitif) de Doel 4 et Tihange 3 en 2025 (l'alternative zéro) seront abordés dans les parties spécifiques pour Doel 4 et Tihange 3.

Afin d'interpréter correctement les effets et la méthodologie, nous donnons d'abord un aperçu des concepts de base de la radioactivité et du rayonnement, des effets du rayonnement sur l'homme et l'environnement, des déchets radioactifs et des voies d'exposition au rayonnement.

2.3.2 Concepts de radioprotection de base utilisés dans l'évaluation, y compris la législation pertinente

La **radioactivité** est une propriété de certains atomes par laquelle ils émettent spontanément de l'énergie sous forme de rayonnement et par laquelle ils se transforment (nous appelons cela la **décroissance radioactive**) en une forme plus stable, jusqu'à ce qu'ils deviennent finalement des atomes stables. Le rayonnement émis peut prendre la forme de particules telles que des électrons, des noyaux d'hélium, des neutrons, ... ou un rayonnement électromagnétique (photons). Ce rayonnement a beaucoup d'énergie et peut interagir avec la matière à travers laquelle il se déplace pour ioniser directement ou indirectement les atomes et est donc également appelé **rayonnement ionisant**.

Il existe différentes formes de décroissance radioactive, qui émettent également un rayonnement spécifique. Par exemple, les plus importantes sont les **désintégrations alpha, bêta et gamma**, qui émettent un rayonnement respectivement alpha, bêta et gamma. Une forme moins courante de décroissance radioactive est la fission spontanée, par laquelle le noyau se divise en deux produits de fission accompagnés de la libération d'un certain nombre de neutrons, également une forme de rayonnement ionisant. Ce dernier processus a également lieu dans un réacteur nucléaire, mais est induit par les neutrons présents et on parle alors de fission nucléaire induite (voir §1.2.1.2). Lors de la désintégration de certains atomes, une combinaison de ces différentes formes de décroissance radioactive peut se produire, auquel cas une combinaison des différents types de rayonnement est également émise, c'est-à-dire qu'une source radioactive constituée d'un seul type d'atome radioactif peut émettre différents types de rayonnement avec différentes énergies de transmission.

Intermédiaire – atome de structure et notation des radionucléides

Toute matière est composée d'atomes, qui à leur tour se composent d'un noyau atomique et d'électrons. Le noyau atomique lui-même contient un certain nombre de protons et de neutrons. Les protons sont chargés positivement, les électrons négativement et les neutrons ne sont pas chargés électriquement. Un atome neutre a un nombre égal de protons et d'électrons. Le nombre de protons (numéro atomique Z) dans le noyau détermine le type d'atome, l'**élément chimique**. Cependant, les éléments avec un certain nombre de protons dans le noyau peuvent avoir un nombre différent de neutrons (N) : ceux-ci sont appelés **isotopes** d'un certain élément. Nucléides est le nom collectif des différentes combinaisons possibles de protons et de neutrons dans le noyau et nous les nommons avec l'élément chimique (ou l'abréviation utilisée pour cela) suivi du nombre de masse égal au nombre de particules nucléaires (nucléons : protons et neutrons). Les nucléides peuvent être stables ou radioactifs, dans ce dernier cas on parle de **radionucléides**. Quelques exemples :

- le césium-137 (ou Cs-137, souvent aussi ^{137}Cs) est un atome de césium avec 137 particules nucléaires (nucléons). Le noyau du césium contenant toujours 55 protons (nombre atomique), le Cs-137 contiendra $137-55=82$ neutrons. Le Cs-137 est radioactif et se désintègre. Le Cs-134 est un autre **isotope** de l'élément césium et est également radioactif. Le césium 133, par contre, est une forme stable de césium, même la seule forme stable de l'élément césium ;
- L'hydrogène-1 (ou H-1, souvent aussi ^1H) est la forme stable la plus courante de l'hydrogène, le noyau n'étant constitué que d'un proton. Le deutérium (hydrogène-2, H-2 ou ^2H) est également stable, et environ 0,01 % de tout l'hydrogène est du deutérium, il contient 1 proton et 1 neutron dans le noyau. Le tritium (hydrogène-3, H-3 ou ^3H) est toujours une forme d'hydrogène, mais maintenant avec deux neutrons dans le noyau et est radioactif. Pour l'hydrogène en particulier, les différents isotopes portent des noms : hydrogène, deutérium et tritium ;
- Le technétium-99m (Tc-99m ou ^{99m}Tc) est un atome de technétium avec 99 particules atomiques, il est radioactif. Le « m » fait référence au fait que le noyau de technétium-99 se trouve dans un état énergétique supérieur (nous appelons cela un état nucléaire excité). Le Tc-99m se désintègre jusqu'à l'état de base du Tc-99 qui est lui-même radioactif. Le Tc-99m et le Tc-99 désignent donc deux états nucléaires différents du même isotope qui se désintègrent tous deux de manière différente.

Une **source radioactive** est un ensemble d'atomes radioactifs, qui peuvent tous être les mêmes radionucléides (par exemple le Cs-137) ou un mélange de différents radionucléides (par exemple le Cs-137 et le Cs-134).

L'**activité** d'une source radioactive est le nombre d'atomes radioactifs qui se désintègrent par seconde. L'unité est le becquerel (Bq). Un Becquerel correspond à un atome radioactif qui se désintègre par seconde. Le becquerel est une petite unité. Les sources faiblement radioactives, par exemple pour tester un appareil de mesure de rayonnement, ont généralement déjà une activité de plusieurs milliers de becquerels (quelques kBq). Un aperçu de l'activité d'un certain nombre de sources radioactives figure dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Exemples de l'activité de plusieurs sources radioactives, en intensité croissante. Les préfixes utilisés (k, M, G, T, P) figurent plus loin dans le texte.

Radioactivité dans l'eau de mer	12 Bq/litre
Radioactivité dans les pommes de terre	160 Bq/kg
K-40 présent dans le corps humain	3 kBq
Activité totale dans le corps humain (K-40, H-3, C-14, Ra-226, etc.)	8,5 kBq
Rejet d'I-131 radioactif dans l'air par KC Doel et CN Tihange ensemble par an – moyenne sur la période [2016-2020]	30 MBq
Tc-99m utilisé en scintigraphie osseuse pour le diagnostic/patient	740 MBq
I-131 utilisé pour le traitement du cancer de la thyroïde/patient	2 GBq
1 million de tonnes de minerai d'uranium	720 TBq
CS-137 rejeté dans l'atmosphère lors de l'accident de Fukushima (2011)	6 à 20 PBq
CS-137 rejeté dans l'atmosphère lors de l'accident de Tchernobyl (1986)	85 PBq
Quantité totale de Cs-137 libérée lors d'essais de bombes nucléaires en surface (principalement dans la période 1950-1965)	948 PBq

Les **atomes radioactifs** peuvent également être mélangés à des matières non radioactives, par exemple lorsque la radioactivité est rejetée dans l'eau, cette eau contiendra une certaine activité par litre d'eau (Bq/l). De même, la radioactivité peut être présente, par exemple, dans les aliments (Bq/kg), dans l'air (Bq/m³) ou être déposée sur le sol (Bq/m²).

Intermédiaire – utilisation des préfixes

Pour des quantités spécifiques dans l'évaluation des effets radiologiques telles que l'activité et la dose, on utilise des préfixes standard pour représenter des valeurs très grandes et très petites dans les unités standard utilisées.

Préfixe		Base 10	Décimale
Nom	Symbole		
péta	P	10^{15}	1.000.000.000.000.000
tera	T	10^{12}	1.000.000.000.000
giga	G	10^9	1.000.000.000
méga	M	10^6	1.000.000
kilo	k	10^3	1.000
		10^0	1
milli	m	10^{-3}	0,001
micro	μ	10^{-6}	0,000001
nano	N	10^{-9}	0,000000001
pico	p	10^{-12}	0,000000000001
femto	f	10^{-15}	0,000000000000001

Des exemples sont : GBq (gigabecquerel), PBq (pétabecquerel), μ Sv (microsievert), nSv/h (nanosievert par heure), ... mais bien entendu aussi utilisé dans d'autres domaines, comme MW (mégawatt), kWh (kilowattheure), ...

L'activité d'une source d'un radionucléide spécifique est proportionnelle au nombre d'atomes radioactifs qu'elle contient ; la constante de proportionnalité est spécifique à chaque radionucléide. Cela implique que l'activité d'une source d'un radionucléide bien défini diminue de façon exponentielle en fonction du temps. Le moment où l'activité est réduite de moitié s'appelle la **demi-vie**, qui est spécifique aux radionucléides et peut aller de moins d'une milliseconde à des milliards d'années. Par exemple, le Tc-99m a une demi-vie ($T_{1/2}$) de 6,0072 heures, l'I-131 (iode 131) de 8,0252 jours, le tritium de 12,312 ans et le Cs-137 de 30,05 ans. Les demi-vies sont spécifiques aux radionucléides et dans une très large mesure constantes. Cependant, ce n'est pas que des facteurs tels que la pression, l'environnement chimique n'aient aucun effet sur les demi-vies des radionucléides, mais ces effets sont très faibles. Une source radioactive ne fera donc que diminuer d'intensité avec le temps comme indiqué dans la Figure ci-dessous. Après une demi-vie, l'activité aura diminué à la moitié (1/2) de l'activité d'origine. Après 2 demi-vies à un quart (1/4), etc... Après 10 demi-vies, l'activité est inférieure à 1/1000 de l'activité d'origine. Outre la décroissance radioactive, il existe en principe également la possibilité de convertir un radionucléide en un autre nucléide (généralement également radioactif) via des réactions nucléaires. Nous appelons cela la transmutation.

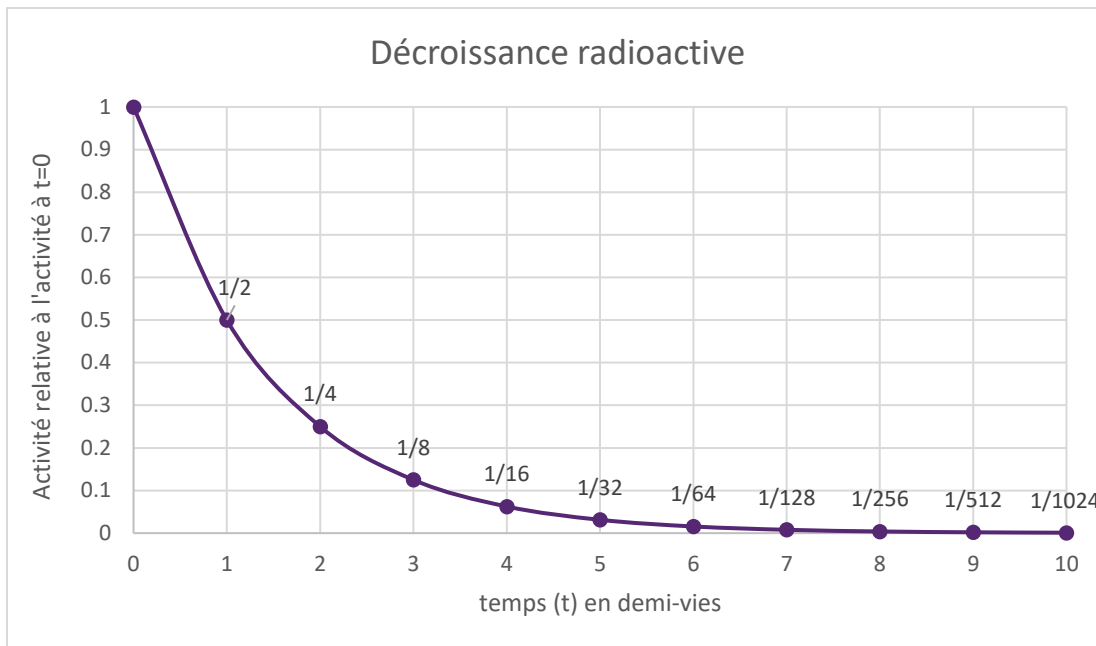


Figure 11 : Décroissance exponentielle de l'activité d'une source radioactive avec le temps (le temps s'exprime en demi-vie, soit le temps qu'il faut pour que l'activité d'une source radioactive diminue de moitié).

La radioactivité est un phénomène naturel et tout ce qui nous entoure est plus ou moins radioactif. Nous faisons donc la distinction entre la **radioactivité naturelle** et la **radioactivité artificielle**.

La radioactivité naturelle est causée par une série de radionucléides naturels. L'essentiel de ceux-ci est présent depuis la formation de la terre, on les appelle radionucléides primordiaux. Ce sont des *radionucléides de longue durée de vie*, les plus importants étant le potassium 40 (K-40), l'uranium 238 (U-238) et le thorium 232 (Th-232). Le potassium 40 se désintègre immédiatement en atomes stables, mais l'U-238 et le Th-232 se désintègrent à travers toute une série de radionucléides successifs jusqu'à former du plomb stable : ce sont les séries de désintégration naturelle (séries uranium et thorium) et elles contiennent des éléments radioactifs tels que le radium 226 (Ra-226) et le radon (Rn-222 et Rn-220, ce dernier est aussi appelé thoron, car il appartient à la série du thorium). Ces radionucléides sont donc présents dans le monde entier, avec des variations naturelles importantes. D'autres radionucléides naturels sont produits en permanence par le rayonnement cosmique (radionucléides cosmogéniques) qui nous parvient de l'espace et donne naissance à des radionucléides naturels tels que le tritium (H-3) et le carbone 14 (C-14) par le biais de réactions nucléaires. Ces deux derniers radionucléides sont également générés artificiellement lors du fonctionnement d'un réacteur nucléaire.

La radioactivité artificielle est le résultat de radionucléides fabriqués par l'homme. Il existe diverses sources de radionucléides artificiels, allant des essais de bombes nucléaires, le fonctionnement des réacteurs nucléaires et des accélérateurs de particules, l'utilisation médicale des radionucléides, ... Certains radionucléides artificiels ne sont (presque) pas naturels et sont donc pour ainsi dire exclusivement dérivés de l'activité humaine (par exemple l'iode 131) ; d'autres radionucléides, comme le tritium et le C-14, sont présents tant naturellement qu'artificiellement.

L'exposition aux rayonnements ionisants provenant de sources radioactives peut se produire de plusieurs façons :

- Il est possible d'être irradié par une source radioactive située à distance, nous appelons cela **l'irradiation ou l'exposition externe**. Le rayonnement gamma et le rayonnement neutron sont les principales sources d'irradiation externe ;
- Il est possible d'être **contaminé** par des particules radioactives, par :
 - Voie externe : seule (une partie de) la peau est contaminée ;
 - Voie interne, par exemple par inhalation de particules radioactives, par ingestion d'aliments contaminés ou par absorption par les plaies en cas de contamination externe ou dans un contexte médical par l'administration d'une source radioactive à des fins de diagnostic ou de traitement.

Une personne contaminée (interne ou externe ou les deux) sera automatiquement également irradiée. Ces différentes voies d'exposition donnent lieu à un impact radiologique différent et sont toujours prises en compte dans une analyse d'impact radiologique.

En général, on n'est pas contaminé par une irradiation externe : seule l'irradiation externe par des neutrons (et les rayons gamma ou X de très haute énergie, qui ne sont pas applicables dans ce contexte) peut donner lieu à une activation, des atomes radioactifs étant ici créés par des réactions nucléaires d'atomes stables avec des neutrons. Citons à titre d'exemple la formation du tritium radioactif par absorption de neutrons lors de l'interaction avec le deutérium stable. Un autre exemple est que des quantités limitées de cobalt-59 (Co-59) stable présent dans la cuve du réacteur absorbent les neutrons et génèrent ainsi du Co-60 radioactif.

Le rayonnement alpha (rayonnement α) émis lors de la désintégration alpha est constitué de noyaux He-4 qui libèrent toute leur énergie sur une très courte distance (centimètres dans l'air, micromètres dans les tissus) de sorte qu'ils ne présentent aucun danger ou un danger très limité pour l'irradiation externe, mais peuvent être très dangereux (lésions tissulaires) en cas de contamination par voie interne.

Le rayonnement bêta (rayonnement β) émis lors de la désintégration bêta est constitué d'électrons ou de positrons et ceux-ci dégagent leur énergie sur une distance limitée (mètres dans l'air, millimètres dans l'eau ou les tissus) et peuvent donc constituer un problème de rayonnement externe, ainsi qu'un problème de contamination externe ou interne. Étant donné qu'ils libèrent leur énergie sur une plus grande distance/un plus grand volume, ils sont moins dangereux que les émetteurs alpha en cas de contamination interne.

Le rayonnement gamma (rayonnement γ) est une forme de rayonnement électromagnétique (comme la lumière, mais d'une longueur d'onde beaucoup plus courte ou d'une fréquence plus élevée) émis lors de la désintégration gamma. Le rayonnement gamma se produit souvent après la désintégration alpha ou bêta et présente une longue portée (des centaines de mètres dans l'air, des dizaines de centimètres dans les tissus) et est donc important tant en cas d'irradiation externe qu'en cas de contamination.

Les neutrons émis par la fission nucléaire spontanée ou induite ou par d'autres réactions nucléaires ont une longue portée ; des matériaux spécifiques sont nécessaires pour le blindage et sont particulièrement importants en cas d'irradiation externe.

L'effet ou l'impact des rayonnements ionisants est décrit avec le concept de **dose**. Il existe toutefois plusieurs grandeurs dosimétriques : les grandeurs physiques, les grandeurs utilisées dans la radioprotection et les grandeurs opérationnelles (utilisées en suivi pratique, par exemple au moyen de relevés). Ces termes sont souvent utilisés de manière interchangeable, mais il est important de les distinguer, voir Figure 12. Nous abordons ici des grandeurs dosimétriques les plus importantes dans le cadre de l'évaluation des effets radiologiques sur l'homme.

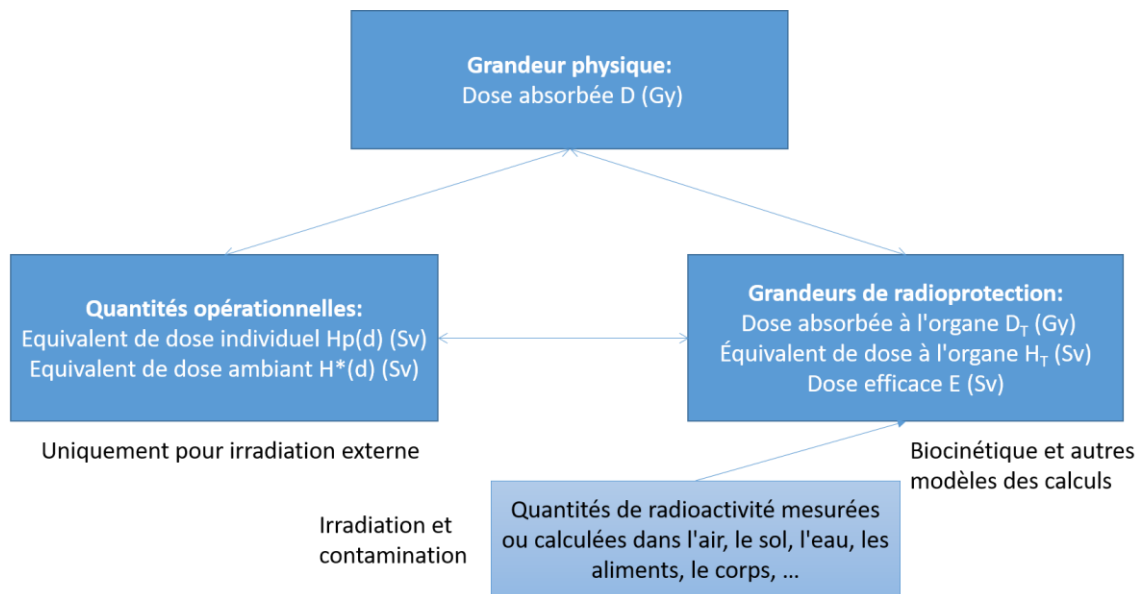


Figure 12 : Aperçu des différentes quantités de doses avec leur symbole et leur unité (voir le texte pour une discussion plus approfondie).

La **dose absorbée** est la quantité d'énergie absorbée par quantité de masse : $D = \frac{dE}{dm}$ et est exprimée en gray, ce qui représente 1 joule (unité d'énergie) par kilogramme, ou $1 \text{ Gy} = \frac{1\text{J}}{1 \text{ kg}}$. Le gray est une grande unité, en cas d'irradiation corporelle externe complète avec des rayons gamma en peu de temps avec 4 à 5 Gy (donc 4 à 5 joules par kilogramme), la personne irradiée n'a que 50 % de chance de survie (dose mortelle) sans traitement médical. La personne présentera donc des symptômes d'irradiation à cette dose, aussi appelés effets déterministes, ou selon la terminologie la plus récente appelée réactions tissulaires. La dose absorbée est donc utilisée pour décrire ces réactions tissulaires. Ces effets se produisent à partir d'une certaine dose seuil, par exemple le rougissement de la peau et l'atteinte des cellules intestinales. La dose absorbée peut être utilisée tant pour une partie spécifique du corps (tissu ou organe spécifique) ce qui est alors souvent indiqué par D_T (avec T du terme anglais « tissu »), que pour l'irradiation d'objets, de plantes et d'animaux. Nous voulons éviter à tout moment les effets déterministes ou les réactions tissulaires.

La **dose équivalente** est la dose absorbée pondérée pour le type de rayonnement afin de tenir compte de l'effet biologique du type de rayonnement. À dose absorbée identique, le rayonnement alpha causera beaucoup plus de dommages que le rayonnement bêta ou gamma. Les neutrons produisent aussi généralement un effet biologique plus important. Pour un organe ou un tissu donné, la dose équivalente est alors définie comme :

$$H_T = \sum_R w_R D_T$$

avec w_R un facteur de pondération pour le type de rayonnement (le R signifie ici l'anglais « Radiation ») qui décrit l'effet biologique du type de rayonnement : $w_R = 20$ pour le rayonnement alpha, $w_R = 1$ pour le rayonnement bêta et gamma et w_R pour les neutrons dépend de leur énergie^v. La dose équivalente est exprimée en sievert (Sv) et est, là encore, une grande unité.

La **dose efficace** est la dose équivalente pondérée en fonction de la sensibilité des différents organes.

$$E = \sum_T w_T H_i$$

Ce facteur de pondération dépend du tissu ou de l'organe. Les facteurs de pondération les plus récents se trouvent dans l'AR du 19 août 2020 modifiant l'arrêté royal du 20 juillet 2001 portant règlement général de la protection de

la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants. Les facteurs de pondération sont importants pour déterminer le risque d'effets stochastiques et, par conséquent, la dose efficace est toujours liée à une estimation de la probabilité d'effets stochastiques des rayonnements, en particulier l'induction de cancers (mortels) et d'effets génétiques. C'est la grandeur la plus importante en matière de radioprotection et elle permet de comparer différentes expositions / situations d'exposition. De plus, les limites de dose ou les niveaux de référence sont souvent défini(e)s comme dose efficace (voir ci-dessous).

Les réactions tissulaires (ou effets déterministes) ne se produisent que lorsqu'une certaine dose seuil est dépassée. En dessous de cette dose seuil, l'effet ne se produit pas. La dose seuil est différente selon les effets du rayonnement, mais pour l'apparition d'effets cliniques, elle est généralement supérieure à 1 Gy, doses qui doivent être évitées dans tous les cas et qui ne sont dépassées que lors d'accidents de rayonnement très graves. Il existe en outre des **effets stochastiques**, notamment le risque de cancer et d'effets génétiques, qui peuvent déjà se produire à des doses plus faibles. Nous savons grâce à des études épidémiologiques que leur occurrence augmente de façon linéaire avec la dose efficace. À faibles doses, l'occurrence d'effets stochastiques est donc faible et impossible à distinguer de l'occurrence spontanée (sans exposition aux rayonnements). En radioprotection, par mesure de précaution, nous supposons une relation linéaire jusqu'à de très faibles doses sans considérer de dose seuil (approche linéaire sans seuil - Linear non-threshold ou LNT). Dans l'évaluation des incidences radiologiques sur l'environnement telle que réalisée ici pour le fonctionnement normal des réacteurs nucléaires tels que Doel 4 et Tihange 3 et même dans un nombre important de scénarios d'accidents possibles, nous sommes dans cette gamme de doses efficaces (souvent très éloignées) inférieures à 50 - 100 mSv, où les effets des rayonnements ne sont jamais constatés de manière épidémiologique.

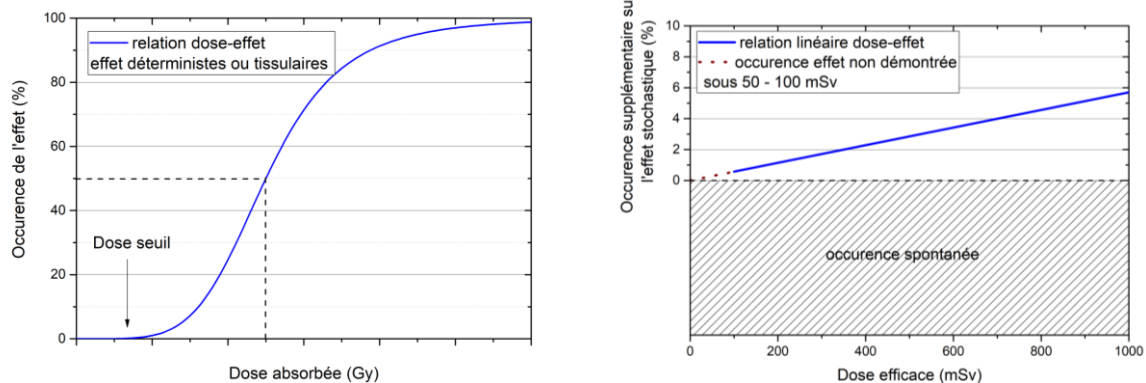


Figure 13 : Relation dose-réaction schématique pour les réactions tissulaires (à gauche) et pour les effets stochastiques (à droite). Des réactions tissulaires surviennent à partir d'une certaine dose seuil. Par la suite, l'occurrence augmente rapidement jusqu'à ce qu'elle se produise chez tout le monde. L'occurrence d'effets stochastiques présente un lien linéaire avec la dose à laquelle on est exposé. À faibles doses (en dessous de 50-100 mSv de dose efficace), cependant, cela n'a jamais été démontré et, par précaution, on suppose une extrapolation linéaire. L'occurrence totale des effets stochastiques (cancer et effets génétiques) pour une personne du public à faible débit de dose est présentée ici, où à une dose efficace de 1 Sv, on s'attend à une occurrence supplémentaire de 5,7 % (en plus de l'occurrence spontanée qui est beaucoup plus probable) des effets stochastiques.

Tableau 9 : Probabilité d'effets stochastiques dus à une exposition à un rayonnement supérieur au fond naturel en pourcentage lors d'une exposition à une dose efficace de 1 Sv à un faible débit de dose (Basé sur le principe de précaution, selon l'approche « linéaire sans seuil », une exposition de 1 mSv au-dessus de l'exposition naturelle, soit 1/1000 des valeurs mentionnées ci-dessous).

	Cancer	Maladies héréditaires	Total
Travailleurs	4,1 %/Sv	0,1 %/Sv	4,2 %/Sv
Population	5,5 %/Sv	0,2 %/Sv	5,7 %/Sv

La dose efficace permet de comparer différentes expositions et donc leur risque. Le Tableau 10 donne la dose efficace pour un Belge moyen par an (avant 2015), en indiquant la contribution pour différentes formes d'exposition.

Tableau 10 : Charge de dose efficace moyenne belge en 2015^{vi}.

Charge de dose par habitant en 2015	mSv/an
Cosmos (rayonnement cosmique, radionucléides cosmogènes, transport aérien, séjours en altitude)	0,35
Rayonnement terrestre (rayonnement externe radioactivité naturelle dans le sol)	0,40
Inhalation de radionucléides naturels (radon, thoron et produits de désintégration)	1,40
Ingestion de radionucléides naturels (toute la radioactivité naturelle présente dans les aliments et l'eau potable)	0,29
Applications industrielles (rejets, etc.)	<0,01
Applications médicales (rayons X, CT, SPECT, PET, etc.)	1,53
Total (moyenne)	3,98

Il convient de noter qu'il existe d'une part des différences géographiques dans le rayonnement terrestre en raison du radon/thoron, avec une charge de rayonnement plus élevée dans le sud du pays principalement dans les Ardennes en raison d'une concentration plus élevée de radionucléides primordiaux dans le sol et en raison de concentrations afférentes plus élevées de radon et de thoron. Par exemple, la combinaison du rayonnement cosmique et terrestre aux abords de Doel est de 0,70-0,75 mSv/an, et aux abords de Tihange de 0,90-0,95 mSv/an. D'autre part, il existe bien entendu aussi des différences individuelles, principalement dues à des expositions médicales différentes, et en outre dues à des différences de fréquence des voyages en avion, d'alimentation, etc. On peut également faire une distinction entre les expositions naturelles (rayonnements cosmiques et terrestres, inhalation et ingestion de nucléides naturels) et l'exposition artificielle (applications industrielles et exposition médicale) et celles-ci s'élèvent respectivement à 2,44 mSv/an et 1,54 mSv/an pour un Belge moyen. En comparaison avec d'autres pays européens : la plus faible exposition au rayonnement naturel se trouve aux Pays-Bas (1,48 mSv/an) et la plus forte exposition au rayonnement naturel se trouve en Finlande (6,16 mSv/an). L'exposition naturelle moyenne européenne est de 3,20 mSv/an. Il existe également des différences importantes dans l'exposition artificielle entre les différents pays européens, en particulier celles par les pratiques médicales. Pour cela, les valeurs d'exposition belges se situent dans le haut du spectre par rapport aux expositions médicales dans les différents autres pays européens, mais suivent une tendance légèrement décroissante.

Outre la dose absorbée, équivalente et efficace, il existe un certain nombre de grandeurs dosimétriques opérationnelles telles que **l'équivalent de dose individuel $H_p(d)$** , une grandeur utilisée en dosimétrie individuelle, et **l'équivalent de dose ambiant $H^*(d)$** , utilisé dans les relevés ambiants de la dose de rayonnement et où le d fait référence à la profondeur à laquelle il est évalué et est égal à 10 mm par défaut.

Pour les grandeurs dosimétriques, en plus de la dose totale, on peut aussi considérer la dose par unité de temps, c'est-à-dire le débit de dose (par exemple le débit d'équivalent de dose ambiant tel que mesuré par un détecteur de rayonnement actif, simplement appelé débit de dose).

En **radioprotection** (ICRP103^{vii}), une distinction est faite entre trois situations d'exposition possibles, qui ont également été introduites dans la directive 2013/59/EURATOM et la législation belge :

- Les expositions planifiées, telles que l'exploitation d'une centrale nucléaire, et en particulier Doel 4 et Tihange 3 avec toutes les activités qui s'y rattachent, appartiennent à cette catégorie ;
- Les situations d'exposition existantes, une situation d'exposition qui existe déjà au moment où une décision sur son contrôle doit être prise et pour laquelle l'application de mesures d'urgence n'est pas ou plus nécessaire ; par exemple, une contamination historique due à des activités passées pour lesquelles, par exemple, des limites de rejet différentes étaient en vigueur ;
- L'exposition dans des situations d'urgence (voir aussi spécifiquement Planification d'urgence nucléaire).

Le **système de radioprotection** repose sur les trois principaux piliers suivants :

- La justification ;
- L'optimisation des doses ;
- Limitation de dose

pour toutes les situations où une exposition peut se produire.

Justification, les expositions planifiées sont justifiées lorsqu'elles peuvent garantir que les avantages qu'elles apportent au niveau individuel ou pour la communauté l'emportent sur les effets néfastes qu'elles peuvent avoir sur la santé. Le permis est la preuve de la justification (AR 19/08/2020).

L'optimisation des doses exige que l'exposition des individus soit optimisée pour maintenir les doses individuelles, la probabilité d'exposition et le nombre d'individus exposés aussi bas que raisonnablement possible. Ce pilier est pratiquement réalisé en limitant le temps passé à la source de rayonnement, en maximisant la distance par rapport à la source de rayonnement, et en évitant ou en limitant le blindage de la source de rayonnement/diffusion.

Limitation de dose - Les limites de dose²⁶ sont définies pour les expositions planifiées et sont fixées par AR. Les limites de dose les plus récentes figurent dans l'AR du 19 août 2020^{viii} et sont indiquées dans le Tableau 11. Une distinction est faite entre les membres du public et les personnes professionnellement exposées (par exemple, les personnes travaillant dans la zone nucléaire d'une centrale nucléaire).

²⁶ Les limites de dose font référence à l'exposition combinée résultant de toutes les actions susceptibles d'entraîner une augmentation de la dose reçue, tandis que les limitations de dose font référence à l'exposition résultant d'une action spécifique.

Tableau 11 : Limites de dose^{ix}.

Limites de dose		Public	Personnes exposées professionnellement (*)	Élèves et étudiants (16-18 ans)
Dose efficace (E)		1 mSv par an 1 mSv pendant la grossesse	20 mSv par 12 mois consécutifs	6 mSv par an
Doses équivalentes (H)	Cristallin	15 mSv par an	20 mSv par 12 mois consécutifs	15 mSv par an
	Peau (dose moyenne sur une surface de 1 cm ²)	50 mSv par an	500 mSv par 12 mois consécutifs	150 mSv par an
	Mains, avant-bras, pieds et chevilles	Pas d'application	500 mSv par 12 mois consécutifs	150 mSv par an

(*) Un travailleur est considéré comme exposé professionnellement s'il existe un risque de dépassement d'une des limites de dose fixées pour le public.

La limite de dose de 1 mSv/an de dose efficace au public, ainsi que les autres limites de dose, doit être comprise comme la dose complémentaire due aux activités humaines en plus de la dose provenant de l'exposition naturelle et des doses reçues dans le cadre d'un diagnostic ou d'un traitement médical. Cependant, le Belge moyen reçoit moins de 1 % de cette limite de dose (< 0,01 mSv/an) en raison des applications nucléaires et radiologiques industrielles, dont les centrales nucléaires pour la production d'énergie.

Pour l'évaluation des effets radiologiques sur l'homme, on utilise les paramètres de radioprotection comme décrit ci-dessus. En fonctionnement normal, les doses sont si faibles que seuls les effets stochastiques doivent être pris en compte. Les doses efficaces sont ainsi calculées et comparées à la limite de 1 mSv/an pour le public. Pour les situations accidentelles, l'intention est d'éviter à tout moment les réactions tissulaires (voir méthodologie accidentelle) et la dose efficace ainsi que la dose équivalente à la thyroïde sont les grandeurs généralement évaluées.

Une mise en garde importante ici est que les calculs de la dose efficace et aussi des doses aux organes, comme la dose à la thyroïde, dépendent de l'âge et que l'évaluation est toujours effectuée pour un individu critique, c'est-à-dire la catégorie d'âge²⁷ la plus sensible et pour la personne la plus exposée de cette catégorie. En ce qui concerne la personne la plus exposée, les hypothèses sont que (i) l'individu est situé en permanence au même endroit où la concentration de radioactivité est la plus élevée ; (ii) se nourrit en grande partie des produits du jardin avec les dépôts les plus élevés et (iii) se nourrit des produits de l'agriculture locale, de la chasse et de la pêche. En ce qui concerne la catégorie d'âge, l'exposition dépend non seulement de la radioactivité présente, mais aussi du régime alimentaire, du volume respiratoire par unité de temps, des processus biocinétiques et de la sensibilité aux rayonnements ionisants. Les catégories d'âge prises en compte sont les suivantes :

- Nourrissons : âge < 1 an ;
- Enfants âgés de 1 à 2 ans ;
- Enfants âgés de 2 à 7 ans ;
- Enfants âgés de 7 à 12 ans ;
- Enfants âgés de 12 à 17 ans ;
- Adultes : âge > 17 ans.

²⁷ Ce n'est pas la même chose dans toutes les situations de rayonnement, il est tout à fait possible que les jeunes enfants soient les plus sensibles à une certaine exposition et les adolescents ou les adultes à une autre exposition, car l'impact de la dose dépend non seulement de la sensibilité des tissus aux rayonnements, mais aussi de facteurs tels que le régime alimentaire, le volume respiratoire par unité de temps, etc...

La radioactivité qui pénètre dans l'organisme par la respiration ou l'alimentation peut, selon les propriétés physiques et biologiques, exposer l'individu aux rayonnements pendant une période prolongée. Certains éléments radioactifs disparaissent rapidement du corps en raison de la décroissance radioactive et/ou de facteurs biocinétiques, d'autres peuvent rester dans le corps pendant des décennies. Lors du calcul des doses équivalentes aux organes (comme la dose à la thyroïde) et de la dose efficace, celle-ci est prise en compte comme suit pour une seule contamination interne par inhalation ou ingestion : la dose totale que la personne subit du fait de cette contamination interne est calculée sur une période de 50 ans à partir du moment de contamination considéré pour les adultes et jusqu'à 70 ans pour les autres catégories d'âge (enfants et nourrissons). C'est ce qu'on appelle la **dose engagée** (Dose équivalente engagée et Dose efficace engagée - Committed equivalent dose et Committed effective dose). Lors du calcul de la dose totale qu'encourt une personne, on combine toujours la combinaison de la dose reçue par rayonnement externe (lors d'une exposition directe) et de la dose engagée (par inhalation, ingestion), et cette estimation est toujours faite de manière très prudente, cf, l'individu critique tel que décrit au paragraphe ci-dessus.

Le critère d'évaluation de **l'impact radiologique sur l'environnement, notamment les effets sur la faune et la flore** causés par l'exposition aux rayonnements radioactifs, est le débit de dose absorbée. Son unité est le joule par kilogramme ou gray par unité de temps. Les concentrations de radionucléides dans l'environnement sont converties en débit de dose efficace en tenant compte des voies d'exposition possibles des espèces considérées. Afin de prendre en compte la variation de l'impact biologique associé aux diverses formes de rayonnement (gamma, bêta, alpha), un facteur de pondération est souvent introduit pour la dose absorbée. On suppose que l'énergie absorbée est uniformément répartie dans l'organisme. Le débit de dose absorbée est l'énergie absorbée par unité de temps, pour la faune et la flore généralement exprimée en microgray par heure ($\mu\text{Gy h}^{-1}$).

L'impact radiologique d'une installation sur l'environnement est caractérisé par des flux et/ou des concentrations de radionucléides qui peuvent être rejetés dans l'environnement. Les études de sûreté radiologique examinent (1) si ces grandeurs sont comparables aux flux et aux concentrations qui se présentent naturellement dans l'environnement et (2) si l'impact calculé peut entraîner une dégradation de l'environnement. Pour l'impact radiologique, le risque pour l'environnement est calculé à l'aide d'un indicateur de sécurité spécifique, à savoir une valeur de dépistage exprimée en micrograys par heure ($\mu\text{Gy h}^{-1}$).

2.3.3 Méthodologie générale d'exposition en fonctionnement normal

Ce paragraphe décrit la méthodologie utilisée pour déterminer les effets radiologiques pour l'homme et l'environnement en fonctionnement normal d'une centrale nucléaire. Il convient pour ce faire de déterminer la dose totale encourue par l'individu le plus critique et par les organismes de référence, et il est donc important de connaître les voies d'exposition aux rayonnements lors de l'exploitation d'une centrale nucléaire. Les différentes voies d'exposition lors de l'exploitation d'une centrale nucléaire sont résumées dans le Tableau ci-dessous. La façon dont elles sont évaluées plus en détail est abordée dans les paragraphes suivants.

Tableau 12 : Synthèse des voies d'exposition possibles lors de l'exploitation d'une centrale nucléaire.

Origine de l'exposition	Mode d'exposition	Remarques
Radioactivité et rayonnements sur site	Exposition directe aux rayonnements	La radioactivité et les rayonnements ionisants se produisent à différents endroits d'une centrale nucléaire (réacteur, traitement et entreposage de déchets radioactifs, etc.) et sont très bien isolés du monde extérieur. Il ne s'agit donc ici que les rayonnements à haut pouvoir pénétrant, tels que les rayonnements gamma et neutroniques, qui peuvent potentiellement contribuer à cette voie d'exposition.

Rejets gazeux			Un système de barrières, de réservoirs de désintégration et de systèmes de filtration permet de limiter les rejets gazeux.
	Exposition interne	Inhalation	L'inhalation de radioactivité dans le nuage sus-jacent, en principe également l'inhalation après dépôt de radioactivité sur le sol et d'autres surfaces après remise en suspension est possible, mais généralement peu importante.
		Consommation	Outre le dépôt et l'absorption, bien entendu aussi fortement liés au régime alimentaire (quel type d'aliment, quantités et quel lieu de provenance).
	Exposition externe	Exposition au nuage sus-jacent contenant les rejets gazeux.	Essentiellement des rayons gamma émis par désintégration dans le nuage radioactif lors de son passage.
		Exposition aux dépôts à la surface du sol	Les dépôts peuvent se produire tant dans des conditions sèches (dépôts secs) que dans des précipitations (dépôts humides). Tous les radionucléides se déposeront de la même manière : les gaz nobles, par exemple, ne se déposeront pas.
Rejets liquides			Les eaux usées contenant de la radioactivité sont d'abord traitées et contrôlées/mesurées avant rejet.
	Exposition interne	Utilisation directe de l'eau dans laquelle aboutissent les rejets.	-
		Irrigation des cultures avec de l'eau dans laquelle les rejets finissent pour la consommation humaine directe et pour la consommation animale (alimentation animale)	En raison de la salinité, l'eau de l'Escaut près de KC Doel n'est pas utilisée pour l'irrigation.
	Exposition externe	Natation et sports nautiques	-
		Navigation	-
		Séjour sur les berges et boues de dragage	-

2.3.3.1 Exposition directe aux rayonnements

Ceci est évalué à l'aide de relevés au périmètre du site. Ces relevés sont réalisés, d'une part, dans le cadre de la supervision radiologique sur le territoire belge (FANC-AFCN, voir §2.3.5) et, d'autre part, par l'exploitant.

2.3.3.2 Rejets gazeux et liquides

Pendant le fonctionnement normal de KC Doel et CN Tihange, des quantités limitées de radioactivité sont rejetées de manière contrôlée :

- Dans l'atmosphère sous forme de rejets gazeux ;
- Dans les eaux de surface sous forme de rejets liquides.

Les rejets gazeux dans l'atmosphère contiennent des substances radioactives sous forme gazeuse (gaz et vapeur), ou sous forme d'aérosols lorsqu'il s'agit de particules solides ou liquides en suspension dans l'air rejeté. Ces effluents proviennent, entre autres, des procédés assurant le dégazage de l'eau de refroidissement primaire et peuvent d'abord être collectés dans des réservoirs de stockage dans lesquels les radionucléides de courte durée de vie se désintègrent et leur activité étant ainsi fortement réduite avant qu'ils ne soient rejetés. Les effluents gazeux proviennent également de la ventilation générale des bâtiments nucléaires. Dans toutes les installations nucléaires, les règlements de sécurité exigent que l'air à l'intérieur des bâtiments soit continuellement renouvelé par une ventilation forcée. Les volumes d'air émis vers l'extérieur, qui dépendent du volume des bâtiments et des débits de ventilation, sont spécifiques à chaque installation.

Les effluents liquides contiennent des substances radioactives sous forme de solution, dans le cas de sels ioniques dissous, ou sous forme de suspension, dans le cas de particules solides mélangées aux effluents. Ces effluents proviennent principalement des circuits de procédés, tels que les circuits de traitement des eaux primaires de refroidissement des centrales nucléaires. Ils sont également formés par les eaux usées sanitaires (douches, lavabos, etc.) et les eaux de nettoyage des sols dans les zones nucléaires qui sont gérées comme des effluents éventuellement radioactifs, bien qu'ils ne contiennent normalement aucune radioactivité.

En fonction de l'impact radiologique de ces rejets sur l'homme et l'environnement, des limites de rejets sont fixées et font partie de l'autorisation d'exploitation des centrales nucléaires. La Figure 14 illustre les étapes à suivre.

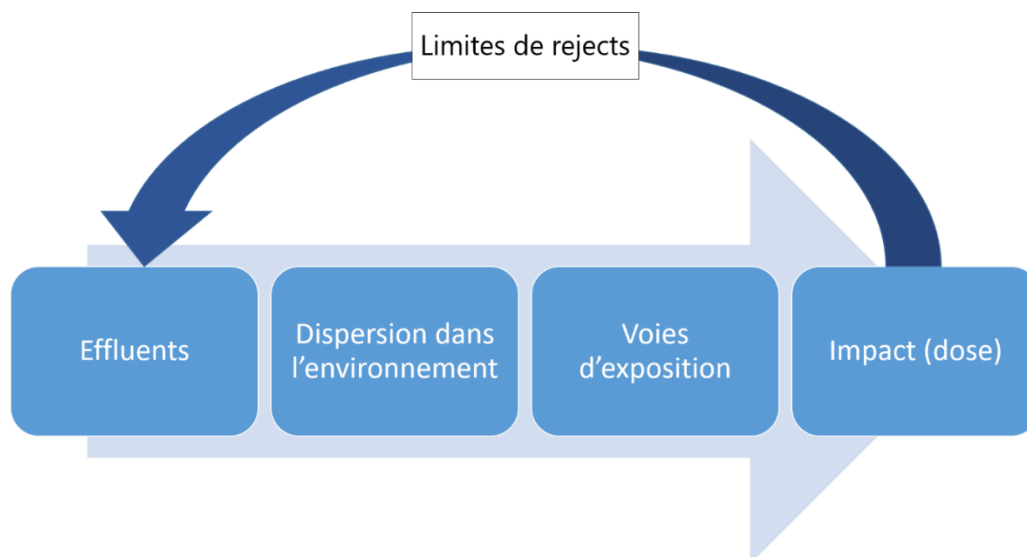


Figure 14 : Étapes méthodologiques pour l'impact radiologique des rejets en fonctionnement normal.

Dans tous les cas, les limites autorisées de rejets doivent être inférieures à la limite réglementaire d'exposition des membres du public aux rayonnements ionisants. La limite de la dose efficace est fixée à 1 mSv (millisievert) par an (voir concepts de base). Cette valeur s'applique exclusivement à l'exposition supplémentaire causée par les activités humaines, y compris notamment l'exploitation de l'ensemble de la centrale nucléaire de Doel et Tihange, dont font respectivement partie Doel 4 et Tihange 3, et ceci indépendamment de l'exposition naturelle (rayonnement cosmique, radon, ...), ou exposition médicale (radiographies, scanners, ...). En outre, conformément au principe d'optimisation utilisé en radioprotection, les limites de rejets doivent être fixées au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, en tenant compte des facteurs techniques, économiques et sociétaux. Il existe une grande disparité dans l'exposition des membres de la population, selon le mode de vie. Les limites autorisées de rejets doivent être suffisamment basses pour la partie la plus exposée de la population locale (individu critique).

Étant donné que le principe d'optimisation des doses est suivi, il y a une optimisation des rejets réels (voir ci-dessous) par rapport aux rejets autorisés, les limites de la licence étant fixées suffisamment en dessous de la limite de 1 mSv/an. Cela suit les principes, par exemple, recommandés au niveau international par la CIPR et est présenté dans la Figure 15, avec la dose totale moyenne de rayonnement que le Belge reçoit par an.

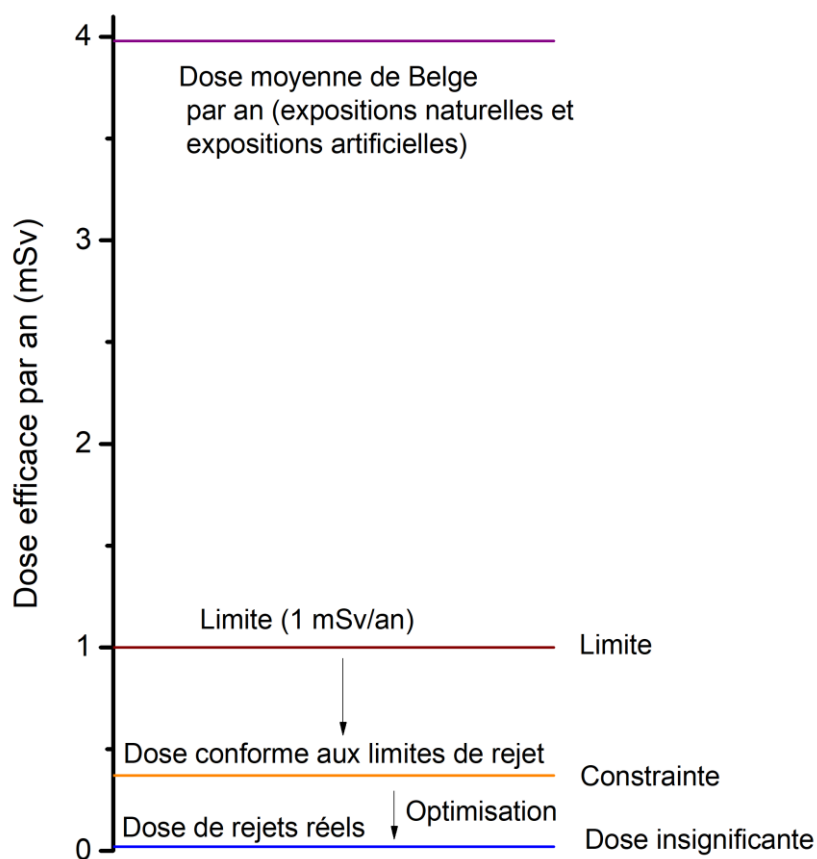


Figure 15 : Principe des limites de dose et optimisation : la limite de dose de 1 mSv/an par rapport à la dose moyenne par an qu'un Belge reçoit de toutes les expositions (naturelles, médicales et industrielles) et par rapport aux valeurs typiques des doses de rejets radioactifs (tant la dose provenant des limites de rejets que la dose typique provenant des rejets réels sont indiquées) pour les centrales nucléaires de Doel et Tihange.

Rejets gazeux

Comme décrit ci-dessus, des quantités limitées de composés radioactifs volatils peuvent être libérées dans l'atmosphère en fonctionnement normal d'une centrale nucléaire. Ces composés radioactifs volatils sont divisés en groupes suivants en fonction de leurs propriétés chimiques et physiques :

- Gaz nobles
 - les principaux étant le xénon-133 (Xe-133), le xénon-135 (Xe-135), le krypton-85 (Kr-85), le krypton-88 (Kr-88) comme produits de fission et l'argon-41 (Ar-41) comme produit d'activation résultant de l'absorption de neutrons par l'argon-40 stable (Ar-40) ;
- Iode
 - Avec comme principaux isotopes : l'iode 131 (I-131) et l'iode 133 (I-133) qui sont des produits de fission ; l'iode peut être trouvé sous différentes formes : en I₂, en aérosol ou sous forme organique ;

- Les aérosols, parfois encore décomposés selon la désintégration radioactive.
 - Les aérosols bêta-gamma
 - Parmi les principaux le strontium-90 (Sr-90), le cobalt-60 (Co-60), le césium-134 et -137 (Cs-134, Cs-137), étant une combinaison de produits de fission comme produits d'activation ;
 - Les aérosols alpha
 - Dont l'américium-241 (Am-241) ;
- Le tritium (H-3) sous forme de condensat d'eau tritiée ;
- Le carbone 14 (C-14) qui résulte de diverses réactions nucléaires des neutrons générés lors de la fission pendant le fonctionnement du réacteur avec des isotopes stables d'éléments tels que l'oxygène, l'azote et le carbone et qui peut être libéré sous diverses formes chimiques. Pour les PWR, cela se présente principalement sous la forme de monoxyde de carbone, de méthane et d'autres hydrocarbures.

Les rejets sont surveillés en permanence et on vérifie si les limites de rejets ne sont pas dépassées. Les exceptions sont les rejets gazeux de carbone 14 (C-14) et de tritium (H-3), difficilement mesurables. Le carbone 14 est donc déterminé en fonction de la puissance des réacteurs. Des études internationales détaillées ont été réalisées à cet égard et donnent une plage de valeurs possibles pour le carbone 14 pour les PWR en fonction de la puissance électrique ou thermique installée^{x,xi}. Une valeur prudente de 185 GBq/an pour une puissance installée de 1 000 MW_e est supposée. Pour Doel et Tihange, chacune totalisant 3 GW de puissance électrique installée (situation avant la fermeture définitive de Doel 3 et Tihange 2), cela revient à 15 Ci (= 5,55 10¹¹ Bq = 555 GBq). Depuis 2019, les rejets de C-14 sont mesurés à la cheminée de Tihange 2. Ces valeurs mesurées sont nettement inférieures aux valeurs supposées prudentes et ont donc été récemment utilisées dans les calculs de dose pour la CN Tihange.

L'impact de ces rejets radioactifs sur l'homme et l'environnement peut être évalué de deux manières complémentaires :

- pour les *rejets potentiels* résultant du Projet, ces rejets peuvent être comparés aux limites de rejets des sites. Les limites de rejets ont été déterminées de manière à ce que les rejets de l'ensemble des sites KC Doel et CN Tihange ne dépassent certainement pas 1 mSv/an et soient maintenus aussi bas que raisonnablement possible. La surveillance des rejets et le respect des limites de rejets sont donc une garantie que l'impact restera limité ;
- Des calculs d'impact radiologique spécifiques peuvent alors être réalisés pour les *rejets réels*, et ceux-ci peuvent être complétés par des relevés dans l'environnement qui quantifient les traces éventuelles de ces rejets. La détermination de l'impact sur la base des résultats des relevés est alors possible.

Des modèles pour groupes théoriques de référence ont été élaborés pour déterminer l'impact radiologique des rejets radioactifs dans l'environnement. La dose efficace engagée résultant des rejets radioactifs est calculée sur la base des directives accréditées FANC-AFCN [NRC, 1977] de la United States Nuclear Regulatory Commission (US-NRC) et de la méthode de calcul élaborée par la FANC-AFCN [FANC, 2013a].

Pour calculer l'impact des rejets dans l'atmosphère, on utilise des modèles de dispersion atmosphérique pour déterminer la concentration d'activité des différents radionucléides rejetés dans l'air (en Bq/m³) et par dépôt sur le sol (en Bq/m²). Ces calculs nécessitent des données météorologiques représentatives du site sur une plus longue période, généralement un an ou plus. La radioactivité est emportée par le vent et la concentration se diluera fortement avec la distance. La Figure 16 illustre la fréquence relative de l'occurrence d'une certaine direction du vent à Doel d'une part et à Tihange d'autre part, sur la base de données pour chaque heure sur une période de 5 ans (1er janvier 2018 au 1er janvier, source IRM – CEPMMT). La direction du vent est définie comme la direction à partir de laquelle le vent souffle (en degrés dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du nord). Si l'on considère les rejets sur une longue période, l'impact sera donc le plus important dans la direction où le vent souffle le plus fréquemment. Pour KC Doel et CN Tihange, la direction dominante du vent est le sud-ouest, l'impact attendu étant donc le plus important dans la direction nord-est des sites. Ces informations sont également utilisées, par exemple, pour mettre en place un programme de surveillance autour des deux sites, des échantillons étant prélevés spécifiquement à l'endroit présentant l'impact potentiel le plus élevé et des échantillons de référence étant prélevés à une plus grande distance dans la direction du vent le moins dominant.

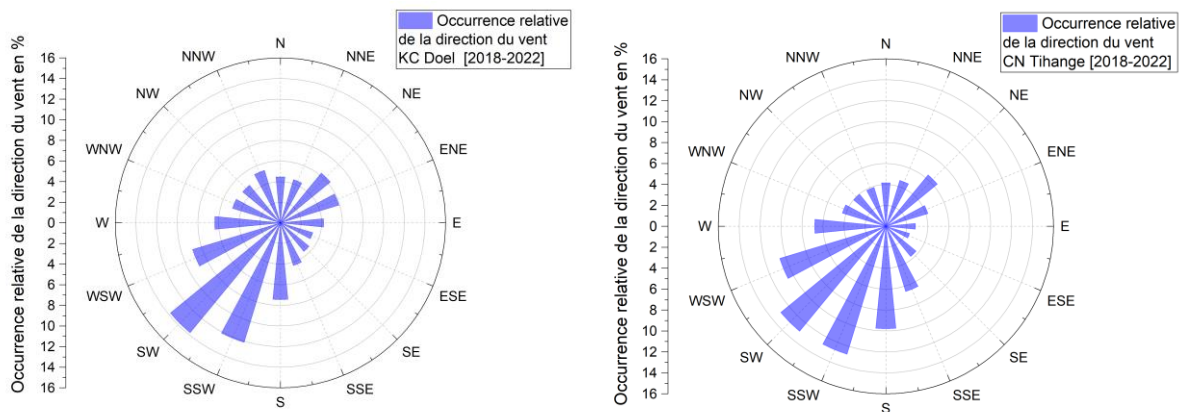


Figure 16 : Occurrence relative de la direction du vent (gauche Doel – droite Tihange) basée sur des données horaires pour une période de 5 ans [2018-2022] (Source : IRM – CEPMMT²⁸).

Outre la direction du vent, la vitesse du vent, la quantité de précipitations et la stabilité atmosphérique sont des paramètres nécessaires. Le calcul de la dispersion atmosphérique tiendra également compte de la hauteur du rejet (hauteur de la cheminée avec correction éventuelle pour les effets de précipitation du panache et toute élévation du panache due au volume du mouvement et à la teneur en chaleur du panache rejeté). On utilise des modèles bi-gaussiens dans lesquels la distribution de la concentration dans le panache est supposée suivre une distribution gaussienne dans les deux directions, perpendiculairement à la direction du vent. La largeur de la distribution gaussienne dans les directions horizontale et verticale, qui augmente en fonction de la distance par rapport au point de rejet, est décrite par des paramètres spécifiques adaptés au terrain et propres à la stabilité atmosphérique au moment du rejet. Le dépôt sur le sol est décrit avec des paramètres de dépôt. Pour les dépôts secs, il s'agit de la vitesse de dépôt sec ; pour les précipitations, c'est un coefficient « lessivage » (« washout »). Ces paramètres dépendent des propriétés physiques et chimiques des substances radioactives rejetées ; par exemple, les gaz nobles ne se déposent pas et on suppose que l'iode élémentaire se dépose dans des conditions sèches 10 fois plus que les aérosols à la même concentration au niveau du sol.

Le résultat de ces modèles de dispersion atmosphérique donne des concentrations moyennes et des dépôts pour un rejet unitaire (rejet de 1 Bq) ; aussi appelés coefficients de dilution, pour la personne la plus exposée en dehors du site.

Rejets liquides

Outre les quantités maximales pouvant être rejetées annuellement, le permis de rejet contient également la nature des substances radioactives rejetées. La centrale nucléaire rejette principalement du tritium dans l'Escaut et la Meuse. Les autres radionucléides (ex. ^{110m}Ag, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁵¹Cr, ¹⁴⁰La, ¹⁰⁶Ru, ¹²⁴Sb, ¹²⁵Sb, ⁹⁵Zr, ²⁴¹Am,...) sont rejetés en quantités beaucoup plus faibles.

Les radionucléides des rejets liquides dans l'Escaut ou la Meuse peuvent être répartis selon leurs caractéristiques physiques et chimiques dans les groupes suivants ;

²⁸ Données fournies par l'Institut Royal Météorologique (IRM), données basées sur des données météorologiques numériques fondées sur le « Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme » (CEPMMT).

Le tritium sous forme d'eau tritiée. Le tritium est principalement produit dans l'eau de refroidissement primaire des réacteurs nucléaires lors de sa circulation dans le cœur. Il existe sous forme d'eau tritiée (HTO) ou de tritium gazeux (HT) et peut donc se retrouver simultanément dans les effluents liquides et gazeux.

- Les émetteurs bêta, gamma : ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{95}Nb , ^{134}Cs , ^{137}Cs , $^{110\text{m}}\text{Ag}$. La plupart de ces radionucléides sont produits par la fission du combustible nucléaire dans le cœur des réacteurs et se retrouvent dans les effluents tant liquides que gazeux.
- Émetteurs alpha : L'am-241 est radiologiquement le plus important émetteur alpha et est produit dans les réacteurs nucléaires à partir du plutonium 241 par désintégration bêta et peut également être trouvé dans les effluents liquides et gazeux.

Pour le calcul des concentrations des radionucléides rejetés dans l'eau de l'Escaut et de la Meuse, on utilise un modèle de fleuve simple qui prend en compte la dilution des volumes rejetés par le débit de l'eau de la rivière.

L'Escaut est un fleuve à marées. À la hauteur de Doel, les débits de marée sont très élevés, en moyenne de 5000 m³/s avec un débit de rejet résultant vers la mer de 70 m³/s. Ce débit a pour effet que les activités rejetées sont fortement diluées dans l'eau de l'Escaut.

Le facteur de dilution dans la Meuse est plus élevé en raison du débit de rejet plus élevé. Le débit moyen normal de la Meuse est de 300 m³/s en hiver et de 50 m³/s en été (AFCN, 2011²⁹).

Le modèle de rivière ne tient pas compte de l'adsorption des radionucléides sur les sédiments, ce qui réduirait encore les concentrations de radionucléides dans l'eau (et donc aussi l'impact de la dose), ni du fait que les marées de la rivière augmenteraient le temps de séjour des radionucléides dans l'Escaut (et donc peut-être aussi l'impact de la dose). Dans les calculs de l'impact de la dose pour la population, un débit moyen de 101 m³/s pour l'Escaut est pris en compte. Un débit moyen de 239 m³/s est pris en compte pour la Meuse.

2.3.3.3 Impact sur l'homme

Les personnes du public qui vivent, ou résident régulièrement, à proximité des sites nucléaires peuvent être exposées dans une certaine mesure aux substances radioactives émanant des rejets atmosphériques des installations. Les modes d'exposition sont bien connus et sont regroupés en deux catégories différentes :

- L'irradiation externe par les rayonnements ionisants émis lors de la désintégration radioactive des radionucléides :
 - Présents dans l'air (et donc proportionnellement à la concentration dans l'air) ;
 - Qui se sont déposés sur le sol et d'autres surfaces par dépôt (et donc proportionnellement au dépôt) ;
- L'exposition interne par absorption de la radioactivité dans le corps :
 - En inhalant des substances radioactives dans l'air ;
 - En consommant des aliments végétaux (fruits, légumes, céréales, etc.) qui ont absorbé la radioactivité suite au dépôt sur le sol et/ou en consommant de la viande et des produits animaux (lait, fromage, etc.) provenant d'animaux de l'élevage local qui ont eux-mêmes consommé ces cultures.

Les calculs d'impact radiologique pour la situation actuelle et l'activité prévue sont effectués pour la personne la plus exposée. Les calculs sont effectués pour 6 catégories d'âge : nourrissons, enfants de 1 à 2 ans, de 2 à 7 ans, de 7 à 12 ans, adolescents de 12 à 17 ans et adultes. Pour eux, on suppose des paramètres spécifiques dans les calculs, tels que le volume inhalé par unité de temps, le régime alimentaire, et on utilise des coefficients de dose spécifiques pour déterminer la dose efficace. En outre, les résultats sont calculés sur la base d'habitudes de vie conservatrices afin d'obtenir des valeurs globales pour la charge de dose.

²⁹ AFCN, 2011. Tests de résistance belges. Rapport national pour les centrales nucléaires.

L'exploitant de la centrale nucléaire est tenu de calculer l'impact des rejets courants sur l'homme et de démontrer que la dose est inférieure à la limite légale de 1 mSv/an. Pour le calcul de la dose, toutes les voies d'exposition possibles sont prises en compte. La population peut être exposée à la radioactivité en utilisant l'eau du fleuve, en restant sur l'eau ou sur les berges et en consommant du poisson du fleuve. La dose encourue peut varier considérablement en fonction du mode de vie de la population. La dose provenant des rejets liquides dans le fleuve est calculée selon la directive de la FANC-AFCN pour le calcul des conséquences radiologiques des installations nucléaires de classe I. Par analogie avec les rejets atmosphériques, on utilise un scénario « worst case » pour déterminer la dose ; on retient notamment des valeurs d'entrée prudentes pour la consommation, les temps de séjour, etc, afin de ne pas sous-estimer l'exposition de la population.

Pour le calcul de la dose à la personne représentative suite aux rejets dans l'eau du fleuve, on prend en compte les voies d'exposition suivantes ;

- Irradiation interne par :
 - Consommation d'eau de rivière comme eau potable ;
 - Consommation de poisson.
- Exposition externe en restant sur les berges, par la navigation, en restant sur un fond contaminé par des sédiments de lit dragués.

La dose pour la personne représentative a également été calculée pour les six catégories d'âge, en tenant compte des valeurs de consommation mentionnées dans la directive de la FANC-AFCN. Comme pour le calcul de la dose due aux rejets atmosphériques, une personne critique est supposée être présente en permanence sur le lieu d'exposition à la dose maximale

2.3.3.4 Impact sur la biodiversité (faune et flore)

Jusque dans les années 1990, on supposait que si l'homme était protégé contre les rayonnements ionisants, cela valait automatiquement aussi pour l'environnement. Un changement de paradigme a eu lieu au cours des dernières décennies, en partie en raison de l'intérêt croissant que suscite la durabilité écologique à l'échelle mondiale et en partie parce qu'il peut y avoir des situations où l'environnement est plus exposé aux rayonnements que les humains. Plusieurs organisations internationales, telles que l'AIEA, la CIPR, l'UNSCEAR, ainsi que diverses organisations nationales (par exemple, le ministère de l'Environnement des États-Unis, l'agence britannique pour l'Environnement) ont depuis lors publié des conseils et des directives pour la protection de l'environnement contre les rayonnements ionisants.

En Belgique, il n'existe pas encore de directives décrivant la méthodologie à suivre. Toutefois, des données sur les effets des rayonnements ou de l'exposition aux radionucléides sur la faune et la flore ont été recueillies et évaluées par diverses organisations (inter)nationales et groupes d'experts en vue de déterminer des valeurs seuils. La manière dont les valeurs seuils sont dérivées, leur interprétation et le niveau de protection (individus, populations, écosystèmes) peuvent donc différer. Dans un contexte réglementaire, la protection de l'environnement vise à protéger les populations d'espèces, ce qui protège également la biodiversité. La plupart des valeurs seuils numériques sont donc destinées à protéger les populations. Afin d'obtenir des valeurs seuils pertinentes au niveau de la population, seuls les effets qui ont un rapport direct avec la dynamique de la population doivent être inclus dans l'analyse. Des valeurs seuils de 40 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ pour les animaux terrestres et de 400 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ pour les plantes terrestres et les organismes aquatiques sont proposées par l'AIEA^{xii} et l'UNSCEAR^{xiii}, à partir des études disponibles sur les données d'impact. L'UNSCEAR^{xiv} a examiné les données d'impact obtenues depuis 1996 et a émis la conclusion suivante : « Overall, the Committee concluded that chronic dose rates of less than 100 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ to the most highly exposed individuals would be unlikely to have significant effects on most terrestrial animal communities and that maximum dose rates of 400 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ to a small proportion of the individuals in aquatic populations of organisms would not have any detrimental effect at the population level ».

La CIPR [4] recommande l'utilisation des Niveaux de référence de considération dérivés (Derived Consideration Reference Levels - DCRL) pour un certain nombre d'animaux et de plantes de référence (Reference animals and plants - RAP). Ces niveaux de référence sont destinés à servir de points de référence pour évaluer l'impact éventuel

des rayonnements ionisants sur la faune et la flore. Les DCRL définissent des intervalles de débit de dose dans lesquels il existe une certaine probabilité d'un effet nocif potentiel des rayonnements ionisants pour les catégories de biote de référence (RAP) en question. Ces niveaux de référence ont été établis à partir des études disponibles sur les données d'impact pour les différents RAP. Les DCRL peuvent varier considérablement en fonction du RAP considéré, allant par exemple de 4-40 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ pour les mammifères à 400-4000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ pour les invertébrés. La CIPR [4] ne fournit pas d'interprétation de la manière dont les effets observés au niveau individuel peuvent se manifester au niveau de la population. Les valeurs seuils de la CIPR^{xv} sont donc plutôt associées à l'individu qu'à la population.

Les valeurs seuils proposées dans le projet EC-ERICA^{xvi, exvii} et le projet EC-PROTECT^{xviii} ont été calculées à l'aide de méthodes utilisées pour les contaminants chimiques^{xix}. Une valeur seuil générique PNEDR (Predicted No Effect Dose Rate) de 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ a été dérivée dans le cadre du projet ERICA. Ce PNEDR est considéré comme la valeur seuil en dessous de laquelle la structure et les fonctions des écosystèmes génériques (y compris toutes les populations) sont protégées. Les situations pour lesquelles les débits de dose estimés (PEDR - Predicted Environmental Dose Rate) sont inférieurs au PNEDR (PEDR/PNEDR < 1) peuvent donc être considérées comme n'entraînant pas d'effet nocif sur la population ou l'écosystème. Le PNEDR peut être utilisé comme valeur seuil pour une exposition supplémentaire, c'est-à-dire en plus du rayonnement de fond. La valeur de référence ERICA n'est certainement pas destinée à être une limite ou un niveau d'action. L'EC-PROTECT propose également une valeur seuil générique de 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$, mais donne en outre un certain nombre de valeurs seuils pour certains groupes d'organismes : 2 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ pour les vertébrés, 200 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ pour les invertébrés et 70 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ pour les plantes.

Il ressort de ce qui précède que les valeurs seuils recommandées par les diverses organisations (inter)nationales sont très variables : de 4 à 4000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$. Les débits de dose de fond naturels pour la faune et la flore varient beaucoup moins, à savoir entre 0,07 et 6 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ ^{xx,xxi}.

Le risque d'exposition radiologique de la faune et de la flore serait mieux déterminé de manière quantitative en comparant le débit de dose estimé avec une valeur seuil, par exemple les valeurs seuils PNEDR. Cependant, pour la plupart des scénarios à évaluer, nous ne disposons pas d'informations suffisantes pour permettre une estimation quantitative de l'exposition radiologique. En outre, la plupart des données d'impact ont été obtenues et les modèles d'impact ont été développés pour des situations d'équilibre et non pour des situations accidentelles. Par conséquent, le cas échéant, les différents scénarios seront comparés sur la base de la probabilité d'absence d'exposition significative. Sur la base de la littérature citée ci-dessus, nous avons élaboré un cadre de signification, qui est présenté dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Cadre de signification des effets radiologiques sur la faune et la flore.

Débit de dose	Probabilité d'absence d'exposition significative
<10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Très élevée
10-100 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Élevée
100-400 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Assez élevée
400-4000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Modérée
> 4000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Faible

Étant donné que l'impact sur un écosystème est difficile à évaluer en raison de la complexité, on utilise différentes catégories d'organismes de référence pour déterminer l'impact radiologique sur l'environnement. Ces organismes de référence sont supposés être représentatifs des habitats où ils résident, de l'absorption des radionucléides, de leurs dimensions (avec un effet sur le calcul de dose). L'ensemble des organismes de référence renvoie à un écosystème spécifique (terrestre, aquatique). Les organismes de référence doivent être choisis pour couvrir les différents niveaux trophiques et être une représentation simplifiée de la structure et du fonctionnement d'un écosystème. Il faut donc créer un modèle conceptuel de la zone d'étude, comprendre le terme source et les voies d'exposition, et sélectionner des organismes de référence représentatifs pour l'analyse d'impact. Puisque les organismes considérés comme des espèces indicatrices dans une analyse spécifique des risques environnementaux

doivent être représentatifs d'un site spécifique, les espèces indicatrices varieront donc également d'une évaluation à l'autre. Lors de la sélection des espèces indicatrices ou des organismes de référence spécifiques, une attention particulière est accordée à la « valeur » d'un organisme au sein de l'écosystème étudié.

À titre d'information complémentaire, nous signalons ici les différences entre la méthodologie utilisée pour déterminer l'impact sur l'environnement et l'impact sur la population (voir Tableau 14).

Tableau 14 : Principales différences de méthodologie pour déterminer l'impact radiologique sur l'homme et l'environnement.

Homme	Environnement (faune et flore)
Protection au niveau de l'individu	Protection au niveau de la population/des écosystèmes
Les réactions tissulaires et les effets stochastiques de la radioactivité sont pris en compte.	En général, seuls les effets au niveau de l'organisme ou de la population sont pris en compte.
Les doses internes sont calculées à l'aide de modèles biocinétiques simulant l'absorption de radionucléides dans le corps humain.	Les doses internes sont calculées à l'aide de facteurs de transfert basés sur l'activité dans l'environnement.
Personne de référence (modèle biocinétique)	Organismes de référence (représentés sous forme d'ellipsoïdes simples)
Différentes classes d'âge	Pas de classes d'âge
L'accumulation de radionucléides dans les organes est prise en compte.	Les radionucléides sont uniformément répartis dans tout l'organisme.
Dose efficace (Sv)	Débit de dose absorbée (Gy s^{-1}) ($\mu\text{Gy h}^{-1}$)

2.3.4 Méthodologie générale des accidents

Pendant toute la durée de vie d'une installation nucléaire, celle-ci doit pouvoir résister à des conditions accidentelles et les mesures nécessaires doivent être prises à cette fin. Une installation nucléaire est conçue de manière préventive avec un certain nombre de barrières, basées sur le principe de la « défense en profondeur », afin d'éviter que la population et l'environnement ne soient exposés à une dose inacceptable de rayonnements ionisants. Le principe de la défense en profondeur vise à : i) minimiser l'impact des dangers externes, qu'il s'agisse de dangers extrêmes ou de dangers causés par la nature ou par une action humaine involontaire ; ii) prévenir le fonctionnement anormal ou les dysfonctionnements ; iii) maîtriser le fonctionnement anormal ou détecter les dysfonctionnements ; iv) maîtriser les accidents de dimensionnement ; v) maîtriser les modalités de l'extension de la conception et, en particulier, prévenir le développement des accidents en accidents graves et limiter les conséquences des accidents graves ; et vi) permettre la gestion des situations d'urgence (voir §9.4.1)^{xxii}. Pour pouvoir appliquer le principe de la défense en profondeur, il faut d'abord procéder à une analyse détaillée des événements possibles, tant ceux qui se produisent au sein de la conception (événements de base de conception) que ceux qui peuvent se produire dans le cadre de l'extension de la conception (événements d'extension de la conception), contre lesquels l'installation doit pouvoir résister ou prendre les mesures nécessaires. Ces événements peuvent conduire à des accidents, à savoir des accidents de base de conception (Design Basis Accidents) et des accidents d'extension de la conception (Beyond Design Basis Accidents).

Les directives internationales et européennes pertinentes concernant les scénarios d'accident, ainsi qu'un résumé de leur contenu (le plus pertinent), sont énumérées dans le Tableau 15

Tableau 15 : Directives internationales et européennes pertinentes relatives à l'identification des scénarios d'accident.

Directive internationale et européenne	Contenu pertinent concernant les situations d'accident
IAEA Safety Standard Series SSR-2/1, 2012 ^{xxiii}	Cette directive de l'AIEA donne les exigences de sûreté pour la conception d'une centrale nucléaire.
IAEA Safety Standard Series SSR-2/1 (Rev. 1), 2017 ^{xxiv}	Cette directive de l'AIEA est une révision, initiée après l'accident de Fukushima, de la directive précédente. La révision de cette directive a entraîné un certain nombre de changements limités.
IAEA Safety Standard Series SSR-2/1, 2012 ^{xxv}	Cette directive de l'AIEA fournit des orientations pour l'analyse déterministe de la sûreté des centrales nucléaires. L'analyse de la sûreté est utilisée pour identifier et classer les événements et pour identifier les scénarios d'accident.
IAEA Safety Standards Series SSG-2 (Rev. 1), 2019 ^{xxvi}	Cette directive de l'AIEA est une révision, basée sur les leçons tirées de l'accident de Fukushima, de la directive précédente.
Traité Euratom, 2012 ^{xxvii}	Le traité Euratom relatif à la création d'une Communauté européenne de l'énergie atomique. L'un des principaux objectifs est d'établir des normes de sûreté uniformes pour protéger la population et les travailleurs.
Directive 2014/87/EURATOM, 2014 ^{xxviii}	Cette directive de l'UE est une révision de la directive 2009/71/Euratom, initiée après l'accident de Fukushima. La directive établit un cadre communautaire pour la sûreté nucléaire des installations nucléaires dans l'Union européenne.

L'état dans lequel une centrale nucléaire peut se trouver a été identifié par l'AIEA comme schématisé dans la Figure 17. Deux catégories de conditions d'accident sont considérées : a) les accidents de base de conception (« Design Basis Accidents ») et b) les événements d'extension de la conception (« Design Extension Conditions »). En outre, dans cette dernière catégorie, deux types d'événements sont considérés : a) les événements sans dégradation significative du combustible et b) les événements avec fusion du cœur. Pour les événements d'extension de la conception, les conséquences radiologiques sont plus graves que pour les accidents de base de conception ou impliquent des dysfonctionnements supplémentaires ^{xxiv}.

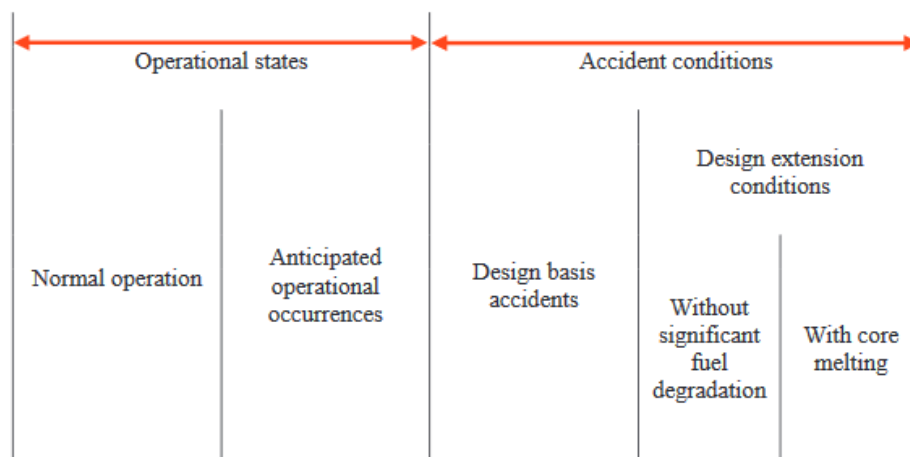


Figure 17 : État opérationnel et accidentel d'une centrale nucléaire ^{xxiv}.

Outre les directives de l'AIEA et de l'UE, la WENRA (« Western European Nuclear Regulators' Association »), à laquelle la Belgique participe, a publié en 2014 des niveaux et des exigences de sûreté harmonisés pour la base de conception et l'extension de la conception des réacteurs existants^{xxxix}.

Terminologie utilisée pour les accidents

Base de conception : l'éventail des conditions et des événements pris initialement en compte ainsi que lors des mises à niveau, d'une installation nucléaire, conformément aux critères fixés, de sorte que l'installation puisse y résister sans dépassement des limites autorisées quand les systèmes de sûreté fonctionnent comme prévu.

Accident de base de conception : accident considéré dans la base de conception.

Extension de la conception : l'éventail des conditions et des événements plus complexes ou plus sévères que ceux appartenant à la base de conception. Ces conditions peuvent être causées par des événements initiateurs multiples, des défaillances multiples, des événements hautement improbables ou être des conditions postulées.

Accident d'extension de la conception : accident considéré dans l'extension de la conception. Deux catégories d'accidents sont considérées :

- Les accidents du domaine d'extension de la conception « A » (DEC-A), pour lesquels il est possible de prévenir l'endommagement du combustible, le cas échéant, et les rejets radioactifs précoces ou massifs.
- Les accidents du domaine d'extension de la conception « B » (DEC-B ou Accidents graves) pour lesquels il est impossible de prévenir des rejets radioactifs précoces ou massifs, ou, le cas échéant, l'endommagement du combustible.

Au niveau belge, les accidents hors dimensionnement et de dimensionnement ont été définis dans l'arrêté royal du 30 novembre 2011 portant prescriptions de sûreté des installations nucléaires et les exigences nécessaires ont été fixées^{xxx}. L'AR a été adapté au fil des ans tant en termes de contenu que de terminologie. L'AR du 30 novembre 2011 précité est la transposition en droit belge de la directive de l'UE et des niveaux de sûreté de la WENRA. La dernière version de l'AR considère les accidents de base de la conception et d'extension de la conception conformément aux dernières directives de l'AIEA et de l'UE, lesquels accidents sont abordés plus en détail.

2.3.4.1 Accident de base de conception

L'objectif de la base de conception dans l'arrêté royal précité est de prendre des mesures « afin que les conséquences radiologiques potentielles pour la population, les travailleurs et l'environnement ne dépassent pas les limites prescrites et soient maintenues à un niveau aussi bas que raisonnablement possible ». En ce qui concerne plus spécifiquement les accidents, « la base de conception doit prévenir les incidents de fonctionnement prévus et les accidents et, en cas d'échec, limiter les conséquences qui en résultent ».

Lors de la préparation de la base de conception, « une liste d'événements initiateurs postulés, qui couvre tous les événements susceptibles d'affecter la sûreté nucléaire de l'installation est établie. On sélectionne dans cette liste, un ensemble d'événements de base de conception, sur base d'une combinaison de méthodes déterministes, probabilistes et de jugements d'experts, en vue de fixer les conditions aux limites selon lesquelles devront être conçus les structures, systèmes et composants importants pour la sûreté nucléaire, afin de démontrer que les fonctions de sûreté requises sont assurées et que les objectifs de la base de conception sont atteints »^{xxx}.

D'autres exigences pour dresser la liste des événements initiateurs dans la conception sont données à l'article 20 de l'AR^{xxx}.

« Le retour d'expérience et les analyses liées à des installations et des sites similaires sont pris en compte pour dresser la liste des événements initiateurs.

Les combinaisons crédibles d'événements individuels sont identifiées et prises en compte.

Les événements sélectionnés d'origine interne comprennent au minimum :

- *Les défaillances d'équipements ;*
- *Les accidents par perte de réfrigérant primaire (LOCA) ;*
- *Les erreurs humaines ;*
- *D'autres risques tels qu'incendie, explosions, inondations d'origine interne.*

Les événements sélectionnés d'origine externe comprennent des événements résultant d'activités humaines, dont au minimum :

- *La chute d'un avion de ligne commercial et d'un avion militaire représentatifs ;*
- *Les accidents causés par les transports et les activités industrielles de proximité, comprenant les incendies, explosions, et autres menaces plausibles pour la sûreté des installations nucléaires. »*

Pour les événements d'origine externe, plus précisément la chute d'un avion commercial ou militaire représentatif, un événement alternatif peut également être envisagé, mais un niveau de protection adéquat doit être démontré en garantissant des marges raisonnables et en utilisant des méthodes, hypothèses et arguments conservateurs.

2.3.4.2 Accident d'extension de la conception

L'extension de la conception dans l'AR vise à améliorer la sûreté « en renforçant la capacité à faire face à des événements ou des conditions plus sévères que ceux pris dans la base de conception ; en minimisant les relâchements radioactifs dommageables pour le public et l'environnement, autant que raisonnablement faisable, lors de tels événements ou de telles conditions. ». L'AR distingue l'analyse DEC-A (« Design Extension Conditions » – A) et DEC-B comme suit :

« L'analyse DEC-A vise à identifier les mesures raisonnablement faisables de prévention de l'endommagement conséquent du combustible et des conditions susceptibles de mener à un rejet radioactif précoce ou massif.

À moins de pouvoir en atténuer suffisamment les conséquences par un confinement, il faut rendre extrêmement improbable avec un haut degré de confiance l'endommagement conséquent du combustible usé en piscine de désactivation.

L'analyse DEC-B vise à identifier les mesures raisonnablement faisables permettant d'atténuer les conséquences de l'endommagement conséquent du combustible et des conditions susceptibles de mener à

un rejet radioactif précoce ou massif, si cet endommagement ou ces conditions n'ont pas été rendus extrêmement improbables avec un haut degré de confiance. »

Une liste représentative des conditions d'extension de la conception doit être dressée comme suit^{xxx}

« Une liste représentative de conditions d'extension de la conception est établie et justifiée sur base d'une combinaison de méthodes déterministes, probabilistes et de jugements d'experts.

Il est tenu compte des événements pouvant affecter simultanément les diverses installations du site ainsi que les interactions potentielles entre les installations du site ou d'autres sites proches.

Le processus de sélection des conditions DEC-A part des événements ou combinaisons d'événements qui ne peuvent être considérés comme extrêmement improbables avec un haut degré de confiance et qui peuvent mener à l'endommagement conséquent du combustible ou à un rejet radioactif précoce ou massif.

Le processus de sélection des conditions DEC-A se base sur :

- Les événements se produisant dans les différents états opérationnels ;*
- Les événements résultant des risques internes ou externes ;*
- Des défaillances de cause commune.*

La liste des conditions DEC-B couvre les situations pour lesquelles les capacités de prévention de l'endommagement conséquent du combustible et de rejet radioactif précoce ou massif sont dépassées, ou les situations pour lesquelles les mesures de prévention ne fonctionnent pas comme voulu.

La liste des conditions DEC-B comprend des accidents postulés avec endommagement conséquent du combustible, également pour le combustible utilisé en piscine de désactivation, pour autant que de tels accidents n'aient pas été rendus extrêmement improbables avec un haut degré de confiance. »

Dans l'AR, les événements d'extension de la conception sont décrits plus en détail à l'article 21.

« Des événements plus sévères que les événements de base de conception sont identifiés dans le cadre de l'analyse d'extension de la conception.

Si un phénomène naturel retenu dans la base de conception est extrêmement improbable avec un haut degré de confiance, il n'y a pas lieu de retenir un événement d'extension de la conception pour ce phénomène.

La sélection d'événements pour l'analyse d'extension de la conception est basée sur la fréquence de dépassement de la sévérité du phénomène, si possible, ou sur d'autres paramètres en lien avec le phénomène.

L'analyse des événements d'extension de la conception, autant que possible :

- 1. Démontre qu'il existe des marges suffisantes vis-à-vis des « effets falaise » qui se traduiraient par la perte d'une fonction de sûreté fondamentale ;*
- 2. Identifie et évalue les moyens les plus robustes pour assurer les fonctions de sûreté fondamentales ;*
- 3. Tient compte du fait que :*
 - a) Plusieurs trains, redondants ou diversifiés, d'un système de sûreté ;*
 - b) Plusieurs structures, systèmes et composants ;*
 - c) Diverses installations du site ainsi que l'infrastructure du site ;*
 - d) L'infrastructure environnante, les approvisionnements de l'extérieur et d'autres contre-mesures ;**pourraient être affectés par les événements ;*
- 4. Démontre que des ressources suffisantes restent disponibles sur les sites avec plusieurs tranches nucléaires qui envisagent l'utilisation d'équipements ou de services communs ;*
- 5. Inclut des vérifications sur le terrain. »*

Enfin, on peut également jeter un regard sur les accidents historiques (fréquence et gravité) avec des réacteurs de type similaire à Doel 4 et Tihange 3. Doel 4 et Tihange 3 sont des centrales nucléaires du type « Pressurised Light-Water Moderated and Cooled Water Reactor » (PWR). Depuis la première grande centrale nucléaire PWR, la « Shippingport Atomic Power Station » aux États-Unis en 1957^{xxxix}, toute une flotte de centrales nucléaires PWR a été construite dans le monde entier. Fin 2021, il y avait 372 centrales nucléaires PWR existantes dans le monde (en exploitation et hors service), selon les données de l'AIEA^{xxxix}. Cette flotte mondiale de PWR est exploitée, depuis la mise en service du premier PWR, depuis 8,295 années au total sur la base des données disponibles dans le PRIS de l'AIEA^{xxxix}. Au cours de ces années d'exploitation, un seul accident est survenu avec un PWR, à savoir avec le réacteur 2 de la centrale nucléaire de « Three Mile Island » aux États-Unis en 1979. Sur la base de l'échelle INES (International Nuclear and Radiological Event Scale), qui n'a été développée qu'en 1990, cet accident aurait été classé dans la catégorie INES 5.

L'échelle INES a été développée en 1990 par l'AIEA et l'OCDE/AEN après l'accident de Tchernobyl et est un outil pour communiquer au public l'importance de la sûreté des événements nucléaires et radiologiques. Les INES 1 à 3 inclus concernent les incidents, tandis que les INES 4 à 7 inclus concernent les accidents^{xxxix}.

L'accident survenu le 28 mars 1979 à la centrale nucléaire de Three Miles Island (TMI) a été le plus grave accident nucléaire survenu dans un PWR. Cet accident a entraîné une fusion du cœur, il n'y a eu ni morts ni blessés et la contamination radioactive a été limitée. Les causes qui ont conduit à la fusion du cœur de la tranche 2 de la centrale nucléaire (TMI-2) sont une succession de défauts de conception, d'erreurs humaines et de défaillances matérielles. Finalement, aucune explosion ou incendie ne s'est produit et le confinement du réacteur a été maintenu. Les rejets radioactifs ont eu des effets négligeables sur la santé humaine et l'environnement (voir par exemple ^{xxxv}, ^{xxxvi} et ^{xxxvii}). Après avoir étudié cette catastrophe évitée de justesse, les exigences en matière de conception, de systèmes de contrôle, de formation du personnel et de procédures d'urgence ont été considérablement renforcées et améliorées.

2.3.4.3 Analyse de l'impact

Pour le calcul de l'impact des accidents, on part du terme source rejeté dans l'atmosphère. Il s'agit de la quantité et de la composition de la radioactivité qui est rejetée et se retrouve dans l'air extérieur via la cheminée ou les fuites dans l'enceinte. De plus, les paramètres de rejet tels que la hauteur de rejet, etc, sont inclus. Sur la base de modèles de dispersion et de dépôt atmosphériques qui, en plus du terme source et des paramètres de rejet, utilisent également des informations météorologiques, analogues à celles des rejets en fonctionnement normal, la concentration et le dépôt de radionucléides sont calculés à l'échelle locale (premiers kilomètres autour du site) afin de déterminer l'exposition (par exemple dose efficace, dose à la thyroïde) de l'individu critique. Les voies d'exposition en situation d'accident avec rejet de radioactivité dans l'atmosphère sont illustrées dans la Figure 18.

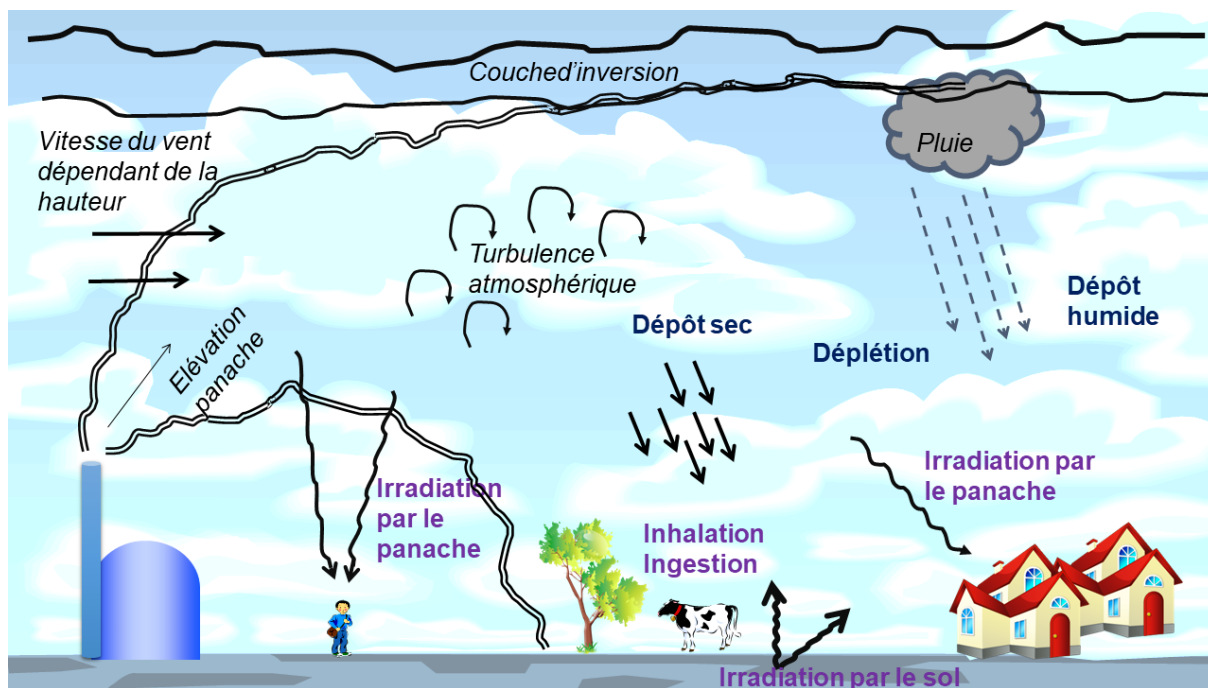


Figure 18 : La dissémination de la radioactivité et les voies d'exposition des personnes à proximité dans un scénario d'accident avec rejet de radioactivité dans l'atmosphère.

Pour les accidents de base de conception, les accidents sont définis dans le cadre de l'article 37 du traité Euratom.

Les données générales au titre de l'article 37 du traité Euratom pour les tranches Doel 3 et Doel 4 ont été établies en 1981. À cette fin, deux accidents de conception ont été identifiés : i) rupture principale de la conduite primaire et ii) chute d'un assemblage de combustible irradié^{xxxviii}. Les limites d'autorisation pour les conséquences radiologiques des accidents de base de conception en bordure du site et à la frontière la plus proche (Pays-Bas à 3,15 km) sont basées sur le scénario le plus pessimiste (rupture principale de la conduite primaire) pour la dose à la thyroïde et la dose efficace totale.

Les données générales de l'article 37 du traité Euratom pour les tranches Tihange 2 et Tihange 3 ont également été établies en 1981. Deux accidents de conception ont également été identifiés à cet effet : i) rupture principale de la conduite primaire et ii) chute d'un assemblage de combustible irradié^{xxxix}. Les limites d'autorisation pour les conséquences radiologiques des accidents de base de conception en bordure du site et à la frontière la plus proche sont basées sur le scénario le plus pessimiste (rupture principale de la conduite primaire) pour la dose à la thyroïde et la dose efficace totale.

Ces limites de licence doivent être respectées pour l'individu critique. La personne la plus exposée est considérée comme se trouvant à un endroit où elle est exposée à la plus forte concentration (intégrée dans le temps) de rejets radioactifs^{xli}. Cette personne appartient à la catégorie d'âge la plus touchée par l'exposition aux rejets radioactifs.

Une brève description de ces accidents est donnée ci-dessous :

Une **rupture principale de la conduite primaire (accident par perte de réfrigérant primaire/fluide caloporteur ou Loss of coolant accident - LOCA)** résulte d'une rupture présumée du circuit primaire ou d'une conduite raccordée au circuit primaire avant la première vanne d'isolement où la gaine du combustible est endommagée par les hautes températures. En raison de la perte de liquide de refroidissement, le cœur s'échauffe jusqu'à ce que la gaine du combustible soit endommagée. Les produits de fission gazeux sont libérés dans le circuit primaire et plus loin à l'intérieur du bâtiment du réacteur lors de la percée. Une partie des produits de fission gazeux s'échappe alors à travers le confinement du réacteur vers, entre autres, l'espace intermédiaire et également immédiatement vers

l'atmosphère. On suppose en outre que, entre autres, les systèmes d'injection de sécurité sont en fonctionnement et que la recirculation pour refroidir le cœur est enclenchée, que l'eau est contaminée et qu'une partie de cette contamination s'écoule dans l'environnement. Le rejet dans l'environnement est présumé durer 30 jours à une intensité qui diminue au fil du temps.

Si un **assemblage de combustible irradié (Fuel handling Accident ou FHA) tombe** lors d'une opération avec du combustible usé, tous les crayons de combustible sont supposés endommagés. Dans cette situation, les produits de fission gazeux se trouvent dans l'espace entre la gaine et le combustible et se libèrent dans l'eau où se trouvent les éléments combustibles. Une partie des produits de fission est absorbée par l'eau de la piscine. Le reste se disperse dans l'environnement et est éventuellement libéré par l'événement vers la cheminée et l'atmosphère (rejet par la cheminée).

Pour Doel et Tihange, sur la base d'une analyse probabiliste de sûreté et conformément aux directives WENRA 2014, qui tiennent compte des enseignements tirés de l'accident de TEPCO Fukushima Dai en 2011, un accident d'extension de conception d'enveloppe a été identifié. Pour ce scénario, on suppose une **panne complète de la station (CSBO - « Complete Station Black-Out ») avec fusion du cœur** (conformément à DEC-B), compte tenu des mesures de gestion des accidents efficaces. À la suite d'une fusion du cœur dans cet accident, la radioactivité est rejetée dans l'environnement par une fuite de conception du confinement et par des événements contrôlés si la pression monte trop haut dans le système de ventilation filtrée du confinement (CFVS - Containment Filtered Venting System), un système de filtration qui élimine l'iode et les aérosols avec une grande efficacité pour le rejet par la cheminée du CFVS dans l'atmosphère. Plusieurs événements et une fuite de conception continue sont supposés sur une période de 10 jours. Les calculs de Tractebel sont spécifiques à Doel 4 et Tihange 3 et les codes MELCOR et ASTEC ont été utilisés pour calculer le terme source de cet accident grave. L'accident d'extension de la conception CSBO comprend également des événements d'origine externe, notamment le crash d'un avion sur la centrale nucléaire.

Les données générales pour KC Doel et CN Tihange dans le cadre de l'article 37 du traité Euratom comprennent des limites d'autorisation pour la frontière la plus proche avec les Pays-Bas. Il n'y a pas de limites légales pour les conséquences radiologiques transfrontalières d'accidents à plus longue distance. À titre indicatif, on peut utiliser la valeur de limite de dose de 1 mSv/an, telle que spécifiée pour l'exploitation normale à l'article 12 de la directive 2013/59/Euratom.

Pour une évaluation de l'impact des accidents de conception sur l'individu le plus critique, la dissémination de radioactivité et la dose efficace engagée ont par conséquent été calculées sur la base d'une méthodologie approuvée par la FANC-AFCN et établie par la United States Nuclear Regulatory Commission (NRC, 1977). Les résultats doivent être conformes à l'arrêté royal relatif aux autorisations de création des centrales nucléaires de Doel et Tihange et aux données générales associées dans le cadre de l'article 37 du traité Euratom (voir ci-dessus). Les études de sûreté nécessaires sont documentées dans les rapports de sûreté et sont périodiquement mises à jour, sur la base de nouvelles connaissances et normes.

D'autre part, les études de Tractebel basées sur les nouvelles directives de la FANC-AFCN et de Bel V sont utilisées en complément pour l'évaluation de ces accidents ainsi que pour l'accident d'extension de conception.

En 2017, la FANC-AFCN a publié une directive pour la réalisation de la démonstration de sûreté des nouvelles installations nucléaires de classe I^{xl}. Les recommandations de cette directive donnent des informations détaillées sur les exigences de la FANC-AFCN en ce qui concerne la « défense en profondeur » et les objectifs radiologiques quantitatifs dans le cadre de la démonstration de la sûreté des nouvelles installations nucléaires de classe I. Étant donné que les installations Doel 4 en Tihange 3 sont des installations de classe I existantes, cette directive n'est pas directement applicable, mais les recommandations peuvent néanmoins être utilisées pour évaluer la démonstration de sûreté sur la base des normes actuelles.

La directive de l'AFCN a été complétée par une directive Bel V, qui fournit des recommandations sur l'application d'approches conservatrices et moins conservatrices pour l'analyse des conséquences radiologiques^{xli} mentionnées

dans la directive de l'AFNC. Comme la directive de l'AFCN, la directive Bel V vise les nouvelles installations nucléaires de classe I.

Les différences de résultats sont généralement dues à une méthodologie quelque peu différente pour le calcul de la dispersion et à l'utilisation de coefficients de dose plus récents. Il convient de noter que les deux méthodologies sont prudentes, mais la différence de résultats reflète principalement la différence de prudence de l'approche.

Outre les limites pour les accidents de base de conception telles que définies dans le cadre de l'article 37 d'Euratom et les critères définis pour les accidents dans le cadre des nouvelles installations de Classe 1, les résultats des analyses peuvent également être comparés aux directives relatives aux contre-mesures telles que définies dans l'AR du 18 mars 2018 portant fixation du plan d'urgence nucléaire et radiologique pour le territoire belge ^{cvii}. Celui-ci contient des niveaux de référence spécifiques sous la forme de critères de dose pour des mesures de protection immédiates et urgentes : mise à l'abri, évacuation et administration d'iode stable pour protéger la thyroïde (voir Tableau 16), niveaux dérivés de la contamination du sol pour divers radionucléides lorsque des mesures pour la chaîne alimentaire peuvent s'avérer indispensables (Tableau 17) et les niveaux maximaux autorisés pour la libre circulation des denrées alimentaires et des aliments pour animaux au sein de l'UE (Tableau 18).

Tableau 16 : Niveaux de référence spécifiques pour les mesures de protection immédiates et urgentes. (*) hors ingestion.

Mesures de protection	Critères de dose et période d'intégration	Groupe cible	Valeur indicative
Se mettre à l'abri	Dose efficace en 24 h ^(*)		5 mSv
Administration d'iode stable	Dose équivalente à la thyroïde ^(*)	Enfants, femmes enceintes et allaitantes	10 mSv
		Adulte	50 mSv
Évacuation	Dose efficace en 7 j ^(*)		50 mSv

Tableau 17 : Niveaux dérivés de la contamination du sol (Bq/m²).

	Lait	Légumes	Viande
⁹⁰ Sr	10.000	4.000	300.000
¹³¹ I	4.000	10.000	40.000
¹³⁴ Cs	10.000	6.000	10.000
¹³⁷ Cs	10.000	6.000	10.000

Tableau 18 : Niveaux maximaux autorisés pour la libre circulation des denrées alimentaires et des aliments pour animaux (Bq/kg) au sein de l'UE.

	Denrées alimentaires (Bq/kg)					Aliments pour animaux
	Aliments pour bébés	Produits laitiers	autres denrées alimentaires, à l'exception des denrées alimentaires mineures	Denrées alimentaires mineures	Denrées alimentaires liquides	
Total des isotopes du strontium, à savoir ⁹⁰ Sr	75	125	750	7.500	125	
Total des isotopes de l'iode, à savoir ¹³¹ I	150	500	2.000	20.000	500	
Total des isotopes, des éléments de plutonium et de transplutonium, émetteurs alpha, à savoir ²³⁹ Pu et ²⁴¹ Am	1	20	80	800	20	
Total de tous les autres nucléides ayant une demi-vie supérieure à dix jours, à savoir ¹³⁴ Cs et ¹³⁷ Cs	400	1 000	1 250	12 500	1 000	porcs : 1250 volailles, agneaux, veaux : 2500 autres : 5000

Pour estimer l'impact potentiel d'un rejet radioactif atmosphérique en cas d'accident des centrales nucléaires de Doel et Tihange sur les pays voisins, une série de calculs ont été effectués à l'aide du modèle particulaire stochastique lagrangien Flexpart. Flexpart calcule le transport et la dispersion des particules radioactives dans l'atmosphère après un rejet atmosphérique. Le modèle tient également compte de l'épuisement sec et humide et calcule les dépôts secs et humides correspondants, le cas échéant. L'accent est mis ici sur les distances supérieures à 10 kilomètres : l'impact potentiel de Doel sur les Pays-Bas n'est donc pas étudié avec cette méthode, mais il a été évalué avec la méthode de l'impact local compte tenu de la distance de Doel par rapport à la frontière néerlandaise (3,15 km).

Les calculs de Flexpart ont été effectués pour l'ensemble de l'année 2020 afin de tenir compte des différentes conditions météorologiques. Les calculs ont été effectués à l'aide de données météorologiques numériques historiques du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT). Ces données ont été obtenues auprès de l'Institut Royal Météorologique de Belgique (IRM). Dans les calculs, une durée de rejet de 1 heure a été supposée. En agrégeant les résultats des calculs, d'autres rejets peuvent également être pris en compte (par exemple un rejet pendant 6 heures). Les calculs ont été effectués pour les gaz nobles (pas d'épuisement sec ou humide), l'iode élémentaire I₂ et les aérosols. Pendant le rejet, une émission constante de 1 TBq au total a été supposée. Étant donné que la concentration et le dépôt évoluent linéairement avec le rejet, les résultats peuvent également être utilisés pour les rejets selon les scénarios d'accident. Les calculs se sont arrêtés 48 heures après la fin du rejet. Les calculs pour l'iode élémentaire 131 tenaient compte de la décroissance radioactive, tandis que les calculs pour les gaz nobles et les aérosols ne tenaient pas compte de la décroissance radioactive. Ces derniers sont prudents, car en réalité les concentrations diminuent avec le temps en raison de la décroissance radioactive.

Les résultats des calculs ont été écrits toutes les heures dans deux grilles de calcul différentes dont les dimensions sont indiquées dans la Figure 19. La petite grille a une résolution de 0,01° (+/- 0,9 km), tandis que la grande grille a une résolution de 0,1° (+/- 0,9 km). Par la suite, la concentration dans l'air a été additionnée au fil du temps pour chaque simulation afin d'obtenir la concentration intégrée dans le temps (CIT). De plus, les dépôts secs et humides accumulés ont été ajoutés pour chaque simulation. Deux exemples de tels calculs sont présentés dans la Figure 20

et la Figure 21. Par la suite, la valeur la plus élevée de la CIT et le dépôt total ont été déterminés pour les deux grilles présentées dans la Figure 19 pour différentes zones : les Pays-Bas, l'Allemagne, la France, le Luxembourg et le Royaume-Uni. Par souci d'exhaustivité, le maximum au-dessus de la mer et de la terre a également été déterminé.

Pour une centrale nucléaire donnée (Doel ou Tihange), un radionucléide donné (gaz noble, iode ou aérosol), une durée de rejet donnée et une zone donnée (Pays-Bas, Allemagne, France, Luxembourg et Royaume-Uni, terrestre ou maritime), il y a 8784 valeurs pour la CIT maximale et le dépôt total. C'est dû au fait que les calculs de Flexpart ont été lancés pour chaque heure de l'année complète 2020 ($24 * 366 = 8784$). Cela permet une interprétation statistique des résultats. Nous donnons ici deux exemples. La Figure 22 illustre la distribution de la concentration maximale intégrée dans le temps des gaz nobles radioactifs en France après un rejet fictif pendant 6 heures provenant de la centrale nucléaire de Doel. La Figure 23 illustre la distribution du dépôt maximal en Allemagne après un rejet fictif d'aérosol radioactif provenant de Tihange pendant 6 heures. Pour finalement calculer l'impact, nous utilisons la valeur la plus élevée obtenue pour l'année 2020, pour un scénario donné. Il s'agit d'une estimation très prudente : il s'agit de la pire situation météorologique possible sur une année (2020) et donc dans toutes les autres périodes de l'année les conditions météorologiques sont plus favorables, dans le sens où il y aura un impact moindre pour le même scénario d'accident. Ces figures révèlent aussi que dans 99 % des situations météorologiques l'impact ne sera que de la moitié voire au tiers de l'impact maximal.

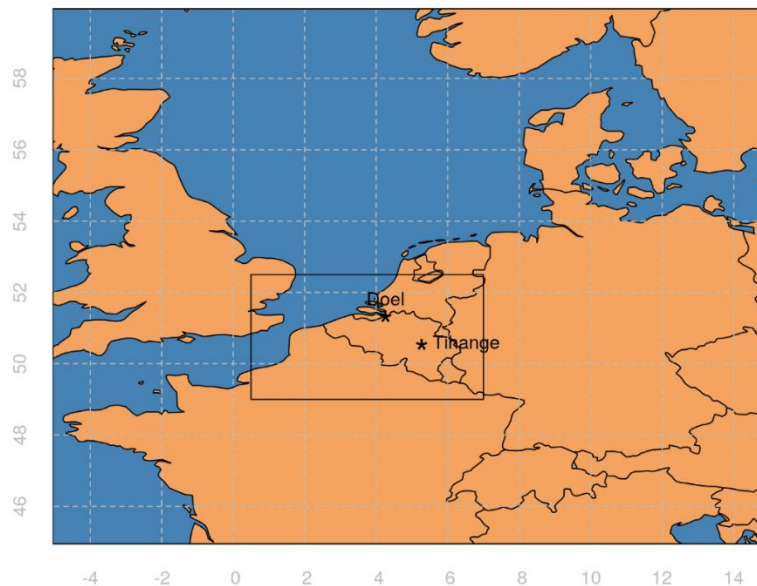


Figure 19 : Domaine de calcul des effets transfrontières des scénarios d'accident. Les nombres dans le bas de la Figure représentent la longitude [°], les nombres à gauche de la Figure représentent la latitude [°]. (Voir le texte pour plus d'explications).

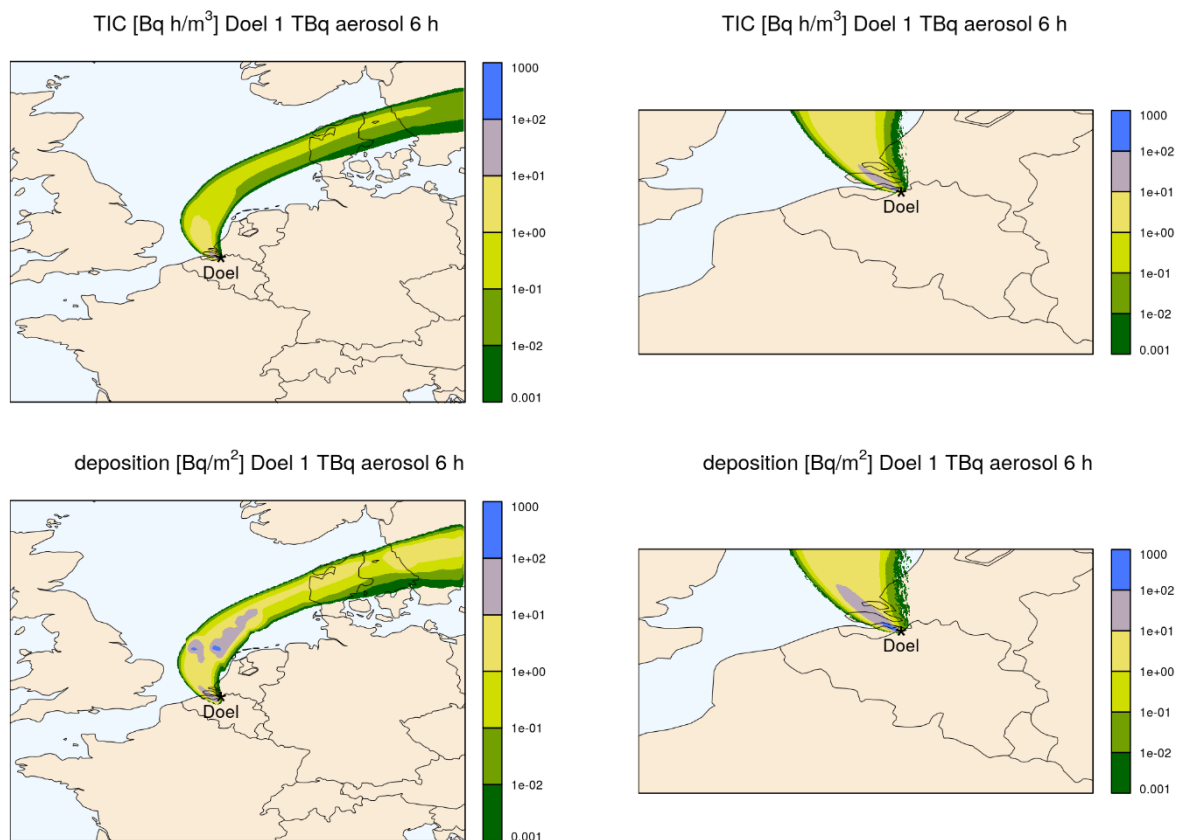


Figure 20 : Exemple de calcul Flexpart pour un rejet fictif au 1er janvier 2020 entre 00h00 UTC et 06h00 UTC de 1 TBq d'aérosols radioactifs de la centrale nucléaire de Doel. La ligne du haut indique la concentration intégrée dans le temps ; la ligne du bas indique le dépôt total. Les résultats des calculs sont présentés pour la grande grille (colonne de gauche) et la petite grille (colonne de droite).

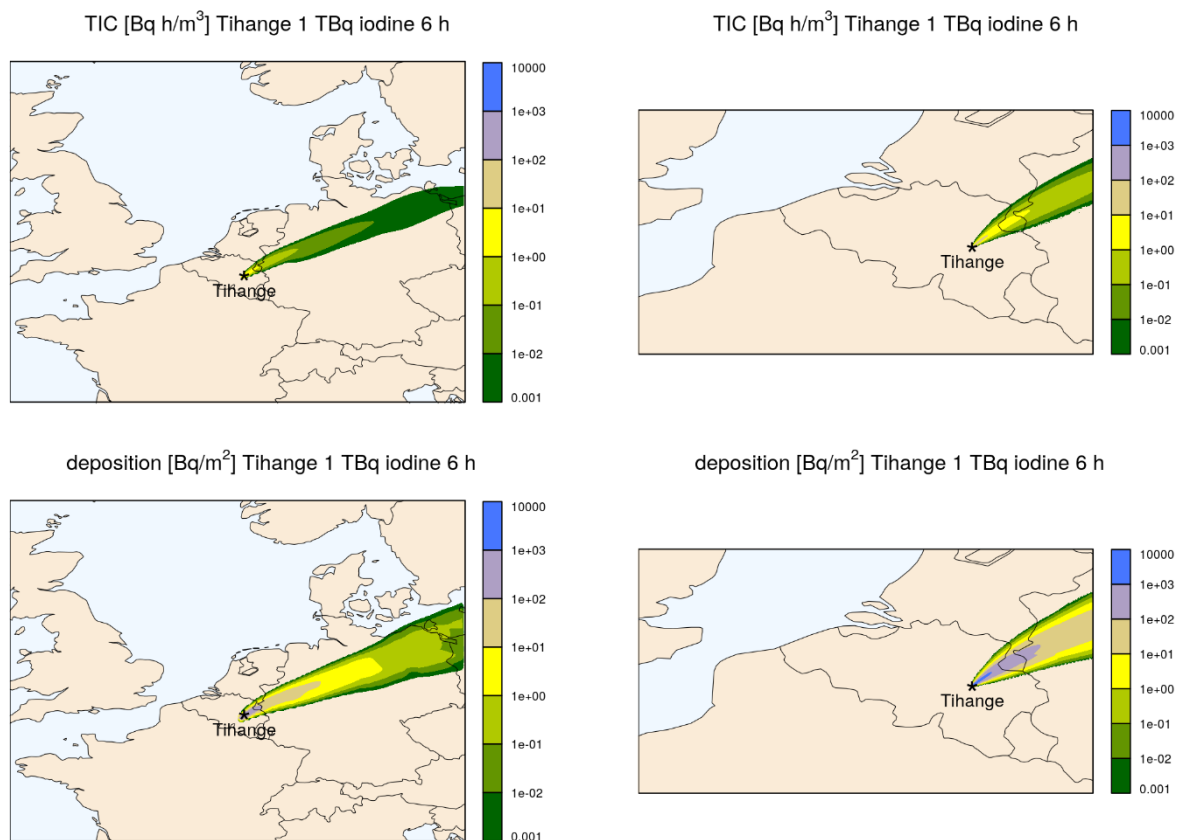


Figure 21 : Exemple de calcul Flexpart pour un rejet fictif au 1er juillet 2020 entre 00h00 UTC et 06h00 UTC de 1 TBq d'iode élémentaire 131 de la centrale nucléaire de Tihange. La ligne du haut indique la concentration intégrée dans le temps ; la ligne du bas indique le dépôt total. Les résultats des calculs sont présentés pour la grande grille (colonne de gauche) et la petite grille (colonne de droite).

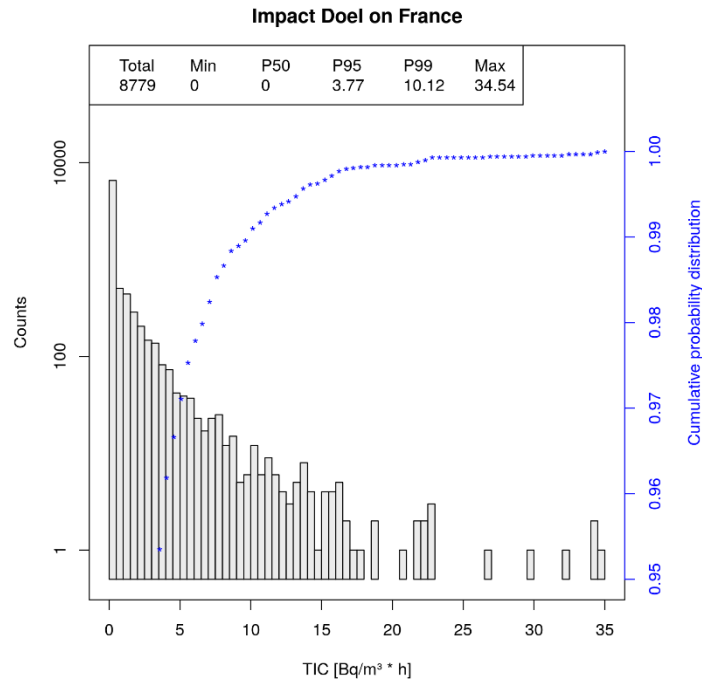


Figure 22 : Distribution de la concentration maximale intégrée dans le temps (CIT) en France après un hypothétique rejet de gaz nobles radioactifs pendant 6 heures de la centrale nucléaire de Doel. Le nombre total de valeurs CIT indiquées dans la distribution est de 8779³⁰.

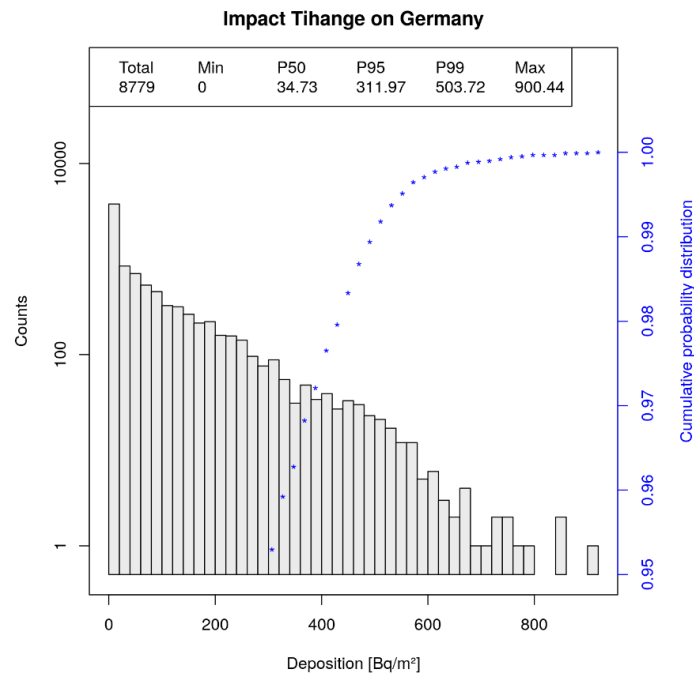


Figure 23 : Distribution du dépôt total maximal en Allemagne après un hypothétique rejet d'aérosol radioactif pendant 6 heures de la centrale nucléaire de Tihange. Le nombre total de valeurs CIT indiquées dans la distribution est de 8779.

³⁰ C'est légèrement inférieur à $24 \times 366 = 8.784$, car 8.784 calculs d'un débit horaire ont été agrégés à 8.779 débits sur 6 heures en 2020.

À partir des calculs de dispersion atmosphérique et de dépôt, la dose efficace totale et la dose équivalente à la thyroïde sont ensuite déterminées pour les différents accidents considérés.

2.3.5 Surveillance de l'état radiologique du milieu de vie

La Belgique, comme tous les États membres de l'Union européenne, est tenue de se conformer aux exigences de la Commission européenne (CE) en vertu du traité Euratom. L'article 35 du traité Euratom impose à chaque État membre de mettre en place les installations nécessaires pour contrôler en permanence les taux de radioactivité dans l'air, les eaux et le sol et pour assurer le respect des normes de sûreté de base (Basic Safety Standards). La formulation « air, eau et sol » est considérée comme globale et incluant tous les compartiments de la biosphère. L'environnement ne se limite pas aux abords d'une installation nucléaire, mais s'applique à l'ensemble du territoire.

En outre, l'article 36 sur la communication des données de contrôle de la radioactivité dans l'environnement (radioactivité de l'air, particules dans l'air, eaux de surface et eau potable, lait et denrées alimentaires) doit être respecté. Cela comprend également les nouvelles exigences en matière de surveillance de la chaîne alimentaire résultant des mesures de protection prises à la suite des catastrophes de Tchernobyl et de Fukushima, ainsi que la recommandation 2000/473/EURATOM2 concernant l'article 36 du traité Euratom, qui prévoit au point 4 que les États membres doivent transmettre à la Commission toutes les données nécessaires à la surveillance de la radioactivité dans le « régime mixte » afin d'obtenir des informations globales sur l'absorption de radioactivité par l'homme via la chaîne alimentaire.

La Convention OSPAR (OSlo-PARis) pour la protection du milieu marin de la mer du Nord et du nord-est de l'Atlantique exige des États parties qu'ils développent des programmes de surveillance et de recherche sur l'impact des rejets radioactifs sur le milieu marin. Le programme est organisé en six stratégies : (1) Protection et conservation de la biodiversité et des écosystèmes marins ; (2) Eutrophisation ; (3) Substances dangereuses ; (4) Industrie pétrolière et gazière offshore ; (5) Substances radioactives ; (6) Surveillance et évaluation. Le traité prévoit une réduction drastique des rejets radioactifs dans le milieu marin à des concentrations proches de zéro pour la radioactivité d'origine humaine. Dans le cadre de la stratégie OSPAR, la Commission européenne encourage également les États membres à investir dans des programmes de recherche fondamentale relatifs à l'impact des rejets radioactifs dans le milieu marin (flore, faune et homme).

Enfin, il existe également des directives internationales, comme celles de l'Agence internationale de l'Énergie atomique (IAEA Safety Guide N° RS-G-1.8 « Environmental and source monitoring for purposes of radiation protection »). Selon ces directives, un programme de surveillance hors site doit comprendre les relevés suivants : relevé de la dose externe ou du débit de dose et de l'activité des radionucléides dans des échantillons environnementaux pertinents pour l'exposition humaine, en particulier dans l'air, l'eau potable, le sol, les sédiments, les produits agricoles et les denrées alimentaires naturelles, ainsi que des bio-indicateurs (lichens qui concentrent la radioactivité et peuvent montrer une tendance dans le temps).

La FANC-AFCN est responsable du contrôle de la radioactivité de l'ensemble du territoire et du contrôle de la dose de rayonnements ionisants reçue par la population, et réalise ce programme de surveillance radiologique sur le territoire belge depuis 2001. Le programme de surveillance couvre la radioactivité tant naturelle qu'artificielle et est mis en œuvre de deux manières :

En continu : par le réseau TELERAD automatique pour le relevé de la radioactivité de l'environnement local ; un réseau de 250 stations de mesure réparties sur l'ensemble du territoire belge, qui relèvent en continu la radioactivité (plus précisément le rayonnement gamma) dans l'air et dans l'eau des rivières. Cela permet d'avoir un accès quasi instantané (en temps réel) aux valeurs de rayonnement 24 heures sur 24 et de réagir rapidement si le niveau de rayonnement dépasse une valeur seuil prédéterminée. Le réseau présente des densifications autour d'installations nucléaires telles que KC Doel et CN Tihange, constituées d'un grand nombre (environ 20 par site) de stations annulaires installées sur le périmètre du site et de stations d'agglomération à proximité du site.

Le réseau TELERAD est l'un des réseaux de relevé des niveaux de rayonnement les plus denses d'Europe et du monde avec 5,3 stations pour 1000 km². Il comprend :

- 162 stations d'équivalent de dose ambiante (détecteur de type Geiger Müller, H*[10]), pour le relevé de l'activité radio gamma dans l'environnement ;
- 64 stations de mesure spectroscopiques : détecteurs à scintillation à iodure de sodium (NaI) 1,5 "x1,5" + compteurs Geiger Müller (GM) pour les débits de dose > 400 µSv/h) pour le relevé de la radioactivité gamma dans l'environnement et le relevé d'un certain nombre de radionucléides (10 radionucléides prédéfinis). Elles sont réparties le long de la clôture autour des sites nucléaires du SCK CEN, des centrales nucléaires de Doel et Tihange, ainsi qu'autour de l'IRE ;
- 11 stations de mesure le long des rivières (LaBr₃) relèvent en permanence le rayonnement gamma dans l'eau des rivières ;
- 13 stations météo (mât de 30 mètres de haut).

Toutes les stations relèvent le débit de dose (taux d'équivalent de dose ambiant H*[10] qui, dans presque tous les cas, donne une estimation prudente de la dose efficace qu'une personne reçoit du rayonnement externe) et sont capables de relever avec précision tant les niveaux de fond, où l'on peut observer la variation du rayonnement de fond naturel en fonction du temps, que les débits de dose très élevés (situations accidentelles). Les données sont disponibles en ligne sur le site <http://telerad.fgov.be>. Les données de tous les pays européens sont en outre collectées et mises à disposition via l'EURDEP : « The Radioactivity Environmental Monitoring (REM) group of the Joint Research Centre (JRC) » de la Commission européenne : <https://eurdep.jrc.ec.europa.eu/Entry/Default.aspx>. Outre les données belges, on peut également y consulter les données d'autres réseaux de mesure européens, comme les résultats du réseau national néerlandais de surveillance de la radioactivité géré par le RIVM, qui possède des stations situées juste de l'autre côté de la frontière, aux abords de KC Doel (voir aussi : <https://www.rivm.nl/nationaal-meetnet-radioactiviteit/resultaten>).

Sur la base des données continues TELERAD, la dose de rayonnement externe peut également être déterminée sur une base annuelle. Celle-ci est illustrée dans la *Figure 24*.

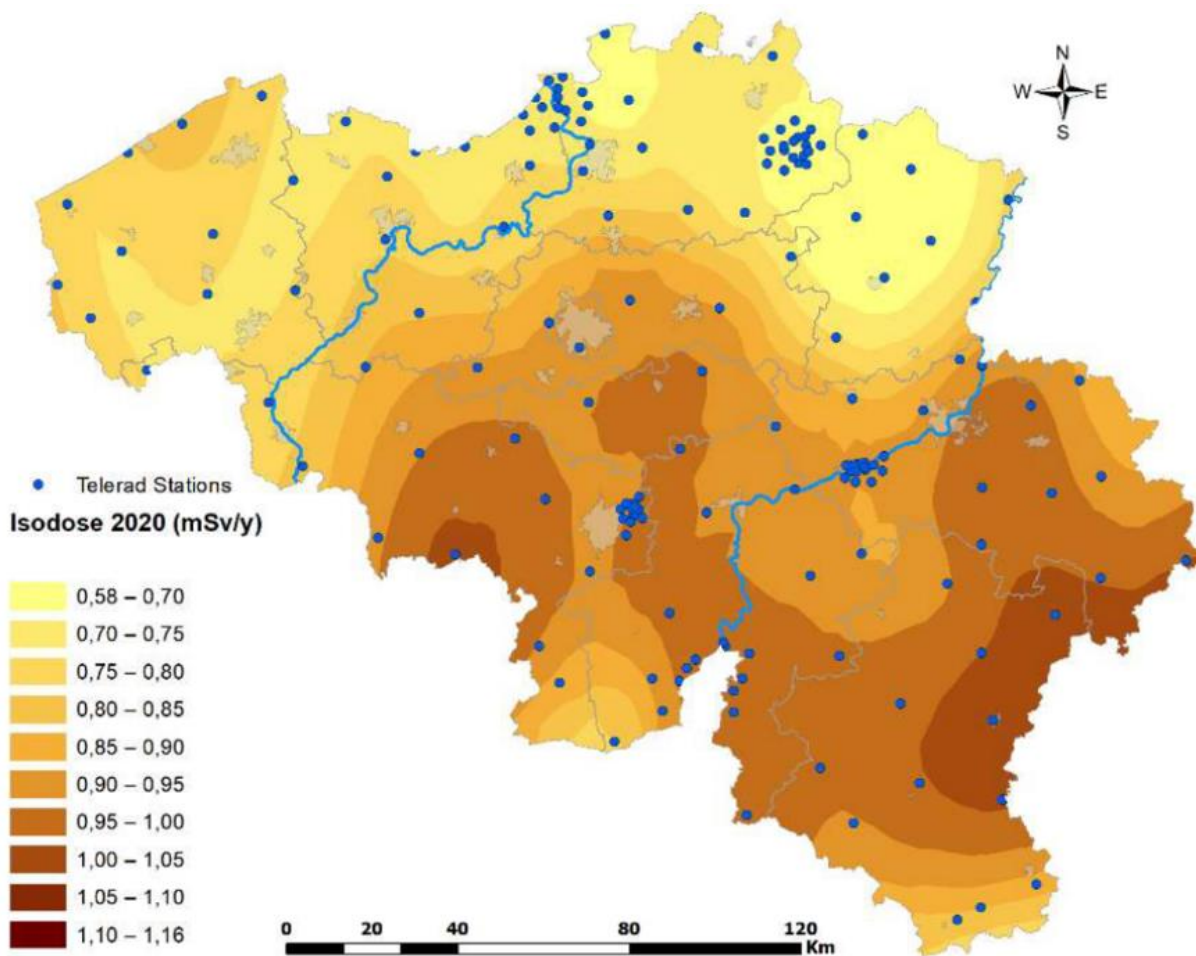


Figure 24 : La dose en mSv par an due au rayonnement externe (rayonnement cosmique et terrestre) telle que déterminée sur la base des relevés TELERAD (année 2020). Principalement en raison de la composition du sous-sol, la dose externe sur la Belgique varie considérablement sur une base annuelle, à savoir entre 0,58 et 1,16 mSv/an. Cette Figure illustre aussi très bien les différentes strates du réseau TELERAD : une densification du réseau autour des installations nucléaires avec des stations annulaires et des stations d'agglomération et, en plus, le réseau national qui couvre tout le territoire avec typiquement 1 détecteur tous les 20 km x 20 km (Figure : FANC-AFCN).

De manière discontinue : au moyen de relevés périodiques in situ (échantillonnage) qui sont ensuite analysés dans des laboratoires spécialisés. Cela permet de mesurer de très petites quantités de radioactivité.

L'ensemble assure la surveillance de la radioactivité dans l'air, les eaux de pluie, les eaux de surface et l'eau potable, dans les sols et les sédiments fluviaux, dans les zones côtières et dans les produits de la chaîne alimentaire, notamment.

Le programme de supervision comporte également deux composantes : (1) une surveillance globale de l'ensemble du territoire, en dehors des zones d'activités nucléaires, et (2) une supervision rapprochée autour des installations nucléaires. Une zone de référence spécifique a également été définie, à savoir Bruxelles. Les résultats de ces deux études sont accessibles au public, avec des rapports pour les années 1996 à 2021^{xlii}.

Outre le programme de supervision de la FANC-AFCN, Electrabel dispose également de son propre programme de supervision radiologique pour les sites de KC Doel et CN Tihange, dont la conception et les résultats sont abordés aux paragraphes respectifs de l'évaluation de l'impact environnemental de Doel 4 et Tihange 3.

En fonctionnement normal des centrales nucléaires, la surveillance de la radioactivité dans l'environnement fournit une image complémentaire à celle de la surveillance des rejets gazeux et liquides en termes d'estimation de l'impact radiologique sur l'homme et l'environnement, comme l'illustre la Figure 25.

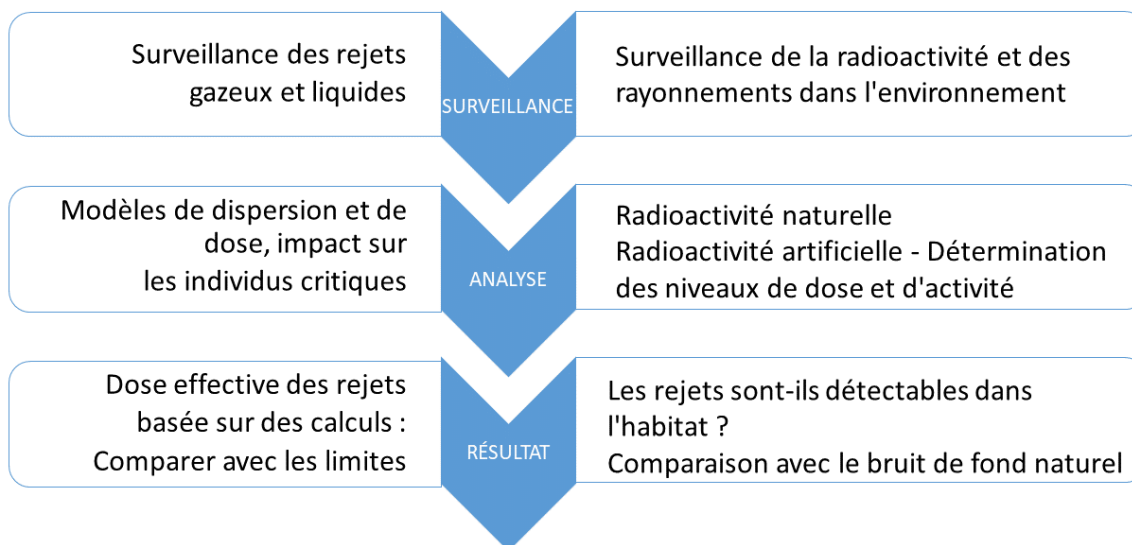


Figure 25 : L'impact sur les personnes et l'environnement de l'exploitation de KC Doel et CN Tihange est surveillé via deux voies complémentaires : surveillance des rejets et surveillance du cadre de vie.

Le programme de surveillance est également un lien important pour les incidents potentiels et les situations accidentelles, le réseau continu fournit des informations instantanées sur les niveaux accrus de rayonnement et/ou de radioactivité dans le milieu de vie. Lorsque les niveaux prédéfinis sont dépassés, des actions de réponse automatique sont déclenchées. Compte tenu de la plus grande sensibilité pour détecter de très petites quantités de radioactivité dans l'air, l'eau, le sol, les aliments, le programme discontinu peut détecter de très faibles écarts potentiels liés à l'exploitation des centrales nucléaires. Pour les situations d'urgence, ce programme de surveillance est complété par les dispositions du plan d'urgence nucléaire et radiologique pour le territoire belge (arrêté royal du 1er mars 2018).

2.3.6 Classification des déchets radioactifs et gestion de ces déchets et combustibles usés

Selon la loi du 3 juin 2014 qui transpose la directive européenne 2011/70/Euratom, les déchets radioactifs sont définis comme suit³¹:

« Déchet radioactif : une substance radioactive sous forme gazeuse, liquide ou solide pour laquelle aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée par l'État ou par une personne morale ou physique dont la décision est acceptée par l'adoption d'une Politique nationale relative à cette substance visée aux § 6 et § 7 du présent article et qui est considérée comme un déchet radioactif par l'autorité de réglementation compétente, ou si cette substance doit être considérée comme déchet radioactif sur une base légale ou réglementaire ».

Une classification appropriée des déchets radioactifs est nécessaire pour garantir que la collecte, le transport, l'entreposage et la manutention des déchets sont effectués de manière à protéger l'environnement et la santé humaine et sont conformes aux exigences légales.

Dans le cadre de la radioprotection opérationnelle des sites de centrales nucléaires, les déchets radioactifs sont classés en trois catégories en fonction du débit de dose au contact :

- Déchets de faible activité (débit de dose < 5 mSv/h) ;
- Déchets de moyenne activité (débit de dose ≥ 5 mSv/h et ≤ 2 Sv/h) ;
- Déchets de haute activité (débit de dose > 2 Sv/h).

En ce qui concerne la gestion à long terme, les déchets radioactifs sont classés en fonction de la quantité (activité) et du type de rayonnement et de la durée pendant laquelle la matière reste radioactive (demi-vie). Sur la base de ces propriétés, les déchets peuvent être classés selon le degré de confinement et d'isolement d'un système de stockage nécessaire pour assurer la sécurité à long terme, en tenant compte du danger potentiel des différents types de déchets. Cela reflète une approche graduelle pour assurer la sûreté.

En Belgique, l'ONDRAF (Organisme National belge des Déchets radioactifs et des Matières fissiles enrichies) classe les déchets radioactifs en trois catégories : A, B et C.

- **Catégorie A** : elle désigne les déchets de faible et moyenne activité, de courte durée de vie. Les déchets de faible activité contiennent de petites quantités de radioactivité. Ils résultent principalement de l'exploitation des centrales nucléaires, mais aussi du retraitement, de la recherche et de la production de radio-isotopes et de leur utilisation en médecine nucléaire et dans l'industrie. Parmi les déchets de catégorie A, on peut citer les couvre-chaussures et les vêtements, les fibres, les serpillières, les filtres, les tubes médicaux, les cotons-tiges, les aiguilles à injection, les seringues, les déchets provenant d'animaux morts (cadavres) et d'autres tissus contaminés. Il peut également s'agir de substances ignifuges et de revêtements plastiques de protection utilisés dans les opérations de maintenance, ainsi que de pièces d'équipement retirées d'une centrale.
- **Catégorie B** : elle regroupe les déchets de faible et moyenne activité, de longue durée de vie. Les déchets de moyenne activité contiennent des niveaux de radioactivité plus élevés que les déchets de faible activité et nécessitent un blindage lors de leur traitement. Ils résultent principalement de la fabrication de combustibles nucléaires, de la recherche nucléaire et du retraitement des combustibles usés. Lors du démantèlement d'un réacteur, certaines parties du réacteur sont également classées en déchets de moyenne activité.
- **Catégorie C** : elle regroupe les déchets hautement radioactifs de longue durée de vie. Ils proviennent principalement des combustibles usés déclarés comme déchets et du traitement des combustibles utilisés.

³¹ Il convient de noter que cette définition diffère légèrement de celle utilisée à l'art. 3 du RGPRI (AR du 20 juillet 2001) : « Déchets radioactifs : toutes les matières radioactives provenant d'une activité autorisée ou d'une activité professionnelle considérée en tout ou partie comme une activité non exonérée au sens de l'article 9.3, et pour lesquelles aucune autre utilisation n'est envisagée au sein de l'établissement, ainsi que les matières radioactives provenant d'une intervention effectuée en application de l'article 72bis ou d'une mesure de protection appliquée en situation d'urgence radiologique ».

Les déchets de catégorie C ont un niveau de rayonnement si élevé qu'ils produisent de la chaleur et nécessitent un blindage lourd.

2.3.7 Gestion générale des déchets radioactifs et du combustible usé

2.3.7.1 Objectif

L'objectif primordial de la gestion des déchets radioactifs est la protection de l'homme et de l'environnement, aujourd'hui et à l'avenir. La meilleure façon d'y parvenir est de concentrer, de confiner et d'isoler les déchets de l'environnement. Cela permet de limiter et de réglementer tout rejet dans l'environnement. La production de déchets radioactifs doit être évitée ou, si cela n'est pas raisonnablement réalisable, limitée en termes de quantité et d'activité.

Acteurs

Synatom

Synatom SA est une société privée dont le capital est entièrement détenu par Electrabel SA, mais dans laquelle l'État belge détient une golden share (action préférentielle) qui octroie au ministre fédéral de l'Énergie un droit de veto sur les décisions du Conseil d'Administration qui pourraient aller à l'encontre de la politique énergétique de notre pays. Après une extension en 2003, Synatom s'est fixée comme objectif de gérer les activités liées au cycle du combustible nucléaire ainsi que les provisions constituées pour le démantèlement des centrales nucléaires et pour la gestion des matières fissiles irradiées dans ces centrales nucléaires.

Exploitants

Les exploitants (Electrabel SA, EDF Luminus, Belgoprocess, IRE, hôpitaux, producteurs d'isotopes, centres de recherche tels que le SCK CEN, etc.) sont les premiers responsables des déchets radioactifs produits dans leurs installations. Ils sont responsables de la préparation et de la mise en œuvre de la stratégie générale de gestion des déchets pour leur institution, ainsi que du financement de la gestion des déchets radioactifs conformément au principe du pollueur-payeur. Electrabel SA exploite les centrales nucléaires de Doel et Tihange.

Organisation de gestion des déchets : ONDRAF

L'ONDRAF, l'Organisme national belge des Déchets radioactifs et des Matières fissiles enrichies, a été créé par l'article 179, § 2, 1°, de la loi du 8 août 1980^{xiii}. En tant qu'organisation nationale de gestion des déchets, elle est responsable^{xiv} de la gestion sûre des déchets radioactifs (quelles qu'en soient l'origine et la provenance) à court et à long terme. Belgoprocess SA est une filiale de l'ONDRAF qui exploite une série de bâtiments d'entreposage de déchets radioactifs et s'occupe également du traitement et de l'entreposage des déchets radioactifs pour les producteurs qui en font la demande.

Autorité de sécurité et régulateur : AFCN

L'AFCN, l'Agence fédérale de contrôle nucléaire, est l'autorité compétente dans le domaine de la sûreté et de la protection des applications nucléaires et a été créée par l'article 2 de la loi du 15 avril 1994^{xv}. Bel V, créé en 2007, fournit en tant que filiale de l'AFCN le soutien technique nécessaire. Les tâches de contrôle que l'AFCN peut déléguer à Bel V et leurs modalités pratiques ont été incluses dans la modification du RGPRI du 6 décembre 2018. En 2019, un accord de gestion a été signé pour concrétiser cet AR^{xvi}.

Service public fédéral Économie, PME, Classes moyennes et Énergie

Le service Applications nucléaires de la Direction générale Énergie du Service public fédéral Économie, PME, Classes moyennes et Énergie contrôle les activités de recherche nucléaire et supervise également les activités de Synatom et de l'ONDRAF, entre autres, sous la tutelle des ministres de l'Énergie et de l'Économie.

2.3.7.2 Limitation, traitement et conditionnement des déchets

La limitation de la production de déchets radioactifs est une première étape importante dans la gestion des déchets. Par conséquent, les exploitants doivent s'efforcer de concevoir, de construire, d'exploiter et de démanteler une

installation de manière à maintenir le volume des déchets et la radioactivité au minimum absolu. Les principaux éléments de la limitation des déchets comprennent :

- La réduction à la source, tant la réduction du volume que la prévention de la pollution/activation ;
- La réutilisation et le recyclage des matériaux de valeur issus du cycle des déchets ; et
- L'optimisation du traitement des déchets.

L'objectif du traitement et du conditionnement des déchets est de convertir les déchets radioactifs en un produit final solide et stable qui répond aux spécifications de stockage définitif.

Les processus de traitement et de conditionnement des déchets radioactifs sont appliqués dans les centrales nucléaires elles-mêmes (pour une partie de leurs propres déchets) ou sont centralisés sur le site de Belgoprocess à Dessel.

En fonction de la nature du flux de déchets, le traitement des déchets chez Belgoprocess est mis en œuvre comme suit^{xlvii} :

- Les déchets radioactifs liquides sont collectés dans des réservoirs et réduits à un petit volume de boue par traitement chimique ou thermique ;
- Les déchets radioactifs combustibles solides sont incinérés à une température de 900 °C ;
- Les déchets radioactifs solides non combustibles sont collectés dans des fûts en acier qui sont, si possible, comprimés à très haute pression (2000 tonnes) en un disque d'environ 25 centimètres de hauteur ;
- Les déchets non combustibles et non compressibles sont découpés et collectés dans des fûts standard.

Le résidu restant après le traitement est encapsulé dans du ciment pour retenir les particules radioactives. Après cela, tout est emballé dans des fûts en acier. Une fois que les déchets radioactifs sont traités et confinés dans un fût, on les appelle des déchets « conditionnés ».

2.3.7.3 Entreposage

Les installations de l'entreposage sont conçues pour recevoir les colis de déchets dans une installation nucléaire appropriée, avec la possibilité de les retirer de cette installation. Comme l'entreposage repose sur des éléments actifs de maintenance, de contrôle et de surveillance, il ne constitue pas une solution de gestion à long terme. Toutefois, il existe plusieurs raisons de procéder à l'entreposage *temporaire* des déchets radioactifs, notamment :

- Pour permettre la désintégration des radionucléides de courte durée de vie à un niveau où les déchets radioactifs sont exemptés de contrôle réglementaire ;
- Pour collecter et récupérer une quantité suffisante de déchets radioactifs avant leur transfert vers une autre installation de traitement/conditionnement ou de stockage ;
- Pour réduire la production de chaleur des déchets de haute activité.

En Belgique, les déchets radioactifs conditionnés sont temporairement stockés dans des bâtiments de l'entreposage blindés appropriés sur le site de Belgoprocess. Belgoprocess dispose de huit bâtiments bunker adaptés aux déchets conditionnés de faible activité, aux déchets conditionnés de moyenne activité, aux déchets vitrifiés de haute activité et aux déchets qui émettent des particules alpha.

Les déchets de haute activité sont les plus petits en volume (1,4 % de tous les déchets), mais ils représentent 98 % de la radioactivité de tous les déchets entreposés. Les déchets de haute activité sont principalement constitués de déchets vitrifiés qui ont été transportés en Belgique après retraitement en France des éléments combustibles usés des centrales nucléaires belges.

Le combustible usé n'est actuellement pas (encore) classé comme déchet. L'actuel propriétaire du combustible nucléaire, Synatom, n'a pas encore pris de décision concernant l'éventuel recyclage (partiel) de matières premières pouvant être issues du combustible usé. Il y a encore quelques années, Synatom envisageait dans son programme de référence un scénario dans lequel environ 1200 tML (correspondant à environ un quart de l'inventaire prévisionnel de combustibles usés en fin de vie des réacteurs) seraient retraités^{xlviii}. Synatom a estimé que le retraitement partiel pouvait dans un premier temps être une solution au manque de capacité d'entreposage.

Cependant, étant donné que le potentiel de valorisation de la matière fissile récupérée était trop limité³² et que des autorisations ont été récemment obtenues (2021) pour la création et l'exploitation de nouvelles installations d'entreposage à Doel et à Tihange via le projet « Spent Fuel Storage Facility » ou SF²^{xlxi}, un scénario sans retraitement semble maintenant plus probable. Dans l'attente de la décision finale, les grappes de combustible usé sont actuellement entreposées temporairement sur les sites des centrales nucléaires de Doel et de Tihange.

À Doel, l'entreposage est de type sec. Les éléments combustibles usés sont placés dans des emballages de transport-entreposage (DPC - dual purpose cask) (Figure 26) qui sont entreposés dans un bâtiment spécial sur le site de Doel. Les DPC sont des conteneurs qui peuvent être utilisés tant pour l'entreposage provisoire que pour le transport sur site et hors site. Le bâtiment actuel d'entreposage du combustible usé à Doel, le SplitsstofContainerGebouw ou SCG, a une capacité d'entreposage maximale de 165 conteneurs combustible usé de type DPC et sera saturé après 2024.

Le projet SF² fournit une capacité d'entreposage provisoire supplémentaire pour le combustible usé sur le site de production de KC Doel. Le projet SF² permet de vidanger les piscines de désactivation des tranches nucléaires après l'arrêt définitif des tranches nucléaires. La vidange des piscines est indispensable avant de pouvoir commencer le démantèlement des tranches nucléaires. Le projet SF² comprend 3 bâtiments : le bâtiment principal (SFB) où seront entreposés les conteneurs de combustible usé de type DPC, le bâtiment auxiliaire (AUX) et le bâtiment d'entreposage des équipements (ASB). La capacité maximale du SFB est de 108 conteneurs. En réalité, un maximum de 97 conteneurs sera entreposé, car 2 positions sont maintenues libres pour la manutention des conteneurs et 9 positions pour les mesures d'atténuation en cas d'accident. Electrabel SA prévoit que le nouveau bâtiment d'entreposage sera opérationnel en 2025.^{li}

L'entreposage à Tihange est actuellement de type humide. Les éléments combustibles sont entreposés dans des piscines spécialement aménagées situées dans le bâtiment d'entreposage DE sur le site de Tihange. Là aussi, la capacité de stockage serait saturée après 2022. Le projet SF² à Tihange^{lii} prévoit la construction d'une nouvelle installation d'entreposage de manière très similaire à Doel : c'est-à-dire utilisant l'entreposage sec de conteneurs de combustible usé de type DPC. À sa capacité maximale, le nouveau bâtiment d'entreposage pourra accueillir 117 conteneurs DPC. Le nouveau bâtiment d'entreposage sur le site de Tihange est actuellement en construction, avec l'intention de le mettre en service courant 2023.

³² La production d'éléments combustibles à base de matières fissiles irradiées de retraitement n'est possible qu'après une période de refroidissement de plusieurs années. Selon Areva, l'ensemble de la procédure de retraitement prendra environ 10 ans. De ce fait, le temps restant jusqu'à la fermeture du dernier réacteur est (beaucoup) trop court pour réutiliser la matière fissile issue du retraitement de l'intégralité du stock de combustible nucléaire belge dans nos centrales. À cet aspect temporel s'ajoute l'acquisition d'une nouvelle licence d'exploitation pour tout combustible MOX. Actuellement, aucun réacteur nucléaire belge ne dispose d'une telle autorisation.^{xlviii}

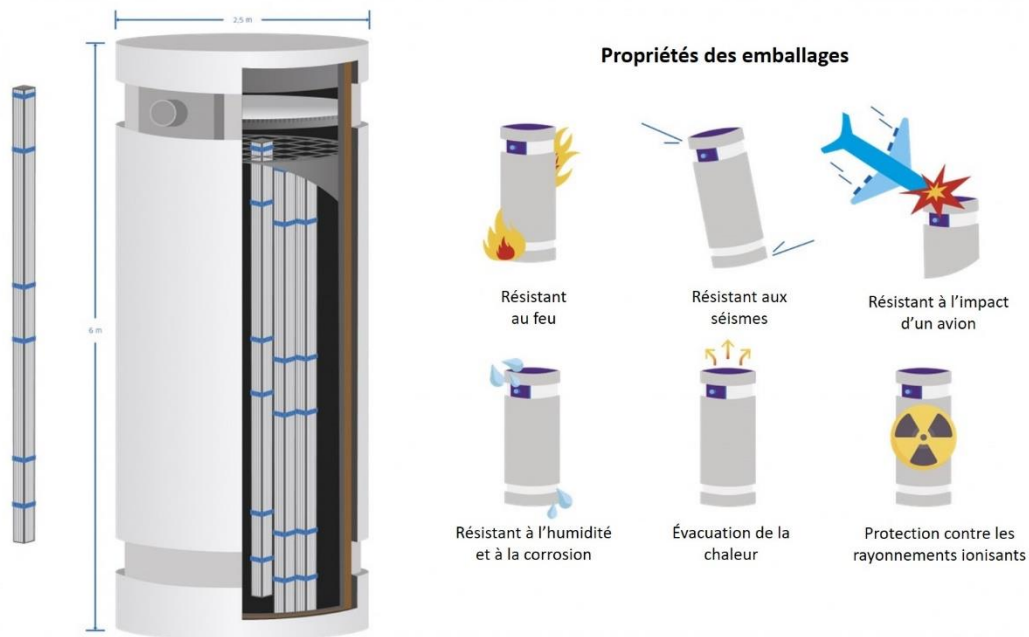


Figure 26 : Principe d'entreposage à sec des assemblages de combustible usé en emballages de transport-entreposage (DPC - dual purpose cask) tel que prévu dans les installations d'entreposage du SF² ^{liii}. L'emballage est constitué d'une structure métallique conçue de manière à ce que la chaleur résiduelle du combustible usé puisse être dissipée passivement par conduction interne, rayonnement et convection naturelle. L'emballage est fait de métal et d'autres matériaux qui offrent une protection contre les rayonnements ionisants.

Les deux nouvelles installations d'entreposage sont conçues pour fonctionner pendant 80 ans de manière à pouvoir devenir complètement indépendantes après le démantèlement des autres installations nucléaires.

2.3.7.4 Stockage

Stockage des déchets radioactifs, tel que défini dans la législation belge, désigne le placement des déchets radioactifs dans une installation sans intention de récupération, mais sans préjudice de la possibilité de procéder, le cas échéant, à leur récupération.

Le terme « stockage en surface » désigne le stockage de déchets radioactifs de faible et moyenne activité de courte durée de vie (déchets de catégorie A) dans une installation appropriée à la surface de la terre.

Le terme « stockage en profondeur » désigne le stockage de déchets radioactifs dans une installation de stockage souterraine au sein d'une formation géologique stable afin de confiner les déchets à long terme et de les isoler de la biosphère accessible. Le stockage en profondeur est considéré au niveau international comme une solution de gestion appropriée pour assurer une protection durable de l'homme et de l'environnement contre les risques liés aux déchets hautement radioactifs et/ou de longue durée de vie (déchets des catégories B et C).

Stockage de surface

La demande de permis pour l'installation de stockage en surface des déchets de catégorie A à Dessel est en cours. Par les décisions du Gouvernement fédéral du 16 janvier 1998^{liv} et du 23 juin 2006^{lv}, les déchets de catégorie A sont destinés au stockage dans une installation de stockage en surface sur le territoire de la commune de Dessel. L'objectif du stockage en surface à Dessel est de stocker en toute sécurité tous les déchets de catégorie A actuels et prévus en Belgique dans une installation de stockage en surface composée de 34 unités de stockage (modules en béton). La capacité volumétrique totale de l'installation de stockage s'élève à 163 200 m³ (4800 m³ par module) de volume de stockage de déchets. Ce volume de stockage, correspondant aux dimensions extérieures des caissons

(caisses en béton) qui, une fois remplis de déchets et de mortier de remplissage, sont appelés monolithes, permet de stocker un volume de stockage de 70 500 m³ de déchets de catégorie A.

Il existe 3 types de caissons dans lesquels les déchets seront placés et immobilisés (Figure 27) :

- Les caissons de type I peuvent contenir 4 fûts de 400L ou 5 fûts de 220L de déchets conditionnés ;
- Les caissons de type II (nombre limité) sont utilisés pour les emballages non standards avec généralement un volume plus important ; et
- Les caissons de type III sont prévus pour l'introduction directe de déchets radioactifs bruts et/ou traités (déchets en vrac). Les déchets sont placés dans un panier intérieur, pour protéger l'intérieur du caisson des chocs lors du chargement et favoriser la présence de mortier de remplissage entre les parois intérieures du caisson et les déchets.



Figure 27 : Illustrations des trois types de caissons^{vi} à déchets : type I (gauche), type II (milieu) et type III (droite). Après mise en place du couvercle et remplissage de l'espace entre les déchets et le caisson par du mortier, ces colis sont appelés « monolithes ».

Les monolithes sont transportés sur un chariot vers les modules. Les monolithes sont positionnés et empilés dans les modules au moyen d'un pont roulant avec un grappin conçu à cet effet. Les modules sont remplis par couches de 12 × 13 monolithes (Figure 28). Un module peut contenir 936 monolithes de type I en 6 couches, ou 780 monolithes de type II ou III en 5 couches.

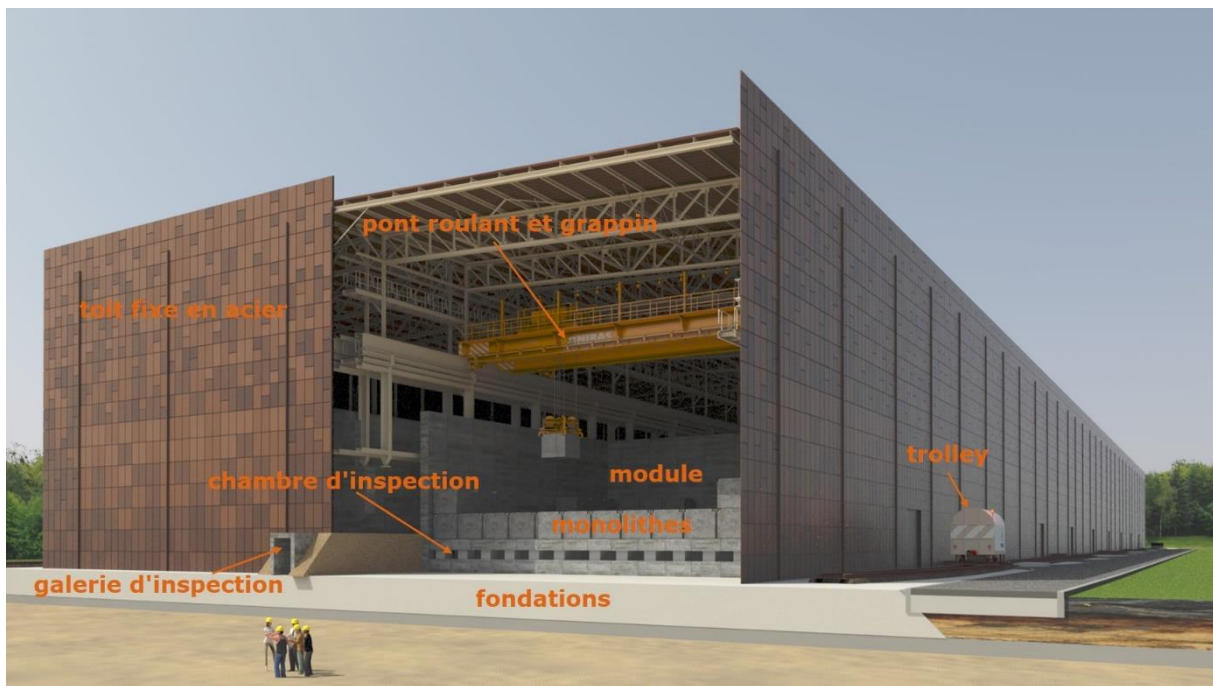


Figure 28 : Schéma de l'installation de stockage des déchets de catégorie A lors du remblayage avec des monolithes^{lvii}.

La quantité exacte de déchets qui seront stockés dépend entre autres de la production future de déchets d'exploitation et de démantèlement et sera également limitée par la capacité radiologique du stockage³³.

Stockage en profondeur

Le stockage en profondeur doit être compris comme le placement de déchets radioactifs dans une installation de stockage à une profondeur appropriée dans une formation géologique appropriée afin de protéger la population et l'environnement contre les risques radiologiques et physico-chimiques associés à ces déchets. Le stockage en profondeur est proposé comme solution de référence pour les déchets des catégories B et C, c'est-à-dire les déchets hautement radioactifs et les déchets de faible et moyenne activité à vie longue, y compris les combustibles usés classés comme déchets.

En septembre 2020, l'ONDRAF a déposé un projet d'arrêté royal établissant la première partie de la politique nationale relative à la gestion à long terme des déchets hautement radioactifs et/ou à longue durée de vie³⁴, et précisant le processus par étapes pour établir les autres parties de cette politique nationale, à l'attention de ses ministres de tutelle^{lviii}. En résumé, la proposition revient à ce qui suit :

1. Le stockage en profondeur sur le territoire belge en un ou plusieurs lieu(x) est conceptuellement le choix scientifique, technologique et sociétal recommandé comme destination finale pour ces catégories de déchets. Le choix du stockage en profondeur est conforme aux normes et recommandations

³³ L'impact à long terme du stockage, et son acceptabilité, sont fortement dépendants du terme source radiologique considéré. Des restrictions sont imposées sur les radionucléides qui déterminent le plus fortement l'impact, sur la base du principe de base de la limitation de la teneur en activité des radionucléides à vie longue.

³⁴ Notez qu'une politique spécifique sera élaborée pour la fraction la plus radioactive des déchets radifères provenant des activités historiques de production de radium à Olen.

internationales, à la directive 2011/70/Euratom, au consensus scientifique mondial et aux recommandations de l'AFCN.

2. Les parties suivantes de la politique nationale sont préparées, élaborées et, si nécessaire, adaptées dans le cadre d'un processus décisionnel par étapes, participatif, progressif et réversible destiné à préparer les décisions futures ; ces parties comprennent au moins le processus décisionnel, les modalités de réversibilité, de récupérabilité et de surveillance pendant une période à déterminer et le(s) lieu(x) où le stockage en profondeur est réalisé.
3. Pour évaluer les variantes, les alternatives et l'optimisation du stockage géologique, d'une part, un suivi continu des évolutions scientifiques, techniques, financières et sociétales au niveau international et national et, d'autre part³⁵, et une évaluation de la possibilité de développer une installation conjointe de stockage en Belgique ou dans un autre pays.

Récemment, le 22 novembre 2022, un arrêté royal a été publié qui établit la première partie de la politique nationale sur la gestion à long terme des déchets hautement radioactifs et/ou à longue durée de vie en Belgique. Il ratifie donc la décision de principe d'un stockage en profondeur sur le territoire belge et pose les bases pour préciser ultérieurement et dans un cadre clair les modalités de mise en œuvre. Cela se fera progressivement à travers un processus décisionnel participatif, transparent et par étapes (partie 2), qui conduira au choix d'un ou plusieurs sites de mise en œuvre (partie 3).

Au niveau mondial, les sites de stockage géologique dans des formations géologiques stables sont considérés comme la destination finale la plus appropriée pour ce type de déchets. Les formations les plus étudiées dans ce contexte sont les formations granitiques (ex. pays scandinaves), salines (ex. USA, Allemagne, Pays-Bas), et argileuses (ex. France, Suisse, Canada, Pays-Bas). Toujours en Belgique, l'ONDRAF étudie les couches argileuses peu indurées³⁶ comme formation hôte pour le stockage en profondeur. L'argile de Boom³⁷ est notamment étudiée dans ce contexte depuis les années 1970. Au début des années 1980, un laboratoire souterrain (HADES) a été construit dans l'argile de Boom à 223 m de profondeur sous le site nucléaire de Mol, pour démontrer la faisabilité de la construction du stockage et mener diverses expérimentations *in situ* à une échelle pertinente. En tant que formation hôte alternative, l'ONDRAF étudie également l'adéquation des argiles yprésiennes³⁸, qui situent encore plus en profondeur. La province néerlandaise du Brabant, en particulier, fait pression pour étudier cette possibilité, en raison de l'isolement supplémentaire et du manque d'eau souterraine douce à cette profondeur. L'ONDRAF prépare actuellement un dossier *méthodologique* de sûreté et de faisabilité d'un stockage géologique prévu pour 2025. Ce dossier portera sur un stockage à différentes profondeurs comprises entre 200 et 600 mètres dans de l'argile peu indurée (non précisée).

Des concepts de stockage ont été développés pour tous les déchets de types B et C, basés sur des emballages en béton assurant un blindage suffisant pour permettre les opérations souterraines (Figure 29). De tels emballages ont également été développés pour les combustibles usés qui ne seraient pas retraités (Figure 30).

³⁵ L'ONDRAF assurera un suivi particulier des évolutions en matière de stockage en forages profonds et de technologies nucléaires avancées.

³⁶ L'argile peu indurée fait référence aux argiles n'ayant pas été compactées au point de perdre leur plasticité. La plasticité assure un grand pouvoir d'auto-étanchéité.

³⁷ L'argile de Boom est une formation tertiaire appartenant au groupe de Rupel, formée au début de l'Oligocène (il y a 33,9 à 28,4 millions d'années). Elle est constituée d'une alternance de couches de limon argileux et d'argile limoneuse, avec une forte teneur en pyrite et glauconite dans les couches limoneuses.

³⁸ L'argile yprésienne fait référence à l'argile de la Formation de Courtrai, formée au début de l'Éocène (il y a environ 52 millions d'années). Elle est caractérisée par des intercalations limoneuses, parfois sableuses, qui deviennent plus importantes vers l'est.

Pour les déchets hautement radioactifs (déchets dégageant de la chaleur de catégorie C), ces emballages sont appelés « superconteneurs ». Ils sont essentiellement constitués d'un suremballage en acier au carbone qui est placé dans un tampon préfabriqué en béton. L'environnement à pH élevé dans le béton provoque une passivation de l'acier au carbone pouvant motiver un temps de confinement très long, lequel doit inclure au moins la phase thermique³⁹. Un superconteneur peut contenir soit 2 canisters standards CSD-V de déchets vitrifiés (Figure 29 à gauche), soit 4 grappes de combustible UOX ou 1 grappe de combustible MOX (Figure 30). Le dégagement de chaleur plus élevé dans le cas du combustible MOX (et la tolérance à la chaleur relativement faible de l'argile en tant que formation hôte) signifie que sa densité de stockage est limitée.

Pour les déchets de catégorie B, tels que les déchets de retraitement existants dans des canisters standards CSD-C constitués de gaines et d'embouts et d'autres déchets technologiques, et les fûts de déchets historiques bitumés, différents types de « monolithes » sont utilisés en conséquence. Ce sont aussi des emballages en béton dans lesquels sont placés les canisters ou fûts et les espaces vides sont remplis de mortier (Figure 29 à droite).

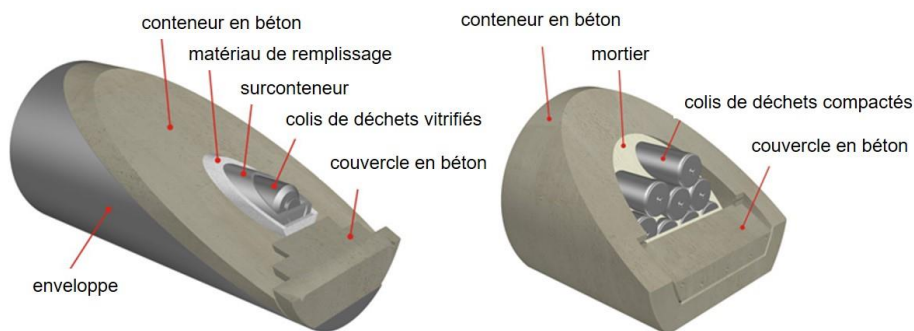


Figure 29 : Superconteneur pour déchets vitrifiés (gauche)^{lix} et monolithe-B pour déchets compactés (droite)^{lx}.

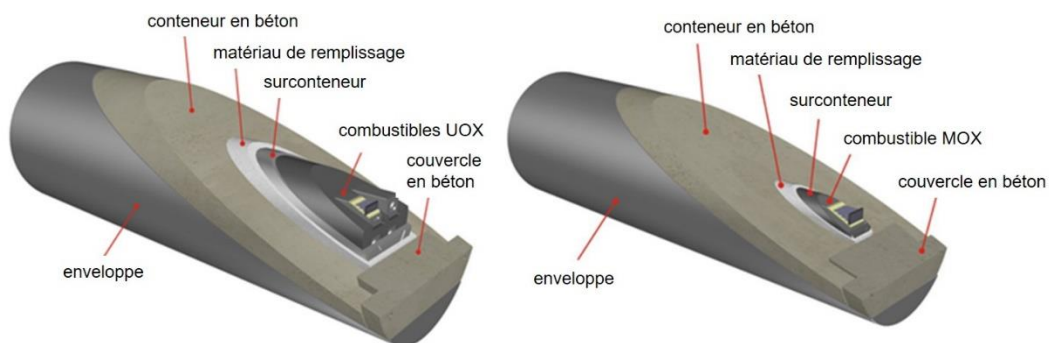


Figure 30 : Superconteneurs pour le combustible usé si considéré comme un déchet : un superconteneur peut contenir 4 grappes de combustible UOX (à gauche) ou 1 grappe de combustible MOX (à droite)^{lix}.

³⁹ En termes simples, la phase thermique est la période pendant laquelle la formation hôte est nettement plus chaude que la normale en raison de la chaleur de décroissance générée par les déchets. Pour les déchets vitrifiés (existants), c'est de l'ordre de 800 ans, pour les combustibles usés, c'est de l'ordre de plusieurs milliers d'années.

a nature et les quantités de déchets B et C à gérer/stocker dépendent finalement des choix qui restent à faire dans le cadre du cycle du combustible nucléaire belge.

2.3.8 Méthodologie générale relative aux déchets radioactifs et combustible usé

2.3.8.1 Déchets radioactifs opérationnels et combustibles usés

Pour la partie relative aux déchets radioactifs et matières fissiles, les effets possibles du report de la désactivation de Doel 4 et Tihange 3 par rapport au scénario de référence sont budgétisés en tant que quantités cumulées accumulées au cours de la prolongation décennale d'exploitation sur la période de 2025 -2037. Les effets de ces quantités supplémentaires de déchets et de matières fissiles sont évalués à la lumière des mesures de gestion examinées au § 2.3.7.

2.3.8.2 Démantèlement

En ce qui concerne le démantèlement, la prolongation de la durée de vie des réacteurs Doel 4 et Tihange 3 peut entraîner une différence dans l'activation totale des composants, comme l'acier de cuve. Il n'est pas exclu qu'un glissement se produise dans la répartition volumique des déchets de catégories A et B issus du démantèlement. Cette situation est étudiée et testée sur la base de calculs d'activation.

Partie II. Évaluation de l'impact environnemental du report de la désactivation de la centrale nucléaire de Doel 4

3 Effets non radiologiques Doel 4

3.1 Généralités

La structure suivante est utilisée pour la description et l'évaluation de l'impact des différentes disciplines dans ce chapitre :

Objectifs politiques pertinents

Une description des différents objectifs politiques qui seront évalués. La source de ces objectifs est constituée par les différents documents politiques pertinents. Il s'agit d'objectifs de haut niveau.

Effets pertinents et relations de cause à effet

Une description des effets qui sont pertinents afin de pouvoir se prononcer sur la mesure dans laquelle le Projet contribue ou non à la réalisation des objectifs politiques et sur la relation de cause à effet avec le Projet.

Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence

En principe, le point de départ est la situation en 2025, année au cours de laquelle la décision de prolongation de l'exploitation de Doel 4 entrera en vigueur. Nous décrivons également ici tout développement (autonome ou contrôlé) susceptible d'avoir en 2025 (fondamentalement) modifié la situation actuelle de 2023, ainsi que tout développement qui influence l'évolution de la situation de référence au cours de la période de prolongation. Si de tels développements se produisent, nous les prenons en compte dans la description des impacts (scénario de développement ou deuxième situation de référence).

Description des effets

Nous décrivons ici les impacts qui sont pertinents pour l'évaluation dans l'étape suivante. Lorsque cela est possible et pertinent, nous donnons également une indication des effets cumulés sur les dix ans (par exemple, les émissions cumulées ; éventuellement en tenant compte des fluctuations annuelles des émissions).

Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques

C'est là que l'on évalue (à travers les impacts) dans quelle mesure la réalisation des différents objectifs politiques est ou n'est pas soutenue par les impacts.

3.2 Discipline Eau

3.2.1 Objectifs politiques pertinents

Pour la discipline Eau, qui est une compétence régionale pour les effets non radiologiques sur le système hydrologique, les ambitions politiques flamandes pour la période de référence considérée dans la présente EIE pour la prolongation de l'exploitation de Doel 4 sont les ambitions politiques flamandes telles que formulées dans les documents de Vizier 2030 et Vision 2050, les dispositions de la directive-cadre de l'UE sur l'Eau (DCE) qui ont été transposées dans le Décret Politique Intégrée de l'Eau et le Code de l'Eau, la Note de politique de l'Eau 2020-2025 et, dans une moindre mesure, le Blue Deal (2020), les plans de gestion des districts hydrographiques et l'avis Weerbaar Waterland qui sont également pertinents.

Ambitions politiques flamandes Vizier 2030 et Vision 2050

Pour les ambitions politiques dans le domaine de l'eau à l'horizon 2030, on peut faire référence en premier lieu à **Vizier 2030**⁴⁰, le plan du Gouvernement flamand qui doit veiller à ce que la Flandre apporte sa contribution à la réalisation des Objectifs de Développement durable (ODD) de l'Agenda mondial 2030 des Nations Unies. L'accent est mis sur les objectifs sur lesquels la Flandre a un impact. Les objectifs de Vizier 2030 sont également une étape intermédiaire vers la réalisation des objectifs de Vision 2050 (voir ci-dessous), le plan d'avenir pour la Flandre en 2050. Vizier 2030 comprend 53 objectifs et 111 indicateurs. Les plus pertinents pour la discipline Eau sont :

- Objectif 44 : d'ici 2030, la pollution de l'eau aura encore été réduite et l'hydromorphologie aura été restaurée afin d'atteindre un bon état dans la plupart des cours d'eau et des nappes phréatiques flamandes, comme une étape cruciale vers un système hydrologique robuste et comme une contribution à la protection du milieu marin avec comme indicateurs l'état écologique des systèmes flamands d'eaux de surface et les systèmes d'eaux souterraines en bon état (qualitatif et quantitatif) ;
- Objectif 45 : d'ici 2030, l'approvisionnement en eau est sécurisé d'une part en protégeant les ressources en eau de surface et en eau souterraine et en fournissant un espace et un stockage adéquats pour l'eau, et d'autre part en évitant le gaspillage, en maximisant l'utilisation de sources d'eau alternatives et en encourageant la réutilisation de l'eau, avec les niveaux des eaux souterraines comme indicateur.

Les objectifs 2030 des différents plans sectoriels de politique à long terme ont été intégrés dans Vizier 2030 ; en ce qui concerne la discipline Eau, il s'agit de la note politique sur l'eau qui est détaillée dans les plans de gestion des districts hydrographiques et des instruments tels que le Blue Deal (voir ci-dessous). La réalisation des objectifs Vizier 2030 est une étape intermédiaire vers la Flandre que le Gouvernement flamand souhaite atteindre en 2050. La **Vision 2050**⁴¹ vise à créer la prospérité et le bien-être de manière intelligente, innovante et durable d'une manière sociale et ouverte, une Flandre résiliente et internationale, dans laquelle chacun compte.

La Vision 2050 indique que la plupart des mégatendances sont déjà visibles à long terme : la croissance de la population (mondiale), l'urbanisation, le vieillissement, le changement climatique, la demande croissante d'énergie et d'eau, la numérisation, la société diversifiée et individualisée, l'inégalité en termes de bien-être et de richesse, etc. Ces thèmes déterminent d'ores et déjà le débat politique et sociétal des années à venir. La vision de l'avenir révèle une région connectée à l'échelle mondiale qui utilise intelligemment les matériaux et qui assure la prospérité et le bien-être avec beaucoup moins de matières premières et de matériaux qu'aujourd'hui. La Flandre disposera alors d'un système énergétique bas carbone, durable, fiable et abordable et d'un système hydrologique robuste capable d'absorber les chocs (climatiques).

Ce système hydrologique robuste en 2050 protège les écosystèmes tout en offrant de nombreuses fonctions et services. Le système hydrologique protège contre les inondations, assure le stockage de l'eau, l'eau potable, l'eau de traitement et l'eau de refroidissement. Il assure l'irrigation et le drainage. Il offre des possibilités de loisirs et d'expériences à vivre, ainsi que des liaisons pour le transport de marchandises et la mobilité douce. À cette fin, la Flandre s'appuie sur une combinaison de technologies intelligentes, d'infrastructures robustes et d'un espace suffisant. Ainsi, l'objectif de développement durable 6 : « Garantir la disponibilité et la gestion durable de l'eau et de l'assainissement pour tous » est atteint. La base du système hydrologique est une bonne qualité de l'eau, car cela permet de maîtriser les risques et les coûts, tant pour l'approvisionnement en eau (eau potable, agriculture, industrie...) qu'en cas d'inondation. Une bonne qualité de l'eau offre également plus d'opportunités pour les loisirs et le tourisme et fait partie de la qualité de l'environnement. La pollution sera donc évitée autant que possible grâce à l'utilisation de circuits fermés et à l'utilisation de matériaux et de méthodes de production respectueux de l'environnement. En 2050, l'infrastructure d'assainissement aura été agrandie et des mesures auront été prises pour sa conception ciblée et sa gestion efficace.

⁴⁰ Vlaamse Regering (2019) VIZIER 2030. Een 2030-doelstellingenkader voor Vlaanderen, VR 2019 0802 DOC.0130/2, 19 p.

⁴¹ Vlaamse Regering (2016) Visie 2050. Een langetermijnstrategie voor Vlaanderen, 105 p.

Un défi est que la demande mondiale générale en eau augmentera de 55 % au cours de la période 2015 – 2050. Le risque de pénurie d'eau augmente également en Flandre, car le changement climatique réduit les précipitations en été et davantage d'eau s'évapore en raison de la hausse des températures. La quantité d'eau disponible par personne est d'ores et déjà faible par rapport à d'autres pays, ce qui entraîne une dépendance partielle vis-à-vis d'autres régions. Le sentiment d'urgence pour l'approvisionnement en eau, comme pour les inondations (et la pollution de l'eau), est encore balbutiant en Flandre (cf, des initiatives telles que le Plan d'action contre la sécheresse et les inondations⁴², le Blue Deal et récemment le conseil « Weerbaar Waterland » (voir ci-dessous). Éviter le gaspillage structurel, économiser l'eau en période d'abondance et protéger les réserves d'eau souterraine ne sont pas encore un réflexe automatique à l'heure actuelle. Un problème spécifique est que l'espace disponible en Flandre est limité et déjà occupé. Cet espace limité est également nécessaire tant pour assurer un approvisionnement en eau salubre que pour maîtriser le risque croissant d'inondation lié au changement climatique. Les solutions doivent être encore plus spécifiques et surtout développées plus rapidement.

Directive-cadre sur l'Eau, Décret Politique Intégrée de l'Eau et Code de l'Eau

La **directive-cadre européenne sur l'Eau** (DCE) (2000/60/CE) est à la base de la protection et de la gestion des eaux de surface (terrestres), des eaux de transition, des eaux côtières et des eaux souterraines. L'objectif est de protéger la qualité de ces eaux et des écosystèmes associés et de les restaurer si nécessaire. Ce faisant, il vise à réduire et à prévenir la pollution des masses d'eau, à promouvoir une utilisation durable de l'eau et à limiter les effets des inondations et des sécheresses. La DCE est complétée par d'autres législations qui traitent d'aspects spécifiques de la politique de l'eau, par exemple dans les zones protégées⁴³. La directive a deux sous-directives : la directive Eaux souterraines et la directive Substances prioritaires. Ces directives établissent des normes pour les eaux souterraines et les eaux de surface.

La directive Inondations (directive 2007/60/CE) devrait permettre aux États membres d'être mieux à même d'estimer le risque d'inondation et de prendre des mesures pour limiter les dommages. La directive s'appuie sur les structures et les plans de la directive-cadre sur l'Eau. La directive-cadre sur l'eau et la directive Inondations ont été transposées en Flandre dans le **décret sur la Politique intégrée de l'Eau**⁴⁴ et coordonnées dans le « Code de l'Eau », qui constitue le cadre juridique de la gestion intégrée de l'eau en Flandre. La directive-cadre sur l'Eau vise à atteindre le « bon état » des systèmes hydrologiques désignés (masses d'eaux de surface et d'eaux souterraines) d'ici 2027. L'élaboration pratique de la DCE est basée sur des plans de gestion des districts hydrographiques et des programmes de mesures.

Note de politique de l'eau 2020-2025 (Waterbeleidsnota 2020-2025)

La Flandre a pour la période 2020-2025 formulé trois objectifs stratégiques et six lignes d'action principales pour sa politique de l'eau :

- Viser le bon état des masses d'eau⁴⁵ :

⁴² Le plan d'action contre la sécheresse et les inondations (2019-2021) était un plan d'action à court terme, en complément des deuxièmes plans de gestion des districts hydrographiques 2016-2021 et en préparation des troisièmes plans de gestion des districts hydrographiques 2022-2027.

⁴³ La DCE fixe des exigences supplémentaires pour les zones protégées telles que les zones d'extraction d'eau potable, les eaux de baignade, les zones sensibles aux nutriments et les zones Natura 2000. La directive fait référence à des réglementations spécifiques, telles que les directives Oiseaux et Habitats, la directive Nitrates et la directive Traitement des eaux urbaines résiduaires. Certaines parties de la zone portuaire appartiennent à la zone de la directive Oiseaux, l'Escaut est une zone de la directive Habitats (voir aussi la discipline Biodiversité).

⁴⁴ Décret du 18 juillet 2003 relatif à la politique intégrée de l'eau, coordonné au 15 juin 2018.

⁴⁵ En pratique, cela revient à une évaluation au regard de la directive-cadre sur l'eau (directive-cadre sur l'Eau - DCE).

- En continuant à améliorer la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. Cela peut se faire en travaillant par étapes au bon état des eaux (avec la formulation d'objectifs intermédiaires adaptés pour les masses d'eau pour lesquelles la distance à parcourir par rapport à l'objectif est encore importante), en continuant à s'attaquer au problème des nutriments, à la restauration écologique des cours d'eau et des zones riveraines, en élaborant des solutions concrètes pour les (nouvelles) substances dangereuses, en orientant la politique de l'eau vers les interactions au sein du système hydrologique et avec les autres compartiments environnementaux, et en protégeant les sources d'eau brute pour la production d'eau potable de manière spécifique à chaque zone.
- En gérant la chaîne de l'eau de manière durable. Cela peut se faire en se concentrant sur l'extension et l'optimisation de l'infrastructure d'assainissement là où c'est nécessaire, sur l'entretien de l'infrastructure d'assainissement en vue d'un fonctionnement efficace et efficient, sur l'optimisation et l'entretien du réseau d'eau potable, sur le maintien des obligations d'évacuation des eaux privées et sur la limitation de l'impact des rejets d'eaux usées industrielles.
- Viser la gestion des risques de sécheresse et la sécurité de l'eau multicouche (prévention, protection, préparation) :
 - En réduisant les risques d'inondation de manière durable, démarche dans le cadre de laquelle les effets du changement climatique sont aussi bien amortis que possible, sensibiliser les citoyens et les secteurs aux risques d'inondation et les encourager à agir, limiter les dommages causés par les inondations, redonner à l'eau l'espace dont elle a besoin et réduire le ruissellement de surface des eaux et des sédiments.
 - En limitant la rareté de l'eau et en minimisant les effets de la sécheresse. Cela peut se faire en atténuant autant que possible les effets du changement climatique, en stimulant une utilisation de l'eau avec parcimonie, en augmentant la disponibilité de l'eau, en distribuant l'eau de manière aussi optimale que possible en cas de pénurie d'eau et de sécheresse afin de limiter les dégâts, et en assurant un approvisionnement durable en eau.
- Renforcer l'innovation, le financement, la coopération et l'alignement avec d'autres domaines politiques :
 - En développant davantage le travail et le fonctionnement des partenaires dans tous les domaines politiques et en investissant dans l'innovation. Cela est possible en se concentrant sur une meilleure coordination entre la politique de l'eau et la politique adjacente, en donnant à l'eau un rôle prépondérant en tant qu'élément structurant qui codétermine les processus axés sur la zone, en renforçant le fonctionnement axé sur la zone autour de l'eau, en impliquant davantage les parties prenantes afin de contribuer à la réalisation des objectifs de la politique intégrée de l'eau et en faisant de la Flandre un terrain d'essai pour l'innovation dans la gestion intégrée de l'eau.
 - En évoluant vers un financement équilibré de la politique et de la gestion de l'eau. À cette fin, les flux de financement sont réorientés, renforcés et élargis en fonction de la réalisation des objectifs environnementaux, le caractère abordable des mesures est évalué et les principes du « pollueur-payeur » et de la récupération des coûts sont appliqués de manière plus cohérente.

Blue Deal (2020)

En 2020, le Gouvernement flamand a approuvé le « **Blue Deal** » pour accroître les efforts dans la lutte contre la sécheresse et la pénurie d'eau. En réponse au changement climatique et à un soutien accru de l'opinion publique, le Gouvernement flamand a choisi de s'attaquer au problème de la sécheresse de manière structurelle, en utilisant davantage de ressources et d'instruments appropriés, en impliquant l'industrie et les agriculteurs dans la solution et avec un rôle d'exemplarité pour les autorités flamandes et autres.

Le Blue Deal se concentre sur six pistes :

- Les administrations publiques donnent le bon exemple et assurent une réglementation appropriée ;

- L'utilisation circulaire de l'eau est la règle ;
- L'agriculture et la nature comme partie de la solution ;
- Sensibiliser et encourager les particuliers à l'adoucissement ;
- Augmenter la sécurité de l'approvisionnement (lié à l'eau) ;
- Investir ensemble dans l'innovation pour rendre notre système d'eau plus intelligent, plus robuste et plus durable.

Avec le Blue Deal, la Flandre prend des mesures concrètes pour moins de revêtement, plus de réhumidification et une utilisation circulaire maximale de l'eau. Les mesures du Blue Deal constituent la base du chapitre « Minimiser les risques de pénurie d'eau et d'inondation » du Plan flamand d'adaptation au climat 2021-2030. L'accord (deal) constitue également la pierre angulaire du plan de gestion de la rareté de l'eau et des risques de sécheresse, qui fait partie des plans de gestion des districts hydrographiques 2022-2027.

Le Blue Deal se concentre sur un test intégré d'eau et de sécheresse. Outre les inondations, l'accent doit donc également être mis sur la qualité structurelle des cours d'eau, la sécheresse, la perception de l'eau, etc. Un bon test de l'eau tient compte des réglementations les plus actuelles, y compris le Règlement sur les eaux pluviales (récemment révisé) et d'autres dispositions relatives à l'eau dans le VLAREM.

Weerbaar Waterland

Après les récents problèmes d'inondations en Wallonie et le long de la Meuse et du Démer, le Gouvernement flamand a nommé en octobre 2021 un groupe d'experts multidisciplinaire pour la protection contre les inondations, qui a émis un avis motivé en juillet 2022 pour mieux protéger la Flandre contre les crues et pour définir le niveau souhaité de la protection contre les inondations. Dans l'**avis « Weerbaar Waterland »**, la stratégie adaptée pour la sûreté en eau (= sécurité de l'eau et disponibilité de l'eau) en Flandre a été affinée.

Le niveau souhaité de sécurité de l'eau ne peut être atteint en Flandre que si le fonctionnement naturel du système hydrologique dans chaque paysage en amont et dans chaque vallée est reconstruit. Si l'eau ne dispose pas de l'espace dont elle a besoin, elle créera elle-même cet espace, ce qui entraînera des inondations. Cet espace pour l'eau doit être présent partout en Flandre, pas seulement dans les vallées. Pour y parvenir, quatre cours d'eau sont proposés : les fleuves à marées, les cours d'eau, les marais et les villes et villages. Non seulement les dégâts causés par les précipitations exceptionnelles sont notamment limités (sécurité de l'eau), mais des efforts sont également faits pour reconstituer les ressources en eau pour faire face aux périodes de sécheresse (disponibilité en eau).

Les principaux messages de l'avis sont clairs : créer des plaines inondables plus naturelles, travailler sur une politique d'adoucissement de grande envergure, prévoir des financements structurels et surtout agir immédiatement. Pour garantir une mise en œuvre rapide et décisive, la nomination d'un commissaire à l'eau est recommandée. L'avis traduit la stratégie pour la sûreté en eau en dix actions connexes et un plan d'action. L'avis Weerbaar Waterland est le début d'une approche systémique réévaluée de la gestion des risques d'inondation et de la sûreté en eau en Flandre.

Plans de gestion du district hydrographique

Le troisième **plan de gestion du district hydrographique de l'Escaut (2022-2027)** traduit la politique de l'eau plus concrètement dans des zones spécifiques en Flandre. Les plans comprennent des mesures et des actions visant à améliorer les eaux souterraines et de surface et à assurer une protection contre les inondations et la sécheresse. Ce plan s'appuie sur le plan précédent pour la période 2016-2021.

La centrale nucléaire de Doel est située dans le bassin de l'Escaut, plus précisément dans le bassin inférieur de l'Escaut. Sur la base de la qualité actuelle de l'eau et de l'écart par rapport aux objectifs imposés par la directive-cadre de l'Eau, un certain nombre de zones d'intérêt ont été désignées dans le bassin inférieur de l'Escaut, où un bon état des eaux doit être atteint d'ici 2027. En outre, un certain nombre de zones d'intérêt ont été identifiées, dont l'Escaut maritime et la zone « Scheldehaven ». Les zones d'intérêt sont des zones comportant des masses d'eau de surface pour lesquelles un bon état écologique d'ici 2033 est considéré comme faisable (classe 4) ou pour lesquelles une amélioration significative de la qualité de l'eau peut être obtenue (classe 5) à condition que les actions

incluses dans l'actuel troisième et (suivant) quatrième plans de gestion des districts hydrographiques soient mises en œuvre.

Le programme d'action pour l'Escaut maritime, qui, avec la zone portuaire de l'Escaut, comprend une zone d'intérêt de classe 5, inclut comme action spécifique à la zone « la poursuite de la mise en œuvre du plan Sigma dans le bassin inférieur de l'Escaut le long de l'Escaut ». Pour la zone portuaire de l'Escaut, un certain nombre d'actions ont également été définies dans la zone portuaire, au niveau des quais et dans la zone portuaire elle-même. Pour obtenir un bon état dans cette zone d'intérêt, des actions génériques sont également nécessaires de la part des secteurs de l'agriculture, des ménages et des entreprises. Les actions visant à développer et à optimiser l'assainissement des eaux usées font partie des actions génériques ainsi que des plans de zonage et de mise en œuvre à l'échelle de la zone.

Sur la base des plans et des objectifs politiques décrits ci-dessus, on peut pour le système d'eau et donc les motifs d'évaluation utiliser les objectifs suivants d'évaluation du projet de maintien ouvert de Doel 4 pendant 10 ans de plus :

- Maintenir et atteindre un bon état des eaux de surface et éviter leur détérioration ;
- (Maintenir et atteindre un bon état des eaux souterraines et éviter leur détérioration) ;
- Viser la gestion durable de la chaîne de l'eau ;
- Limiter les risques d'inondation et éviter la sécheresse ;
- Viser l'approvisionnement durable en eau.

Comme indiqué ci-dessus (scoping, voir § 2.2.1.3), sur la base de l'analyse des interventions associées aux opérations LTO au cours de la période 2015 - 2020 et de l'absence d'impact supplémentaire de la centrale sur le système des eaux souterraines (comme décrit dans les rapports de l'impact environnemental réalisés précédemment), l'impact sur les eaux souterraines est hors scoping.

L'état initial des eaux souterraines dans la zone de la centrale nucléaire a été perturbé avant la construction et la mise en service initiale des centrales de Doel 1 et 2 en 1975 et de Doel 3 et 4 en 1982 et 1985 respectivement. En raison de l'élévation du terrain avec 4 à 8 m de déblais de dragage sableux, une nouvelle nappe phréatique s'est développée dans cette couche. Au cours de cette période, l'équilibre (l'écoulement) local des eaux souterraines a également été perturbé dans la couche d'eau souterraine plus profonde suite à l'installation de fondations et de parois moulées jusqu'aux couches tertiaires stables (jusqu'à une profondeur d'environ 15 m). Enfin, la recharge de la nappe phréatique a changé depuis 1975 en raison du revêtement du terrain. Dans les décennies qui ont suivi, les eaux souterraines phréatiques de la couche rehaussée ont été localement contaminées par une pollution accidentelle du sol due à l'entreposage et à l'utilisation de contaminants sur le site. Depuis plusieurs décennies maintenant, des études d'orientation et de caractérisation des sols sont systématiquement effectuées, comme l'exige la loi, en raison de la présence d'activités VLAREBO⁴⁶. Sur base de ces études, il apparaît que la pollution historique des eaux souterraines ne dépasse pas les normes d'assainissement et/ou ne présente pas de risque pour l'environnement et la santé. De nouvelles contaminations ont été évitées au cours des dernières décennies en se conformant à la réglementation du Vlarem sur l'entreposage des substances dangereuses et en prenant les mesures appropriées (prévention et assainissement) en cas d'accidents susceptibles de contaminer le sol ou les eaux souterraines.

En outre, aucune eau souterraine n'est utilisée pendant l'exploitation⁴⁷ de la centrale et celle-ci n'a pas d'autre impact sur l'état des eaux souterraines ou sur la pollution locale (historique) des eaux souterraines présente. Cependant, le système d'égouttage et le circuit d'eau de refroidissement existant présente des fuites à plusieurs endroits et draine les eaux souterraines.

⁴⁶ Les résultats de ces études de sol ont été décrits dans le RIE de projet pour le renouvellement des licences (2010) et complétés dans le RIE pour la prolongation de la durée de vie de Doel 1 et 2 (Arcadis/NRG, 2021).

⁴⁷ Les eaux souterraines près de l'Escaut sont salines et, pour cette raison, ne conviennent pas comme eau de traitement.

Les travaux réalisés dans le cadre des adaptations en vue de la LTO (prolongation de) D1 et D2 (2015-2020) n'ont eu qu'un impact limité sur les eaux souterraines. Pendant les travaux, aucun drainage n'a été réalisé et le revêtement supplémentaire a été limité, de sorte qu'il n'y a pas eu d'impact supplémentaire important sur les eaux souterraines. Pour la période 2027-2036, il existe une possibilité de contamination localisée du sol ou des eaux souterraines à la suite d'accidents survenus lors de travaux d'entretien normaux. Ces accidents seront également traités de manière appropriée, conformément à la réglementation légalement applicable, afin qu'aucune contamination significative du sol et des eaux souterraines ne soit prévue. Aucun autre impact sur le système des eaux souterraines n'est prévu.

3.2.2 Effets pertinents et relations de cause à effet

Afin de juger si le projet contribue ou non à la réalisation des objectifs politiques pour le système hydrologique et de la relation de cause à effet du projet, un aperçu des impacts prévisibles les plus pertinents du projet (la prolongation ou le report de 10 ans de la désactivation de Doel 4) sur le système hydrologique est fourni ci-dessous.

Après les combustibles nucléaires, l'eau est probablement la deuxième matière première ou ressource la plus importante de la centrale nucléaire. La centrale nucléaire de Doel est en effet très dépendante du système hydrologique pour son fonctionnement, car le circuit tertiaire est alimenté en eau de l'Escaut pour refroidir les condensateurs du second circuit. Pour les unités Doel 1 et 2, il s'agit de deux circuits de refroidissement directs avec une seule utilisation de l'eau de refroidissement, tandis que pour les unités Doel 3⁴⁸ et 4, il s'agit de systèmes de refroidissement fermés avec une circulation de l'eau de l'Escaut absorbée entre les condensateurs et les tours de refroidissement. Il en résulte qu'une grande quantité d'eau de surface est pompée, se réchauffe et s'évapore partiellement, puis est rejetée dans l'Escaut à une température légèrement plus élevée.

Outre l'effet de la température, l'eau de refroidissement a également une teneur accrue en chlorures en raison de l'ajout de produits (pour empêcher la croissance microbienne et la formation de mousse).

Un effet positif de l'utilisation de l'eau de l'Escaut, qui est particulièrement bénéfique en été, est qu'en raison du fonctionnement des tours de refroidissement, l'eau de refroidissement rejetée a une teneur en oxygène plus élevée que l'eau de l'Escaut. Les eaux de surface sont aussi parfois utilisées pour la production d'eau de traitement (eau déminéralisée) qui, après utilisation et épuration, est à nouveau rejetée dans l'Escaut.

La centrale nucléaire consomme également de l'eau de ville (eau potable) comme source pour l'eau de traitement, les installations sanitaires et le remplissage des bassins de refroidissement (pour les unités Doel 3 et 4). L'eau de traitement excédentaire est rejetée dans l'Escaut après un traitement physico-chimique. Les eaux usées sanitaires, ainsi que les eaux de pluie provenant des toits et de la plupart des trottoirs, sont épurées dans cinq biorotors et rejetées dans l'Escaut.

La centrale dispose de deux points de captage pour l'eau de l'Escaut, un pour les unités Doel 1 et 2 et un de plus pour Doel 4 (et auparavant Doel 3). Chaque biorotor pour l'épuration des eaux usées sanitaires a un point de rejet, les eaux usées industrielles et l'eau de refroidissement sont rejetées dans l'Escaut au même point.

Les eaux usées sanitaires et industrielles et les eaux de refroidissement doivent répondre aux normes de rejet imposées par le permis d'environnement (permis de base de 2011, modifié en dernier lieu en 2019).

Les eaux souterraines ne sont pas utilisées dans le processus, pas plus que l'eau de pluie collectée. La centrale n'est pas située dans une zone sensible aux inondations (zone surélevée). Aucun problème majeur n'est prévu à l'avenir suite au changement climatique non plus (avec des niveaux d'eau plus élevés et des précipitations plus intenses).

À hauteur des points de captage, les poissons peuvent mourir en raison de l'aspiration dans les pompes. Cet impact et l'impact secondaire des rejets (thermiques) sur la vie aquatique sont examinés et évalués plus en détail dans la discipline Biodiversité.

⁴⁸ Doel 3 est définitivement éteint depuis septembre 2022.

Les principaux impacts attendus sur les eaux de surface sont donc les quantités d'eau consommées en tant que matière première (bilan hydrique), l'impact sur le débit et les conséquences sur la température et la qualité de l'eau de l'Escaut maritime.

L'eau qui est rejetée dans l'Escaut n'entre pas en contact avec le circuit primaire (la partie nucléaire de l'installation). Il n'y a donc aucun risque de contamination radioactive de l'Escaut maritime (dans des conditions normales de fonctionnement).

En ce qui concerne les eaux de surface, un nouvel apport en eau de ville et de l'Escaut et un rejet d'eaux usées (sanitaires et de traitement) et d'eau de refroidissement doivent être pris en compte pendant la période de prolongation de 10 ans. Il faut s'attendre à cet égard à un impact supplémentaire sur la qualité de l'eau et la quantité d'eau de l'Escaut. Comme aucun ouvrage n'est prévu aux points de rejet ou de captage existants dans l'Escaut, l'impact sur la qualité structurelle de l'Escaut n'est pas considéré comme pertinent.

3.2.3 Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence

La *zone d'étude* pour la discipline Eau comprend toutes les eaux de surface appartenant au réseau hydrographique public, dont la qualité, la quantité et/ou la structure pourraient être affectées par le report de la désactivation de Doel 4. La délimitation précise de la zone d'étude dépend de la portée des effets, qui fait l'objet de l'étude. Concrètement, la zone d'étude est déterminée par l'Escaut maritime et plus précisément par la zone d'influence dans laquelle les effets sur la qualité de l'eau résultant des rejets thermiques et des eaux usées peuvent se manifester. Compte tenu de l'effet de marée, la partie de l'Escaut maritime située jusqu'à environ 5 km en amont et en aval des points de rejet de la centrale nucléaire peut être définie approximativement comme la zone d'étude.

En traduisant sur les masses d'eau définies dans le plan de gestion du district hydrographique, l'état de la masse d'eau de surface Escaut maritime IV est abordé.

La *situation de référence* est en principe la situation des eaux de surface concernées en 2027. Nous supposons que dans la plupart des cas, la situation actuelle (2023) sera une approximation suffisamment bonne de la situation de 2027. Les éventuels développements autonomes ou contrôlés qui pourraient avoir pour effet que la situation en 2027 soit (fondamentalement) différente de celle de 2013 pourraient être pour l'Escaut maritime une nouvelle amélioration de la qualité de l'eau (grâce à des efforts d'assainissement supplémentaires dans le district hydrographique, par la mise hors service de Doel 3 et bientôt de Doel 1 et 2) ; d'autre part, on peut également penser aux éventuels effets observables du changement climatique au cours de cette période (effets liés à la température ou modifications concernant le débit ou la marée).

Dans le rapport d'impact environnemental concernant les travaux pour la prolongation de l'exploitation et du fonctionnement de Doel 1 et 2 (Arcadis/NRG, 2021), un aperçu détaillé de la qualité de l'Escaut maritime a été réalisé, sur la base des données de mesure de la VMM pendant la période 2013-2019.

L'Escaut maritime, tant en amont qu'en aval du point de rejet de KC Doel, ne répond pas à tous les objectifs de qualité. Les paramètres les plus critiques sont la température (en été plusieurs jours au-dessus de 25°C), l'oxygène dissous (la valeur de P10 de 6 mg O₂/L n'est pas toujours respectée), la demande chimique en oxygène (DCO), le nitrate + nitrite + ammonium, le bore dissous, l'arsenic, le béryllium, le cadmium et l'uranium. Cependant, sur base de l'indice Prati pour l'oxygène dissous, on observe une amélioration progressive du bilan d'oxygène de l'eau à tous les points de mesure depuis le début des relevés en 1994. En général, le bilan d'oxygène de l'eau s'est amélioré principalement en aval de la centrale nucléaire, suite au plus grand flux de marée vers l'aval.

Pour la description et la caractérisation de la qualité des eaux de surface de l'Escaut dans la période 2005-2019, on peut se référer à l'évaluation de la situation dans le cadre des 2^e et 3^e plans de gestion du district hydrographique pour l'Escaut (bassin inférieur de l'Escaut) conformément à la directive-cadre sur l'Eau (Tableau 19).

L'Escaut à hauteur de KC Doel fait partie de la masse d'eau flamande Escaut maritime IV avec le code VL17_43 (anciennement VL08_43). Cette masse d'eau est classée comme une eau de transition du type eau saumâtre, macrotidal estuaire de plaine (O1b) et a le statut de masse d'eau fortement modifiée. L'évaluation dans le cadre du

2^e plan de gestion de district hydrographique (2016–2021) est basée sur les résultats des mesures des années 2005-2013, l'évaluation de la situation dans le cadre du 3^e plan de gestion de bassin hydrographique (2022-2027) est basée sur les résultats des mesures des années 2016 -2018 et peut donc être considéré comme représentatif de la situation actuelle en 2023 et comme point de départ pour la période de référence 2027 – 2036.

Tableau 19 : Évaluation de l'état de la masse d'eau Escaut maritime IV.

Encadré : deuxième plan de gestion du district hydrographique	Encadré : troisième plan de gestion du district hydrographique
Résultats des mesures 2005-2013	Résultats des mesures 2018
L'évaluation globale du potentiel écologique de l'Escaut maritime IV est généralement insuffisante .	L'évaluation globale du potentiel écologique de l'Escaut maritime IV est généralement insuffisante .
L'évaluation des éléments biologiques est insuffisante : : <ul style="list-style-type: none"> - insuffisante pour les macrophytes ; - moyenne pour les macro-invertébrés ; - insuffisante pour les poissons. 	L'évaluation des éléments biologiques est insuffisante : <ul style="list-style-type: none"> - insuffisante pour les macrophytes ; - moyenne pour les macro-invertébrés ; - bonne pour les poissons.
L'évaluation des éléments physico-chimiques qui sont déterminants pour les éléments biologiques est généralement mauvaise . Voici ce qui s'applique pour l'évaluation des éléments physico-chimiques séparés : <ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise évaluation pour le nitrate + nitrite + ammonium ; - Bonne évaluation pour la température, l'oxygène dissous et le pH. 	L'évaluation des éléments physico-chimiques qui sont déterminants pour les éléments biologiques est généralement mauvaise . Voici ce qui s'applique pour l'évaluation des éléments physico-chimiques séparés : <ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise évaluation pour le nitrate + nitrite + ammonium ; - Bonne évaluation pour l'oxygène dissous et le pH.⁴⁹
Le résultat de l'évaluation pour les polluants spécifiques déterminants pour les éléments biologiques est mauvais . Il y a un dépassement pour le bore, l'uranium et l'arsenic dissous.	Le résultat de l'évaluation pour les polluants spécifiques déterminants pour les éléments biologiques n'est pas bon . Il y a un dépassement pour le bore, l'uranium et l'arsenic dissous.
(L'évaluation de l'hydromorphologie est insuffisante)	L'évaluation de l'hydromorphologie est insuffisante
L'évaluation de l'état chimique pour l'Escaut maritime IV est mauvaise . Il y a des dépassements pour les HAP et le mercure total.	Le résultat de l'évaluation de l'état chimique pour l'Escaut maritime IV n'est pas bon . Il y a des dépassements pour les HAP, le polybromodiphényléther, le tributylétain, l'acide perfluorooctane sulfonique, l'époxyde d'heptachlore et le mercure total.
Le fond de l'eau de l'Escaut maritime IV est pollué .	Le fond de l'eau de l'Escaut maritime IV est légèrement pollué .

L'état écologique global de l'Escaut maritime IV est resté le même (insuffisant) au cours des dernières décennies, bien qu'on ait observé une amélioration des ressources halieutiques. Selon l'évaluation du plan de gestion de bassin

⁴⁹ Dans le troisième PGBH, la température n'est plus incluse en tant que « paramètre guide » pour évaluer l'état physico-chimique selon le système de la DCE. La norme de qualité environnementale est évidemment maintenue (comme pour les autres paramètres physico-chimiques qui ne sont pas des paramètres guides) et reste d'application pour toutes les masses d'eau de surface. La température est également toujours incluse dans le réseau de mesure, comme auparavant. Au cours de la période 2016-2018, la température pour l'Escaut maritime IV a été jugée « moyenne ».

versant, le potentiel écologique en 2027 ne sera pas encore atteint pour cette masse d'eau et sa zone de ruissellement.

La Figure 31 illustre l'évolution de la qualité de l'Escaut maritime à un point de mesure à Zandvliet en aval de la centrale nucléaire sur la base de la saturation en oxygène selon l'indice de Prati. Depuis environ 2000, la teneur en oxygène de l'Escaut maritime s'est considérablement améliorée. Une amélioration s'est également produite pour d'autres paramètres, mais l'évaluation de l'état global selon la méthodologie DCE pour l'Escaut maritime reste insuffisante.

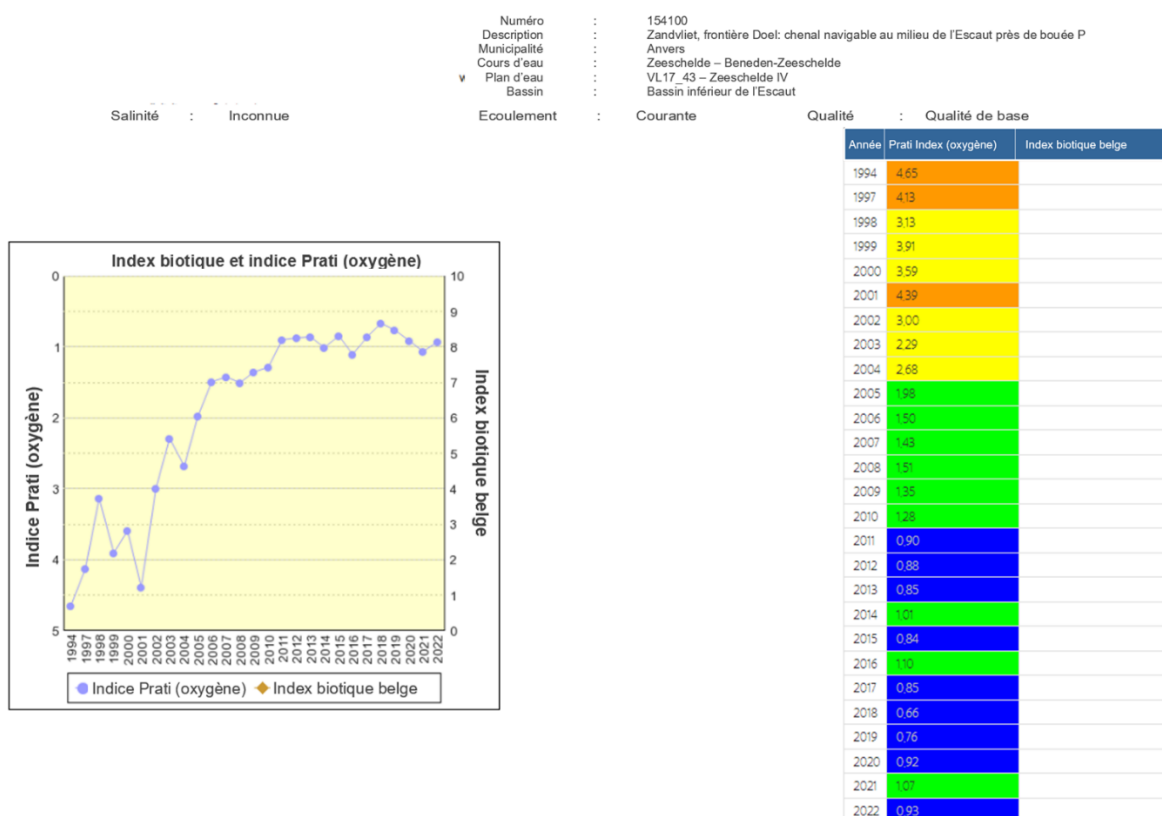


Figure 31 : Évolution de la saturation en oxygène (indice de Prati) dans l'Escaut maritime (point de mesure 154100) entre 1994 et 2022 (Source : MM, géoquichet qualité de l'eau).

Étant donné qu'un projet de prolongation peut avoir un impact sur la qualité de l'eau par un rejet d'eaux usées industrielles et d'eau de refroidissement, il convient de mener une étude plus approfondie pour évaluer l'impact sur l'état écologique de la masse d'eau concernée (Escaut maritime IV - VL17_43). La situation ne peut effectivement pas se détériorer. Les changements hydromorphologiques ou un impact sur la masse d'eau souterraine ne sont pas applicables dans le cadre du projet.

Dans le cas d'une eau de transition, l'oxygène dissous, (la température), le pH et les nitrates + nitrites + ammonium sont les éléments physico-chimiques à évaluer. Pour la prévision des effets sur les éléments biologiques, les paramètres DBO et DCO doivent être examinés (sans être pris en compte pour l'évaluation de la situation).

En outre, une évaluation doit être effectuée pour les polluants spécifiques qui contribuent à déterminer l'état écologique et les polluants qui déterminent l'état chimique pour les paramètres pour lesquels la norme de qualité environnementale est dépassée dans l'état actuel ou pour lesquels la concentration augmenterait. Enfin, les éléments de qualité biologique doivent être évalués (si possible).

Dans l'évaluation de l'impact environnemental concernant les travaux de prolongation de Doel 1 et 2 dans la période 2015 – 2025 (Arcadis/NRG, 2021), l'évaluation suivante a été réalisée :

- Les éléments physico-chimiques qui sont déterminants pour les éléments biologiques :

Pour l'oxygène dissous, on suppose qu'aucune dégradation ne se produit si les normes pour la demande en oxygène biologique et chimique sont respectées. Si les éléments physico-chimiques se détériorent, on suppose qu'il y aura également un impact sur les éléments de qualité biologique et que l'état de la masse d'eau se détériorera.

En moyenne, les rejets se font à un pH neutre ; aucune modification du pH n'est prévue du fait du projet.

En ce qui concerne l'impact attendu du rejet sur la température de l'Escaut, il est conclu qu'il n'y aura pas de détérioration de la température de l'ensemble de la masse d'eau à la suite du rejet thermique de KC Doel.

Pour les paramètres nitrite + nitrate + ammonium, DBO et DCO, l'impact du rejet a été calculé comme négligeable ; par conséquent, aucun changement dans l'état de la masse d'eau n'est attendu.

- Polluants spécifiques qui codéterminent l'état écologique :

L'uranium n'est pas un paramètre pertinent, car il n'est pas rejeté par KC Doel. L'impact calculé pour les paramètres arsenic et bore est négligeable ; par conséquent, aucune détérioration n'est attendue pour « l'évaluation des polluants spécifiques qui codéterminent l'état écologique ».

- Polluants qui déterminent l'état chimique :

Dans la situation actuelle, les paramètres suivants dépassent la norme de qualité environnementale de base : HAP, le polybromodiphényléther, le tributylétain, l'acide perfluorooctane sulfonique, l'époxyde d'heptachlore et le mercure total.

Pour le paramètre mercure, l'impact du rejet a été calculé. L'impact est négligeable. Les autres paramètres ne sont pas rejetés par KC Doel. Aucune détérioration n'est donc attendue pour les polluants déterminant l'état chimique.

- Éléments de qualité biologique :

L'impact sur les éléments de qualité biologique ne peut être déterminé quantitativement. Sur la base des évaluations de l'impact du captage d'eau, du rejet d'eau de refroidissement et du rejet de produits chimiques sur les organismes aquatiques de l'Escaut réalisées dans le cadre de la discipline Biodiversité, aucune détérioration des éléments de qualité biologique n'est attendue dans l'ensemble de la masse d'eau.

Sur base de la présente évaluation, on ne s'attendait pas à ce que le maintien de Doel 1 et 2 ouverts plus longtemps au cours de la période 2015 - 2025 conduirait à une détérioration de l'état ou que cela compromettrait les objectifs fixés pour l'ensemble de la masse d'eau. La contribution de la centrale nucléaire à la pollution de l'Escaut maritime est très faible. Il a également été déduit de l'analyse faite dans le RIE pour la prolongation de D1 et D2 que ce constat serait également valable si Doel 1 et 2 étaient arrêtés, car cette situation impliquait que la charge polluante qui se retrouverait dans l'Escaut via les rejets serait plus faible que dans le cas d'un maintien ouverts de Doel 1 et 2 pendant 10 ans de plus.

Les prochains paragraphes examinent l'effet sur le système hydrologique de la prolongation de Doel 4 pour une période de 10 ans (2027 à 2037).

3.2.4 Description des effets

La description des effets attendus est basée sur les données disponibles et les informations incluses dans les déclarations environnementales annuelles (données jusqu'à 2021 incluses) établies par l'exploitant de la centrale et les différents rapports d'impact environnemental dressés au cours de la période 2010 – 2021 (RIE du projet pour le renouvellement des licences de Doel 1, 2, 3 et 4 en 2010, note d'examen pour les travaux LTO pour maintenir Doel 1 et 2 ouverts plus longtemps en 2015, EIE pour le report de la désactivation de Doel 1 et 2 (KENTER, 2021) et RIE pour la prolongation de la durée de vie de Doel 1 et Doel 2 (Arcadis/NRG, 2021).

Le report de 10 ans de la désactivation de Doel 4 signifie que pendant cette période, l'eau continuera à être consommée et rejetée par la centrale de Doel 4. La centrale utilise l'eau potable/l'eau de ville (comme eau de traitement, pour la maintenance et dans les installations sanitaires) et l'eau de l'Escaut (comme eau de refroidissement). Les eaux souterraines ne sont pas utilisées, pas plus que l'eau de pluie. La Figure 32 donne un aperçu de la consommation d'eau pour l'année 2021 (Doel 1, 2, 3 et 4 en fonctionnement). Les eaux de ruissellement des toits et des revêtements, dont une partie se retrouve dans le système d'évacuation des eaux usées sanitaires, ne sont pas incluses dans le bilan hydrique.

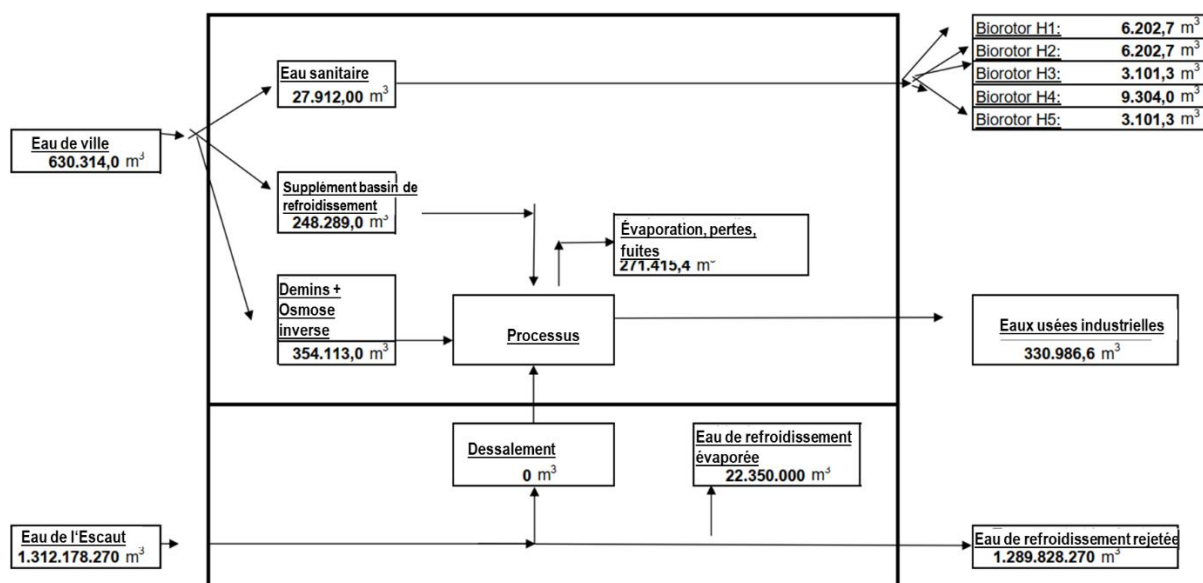


Figure 32 : Bilan hydrique KC Doel pour 2021.

L'eau de ville est principalement utilisée pour la production d'eau déminéralisée employée pour la production de vapeur dans le circuit secondaire, pour le réapprovisionnement des bassins de refroidissement et à des fins sanitaires⁵⁰.

Les eaux usées *sanitaires* et les eaux de pluie (provenant des toits et des revêtements) sont transportées vers cinq biorotors où elles sont purifiées avant d'être rejetées dans l'Escaut (cinq points de rejet). Les eaux usées sanitaires sont collectées avec l'eau de pluie dans cinq puits de collecte. Ces puits sont équipés de pompes submersibles qui pompent l'eau lors de fortes pluies directement dans l'Escaut. Dans des circonstances normales, ces eaux usées sont purifiées dans les biorotors avant d'être rejetées dans l'Escaut. En 2021, le débit annuel des eaux usées domestiques (mélange d'eaux sanitaires et d'eaux pluviales) était d'environ 27 912 m³.

Les *eaux usées industrielles* sont constituées d'effluents provenant de la régénération des installations de déminéralisation de Doel 1 à Doel 4 inclus et de l'unité de traitement des eaux et des déchets, des eaux de nettoyage (sols) de toutes les unités et de l'unité de traitement des eaux et des déchets, des eaux usées traitées (non radioactives) et du distillat du circuit primaire de l'unité de traitement des eaux et d'effluents riches en ammoniac des pompes à vide (unité d'osmose inverse). Les différents flux d'eaux usées sont neutralisés et traités par procédé physico-chimique avant d'être rejetés.

Les paramètres les plus caractéristiques des eaux usées industrielles sont les suivants :

⁵⁰ L'eau de ville est également utilisée dans des circonstances spécifiques dans les quatre petites tours de refroidissement auxiliaires (à ventilation forcée) de Doel 1 et 2. Celles-ci ne sont pas en service dans des circonstances normales. Le refroidissement du système est normalement assuré par l'eau de l'Escaut. Mais pour les tests périodiques et en cas d'accident, le fonctionnement est assuré avec de l'eau de ville.

- Les chlorures, provenant de l'acide chlorhydrique utilisé pour la régénération des échangeurs d'ions des installations de déminéralisation ;
- Les métaux, tels que le molybdène et le chrome qui sont utilisés pour traiter les circuits d'eau spécifiques ;
- Le bore, dérivé de l'acide borique présent dans l'eau provenant du circuit primaire. (L'acide borique est utilisé pour contrôler la réactivité du noyau). Si l'acide borique ne peut être récupéré, il est rejeté après épuration ;
- L'azote, provenant des composants azotés dans les eaux usées, des agents de conditionnement des circuits de vapeur d'eau et des nitrates/nitrites présents dans l'eau de ville. Dans le circuit secondaire, la corrosion est contrôlée par le contrôle du pH et l'utilisation d'ammoniac et d'hydrate d'hydrazine.

En 2021, le débit annuel des eaux usées industrielles était d'environ 330 987 m³.

L'eau de l'Escaut est uniquement utilisée comme *eau de refroidissement* dans le circuit tertiaire. L'eau de refroidissement est extraite de l'Escaut à deux endroits : un captage ouvert près de la rive de l'Escaut avant Doel 3 et 4 et un point de captage dans l'Escaut même avant Doel 1 et 2. Après utilisation, l'eau de refroidissement est rejetée dans l'Escaut via un point de rejet commun. L'eau est pompée vers les unités Doel 1 et Doel 2 via une installation de pompage. Les circuits de refroidissement de Doel 1 et 2 sont des circuits de refroidissement directs ou ouverts, ce qui signifie que l'eau de refroidissement passant par le condenseur est utilisée une fois. Les circuits de refroidissement de Doel 3 et 4 sont des circuits de refroidissement fermés dans lesquels l'eau de refroidissement circule entre les tours de refroidissement et le condenseur. La partie de l'eau de refroidissement qui s'évapore ou est rejetée est remplacée. Toutes les eaux de refroidissement sont rejetées via un point de rejet (point K3). Toutefois, un système de distribution permet d'acheminer l'eau de refroidissement de Doel 1 et 2 soit directement au point de rejet K3, soit de la pomper vers les tours de refroidissement des Doel 3 et/ou 4.

Les eaux de refroidissement usées sont rejetées dans l'Escaut avec les eaux pluviales/domestiques et les eaux usées industrielles, au même point de rejet K3.

En 2021, 1 312 178 270 m³ d'eau de refroidissement ont été prélevés dans l'Escaut et environ 1 289 828 270 m³ ont été redéversés. La quantité autorisée à prélever est de 1 500 000 000 m³.

La Figure 33 illustre la quantité d'eau de refroidissement rejetée sur une période de 10 ans (2027-2036) pour le projet avec prolongation de Doel 4 par rapport à la période de référence (sans prolongation). Les chiffres jusqu'en 2021 inclus sont basés sur les débits rejetés mesurés au cours de la période 2013–2021 (source Electrabel SA, données du bilan hydrique). Le volume annuel moyen des eaux de l'Escaut prélevées pendant cette période s'élevait à environ 1169 millions de m³, tandis que le volume annuel moyen des eaux de refroidissement rejetées était d'environ 1151 millions de m³, soit environ 1,5 % d'évaporation. Les fluctuations de volumes plus importantes sont dues à l'arrêt d'une partie des installations (par exemple en 2015 et 2018) ou, dans une moindre mesure, à des influences de température (années plus chaudes versus plus froides).

Pour la situation future à partir de 2023, les volumes doivent tenir compte de la mise hors service de Doel 3 à partir de 2023 et de la mise hors service de D1 et D2 (à partir de l'année 2026). Sur la base de la consommation moyenne, Electrabel SA a fait une prévision pour les années à venir dans le cadre de l'EIE et du RIE pour la prolongation de la durée de vie de Doel 1 et Doel 2 (2021), dans laquelle une estimation a été faite de la part des différentes unités sur la base du nombre d'heures de fonctionnement prévu et du débit horaire moyen des pompes au point de prélèvement pour Doel 3 et 4. La future consommation annuelle d'eau de l'Escaut pour Doel 3 et 4 a été estimée à environ 704 millions de m³ (quantité annuelle), qui est estimée à environ 60 % de la consommation d'eau de l'Escaut des quatre centrales nucléaires (1173 millions de m³). Il en a été déduit une consommation conjointe de Doel 1 et 2 d'environ 469 millions de m³ par an. On suppose également que la consommation de Doel 3 est du même ordre de grandeur que celle de Doel 4 (chacun 30 %).

À partir de 2023, Doel 3 ne sera plus en service dans aucune des deux « alternatives ». À partir de fin 2025, dans le scénario de référence (pas de prolongation), Doel 1 et 2 ne seront également plus utilisés, ce qui réduira fortement

le besoin en eau de refroidissement à partir de 2026 (uniquement pour Doel 4) jusqu'à sa disparition totale (scénario de référence, pas de prolongation).

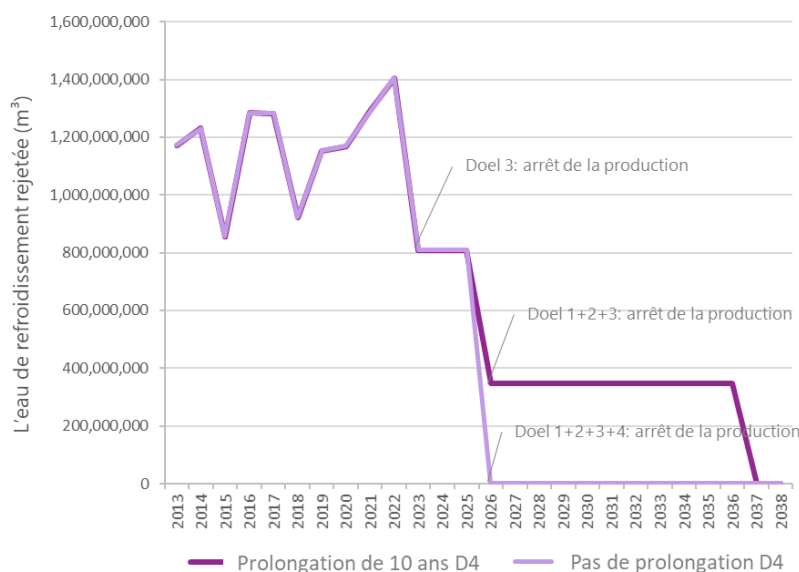


Figure 33 : Volume d'eau de refroidissement (m³) rejeté suite à la prolongation de dix ans de l'exploitation de Doel 4 par rapport à la situation de référence (pas de prolongation).

La consommation d'eau de ville diminuera également dans le scénario de référence, mais on suppose qu'il ne s'agira pas d'une réduction drastique malgré la mise hors service de Doel 3. Ce fait a été observé par Electrabel SA pendant les périodes où certaines centrales étaient hors service pour des raisons de maintenance. Seule la consommation d'eau de ville pour le cycle de la vapeur devrait légèrement diminuer sur la période 2023-2026. À partir de la mise hors service supplémentaire de Doel 1 et Doel 2 en 2026, la consommation d'eau de la ville diminuera également dans une plus large mesure, pour laquelle on a retenu une diminution hypothétique de 50 %.

En ce qui concerne les eaux de surface, un nouvel apport en eau de ville et de l'Escaut et un rejet d'eaux usées (sanitaires et de traitement) et d'eau de refroidissement doivent être pris en compte pendant une période de fonctionnement prolongé de 10 ans de Doel 4. Le Tableau 20 résume les différences entre les deux scénarios quant aux volumes d'eau de refroidissement et d'eaux usées (sanitaires et industrielles). Pendant 10 ans, environ 347 millions de m³ d'eau de refroidissement, environ 24 500 m³ d'eaux usées sanitaires et environ 140 000 m³ d'eaux usées industrielles seront rejetés chaque année. La consommation d'eau de la ville est également incluse dans le Tableau (par an). Sur une période de 10 ans, en cas de prolongation, cela représente une consommation supplémentaire d'eau de ville d'environ 2,1 millions de m² soit environ 211 000 m³ par an. Il faut donc s'attendre à un impact supplémentaire sur la consommation d'eau de la ville ainsi que sur la qualité et la quantité d'eau de l'Escaut en raison du rejet d'eaux usées et d'eau de refroidissement lié à la prolongation de Doel 4. S'il n'y a pas de prolongation, il n'y aura bien entendu aucun impact sur le système hydrologique de l'Escaut à partir de 2027.

Tableau 20 : Volume d'eau de refroidissement rejetée, d'eaux usées et d'eau de ville usée avec et sans prolongation.

Rejet		Prolongation de 10 ans	Scénario de référence (pas de prolongation)
Eau de refroidissement	Quantité totale	3,47 milliards de m ³	Pas de rejet
	Moyenne par an	347 millions de m ³	Pas de rejet

Rejet		Prolongation de 10 ans	Scénario de référence (pas de prolongation)
Eaux usées sanitaires	Quantité totale	245.000 m ³	Pas de rejet
	Moyenne par an	24.500 m ³	Pas de rejet
Eaux usées industrielles	Quantité totale	1,4 million de m ³	Pas de rejet
	Moyenne par an	140.000 m ³	Pas de rejet
Eau de ville consommée	Quantité totale	2,11 millions de m ³	Pas de consommation
	Moyenne par an	211.000 m ³	Pas de consommation

À partir des déclarations environnementales annuelles publiées par Electrabel SA, des permis d'environnement et des RIE de 2010 et 2021 et de la note d'examen de 2015, on peut déduire que le principal impact de l'exploitation de la centrale nucléaire sur le système hydrologique est le rejet d'eaux usées et d'eau de refroidissement dans l'Escaut. Il faut à cet égard s'attendre à des effets sur la quantité (débit) et sur la qualité de l'Escaut, effets qui sont examinés plus en détail ci-dessous.

Quantité

Dans des circonstances normales, environ 180 000 m³/h d'eau de l'Escaut sont pompés à des fins de refroidissement dans le circuit tertiaire. Cela équivaut à 0,71 % du débit de l'Escaut, qui est d'environ 7000 m³/s à hauteur de Doel. Cette valeur est la moyenne d'un relevé réalisé pendant six heures durant la marée haute. Malgré la quantité très importante d'eau de l'Escaut absorbée, l'effet sur le débit de l'Escaut peut être qualifié de négligeable⁵¹.

En 2021, la centrale nucléaire de Doel a consommé 1312 millions de m³ d'eau de l'Escaut (tous les réacteurs en fonctionnement). Environ 22 millions de m³ se sont évaporés dans les tours de refroidissement et 1290 millions de m³ ont été rejetés dans l'Escaut. En 2021, environ 27 912 m³ d'installations sanitaires et environ 330 987 m³ d'eaux usées industrielles ont été rejetés. Ces quantités représentent une fraction du volume d'eau de refroidissement qui est extrait et compensent une petite fraction de la perte par évaporation (environ 1,6 %) mais, comme nous l'avons dit, qui est négligeable par rapport au débit d'eau de refroidissement (qui en soi n'a donc pas d'impact significatif sur le débit de l'Escaut).

Sur la période 2013–2022, les quantités d'eau de refroidissement utilisées ont fluctué en fonction de l'arrêt ou non d'une ou plusieurs unités, d'un minimum de 867 millions de m³ en 2015 à un maximum de 1427 millions de m³ en 2022⁵².

Pour la période 2023–2025, une quantité annuelle d'eau de l'Escaut ingérée d'environ 821 millions de m³ est attendue, après l'arrêt de Doel 3 en 2022 et à partir de 2026, après l'arrêt de Doel 1 et 2 en 2025, d'environ 352 millions de m³ (seul Doel 4 encore en activité). Même dans ce cas, l'impact sur le système hydrologique en termes de débit ne sera jamais un problème, mais sera bien entendu plus important que dans le scénario de référence pour la période 2027–2036, dans lequel Doel 3 sera arrêté à partir de fin 2022 et Doel 1 et 2 seront arrêtés à partir de 2026 et donc plus aucune eau de refroidissement ni aucune eau usée ne sera rejetée.

Aucune différence substantielle du taux d'imperméabilisation du sol n'est attendue sur la période 2027–2036, ni pour le projet avec prolongation de Doel 4 ni pour le scénario de référence dans lequel, en plus de Doel 3, Doel 1 et 2 seront également mis hors service. Le taux élevé d'imperméabilisation du sol (environ 52 %, ce qui correspond à environ 56 ha de revêtement) et le fait que les eaux pluviales de ruissellement, ainsi que les eaux usées sanitaires,

⁵¹ Ceci s'applique également à l'effet cumulé de tous les prélèvements (nets) sur l'Escaut en aval d'Anvers. En raison de la prédominance de l'action des marées, les volumes d'eau disponibles à cet endroit sont pratiquement illimités.

⁵² Chiffre non encore publié dans une déclaration environnementale, communication orale Electrabel SA, janvier 2023.

aboutissent dans un réseau d'égouttage mixte qui, en cas de (fortes) précipitations, provoque de fréquents débordements des puits de collecte dans l'Escaut, ont dans les deux alternatives un impact négligeable sur le débit de l'Escaut, mais un impact négatif sur la qualité de l'eau. L'Escaut ne répond en effet pas encore aux normes de qualité environnementale concernant N, P et DCO.

Une question qui doit également être posée dans le cadre du contrôle de l'eau (au sujet duquel un nouveau décret est entré en vigueur le 1er janvier 2023⁵³) est de savoir si le site de KC Doel est sensible aux inondations, dans son état actuel et dans un avenir proche (jusqu'à environ 2037). Dans un premier temps, on peut le vérifier par comparaison à la carte des tests d'eau (Figure 34) et on peut vérifier s'il faut dans un avenir proche s'attendre à des risques accrus d'inondation liés au changement climatique, par le biais de précipitations plus intenses, de la sortie de lit des cours d'eau ou de la montée du niveau de la mer. Le gestionnaire de l'eau compétent est la voie navigable flamande, département régional central, polder du Pays de Waes. La centrale nucléaire est (uniquement) sensible aux inondations pluviales, mais n'est pas située dans une zone sensible aux inondations d'origine maritime ou fluviale/cours d'eau ni en zone signal (zone non bâtie à l'affectation du plan régional dur). La centrale est effectivement construite sur un terrain très rehaussé (+ 8,86 m DNG) et la digue Sigma est localement de 12,08 m DNG. Pour plus de détails, veuillez vous référer à la discipline Climat.

La Figure 34 démontre qu'à l'avenir, il peut y avoir un risque local « d'eau dans la rue » sur le site de la centrale nucléaire (autour de certains bâtiments) en raison de fortes précipitations (en hiver ou en été).

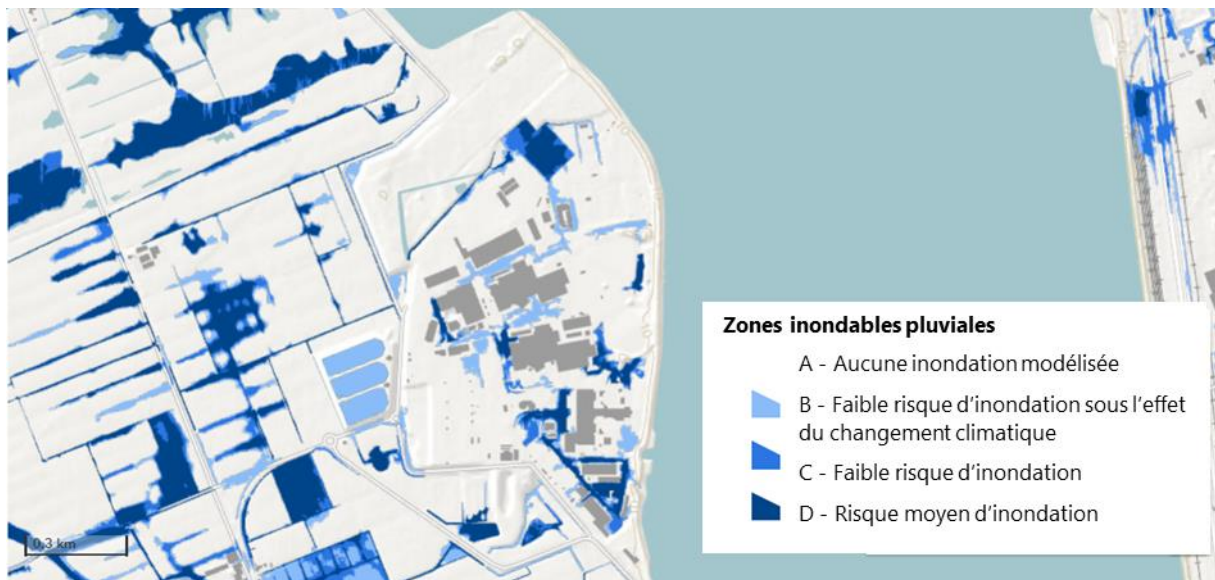


Figure 34 : Zones inondables pluviales (carte des tests d'eau, Source : waterinfo.be).

Les cartes de profondeur d'eau pour le climat actuel (Figure 35) et pour le climat futur⁵⁴ (Figure 36) donnent une vue par probabilité d'inondation où les profondeurs d'eau les plus élevées peuvent être attendues lors d'une inondation. En application de la directive européenne Inondations, des cartes actualisées des risques d'inondation ont été établies pour trois scénarios : probabilité faible (période de retour 1000 ans), probabilité moyenne (période de retour 100 ans) et probabilité élevée (période de retour 10 ans) d'inondation. Les probabilités d'inondation sont définies comme suit :

⁵³ Arrêté du Gouvernement flamand du 25 novembre 2022 modifiant divers arrêtés relatifs au test d'eau et à l'obligation d'information des articles 1.3.1.1 et 1.3.3.3.2 du décret du 18 juillet 2003 relatif à la politique intégrée de l'eau, coordonné le 15 juin 2018 et la circulaire OMG/2022/1 du 16 décembre 2022 sur les directives pour l'application d'un test d'eau résistant au climat et la sauvegarde de la capacité de stockage de l'eau dans les zones signal.

⁵⁴ Avec horizon climatique 2050.

- Les probabilités d'inondation moyennes sont les zones qui ont une période de retour de 100 ans ou moins et correspondent à la délimitation des anciennes zones inondables effectives en termes de période de retour ;
- Une faible probabilité d'inondation signifie des inondations dont la probabilité est inférieure à une probabilité moyenne d'inondation et qui sont définies comme un événement extraordinaire dans la directive Inondations. Cependant, compte tenu de la bombe à eau de juillet 2021, il faut tenir compte du fait que, dans des cas exceptionnels, il peut s'agir d'événements d'inondation très drastiques.
- Faible probabilité d'inondation sous l'effet du changement climatique : cet événement d'inondation projette l'impact de l'inondation pour un événement extraordinaire à l'ampleur future sous l'impact du changement climatique. L'horizon climatique 2050 a été retenu pour l'élaboration des cartes et non celui de 2100 qui est encore plus étendu.

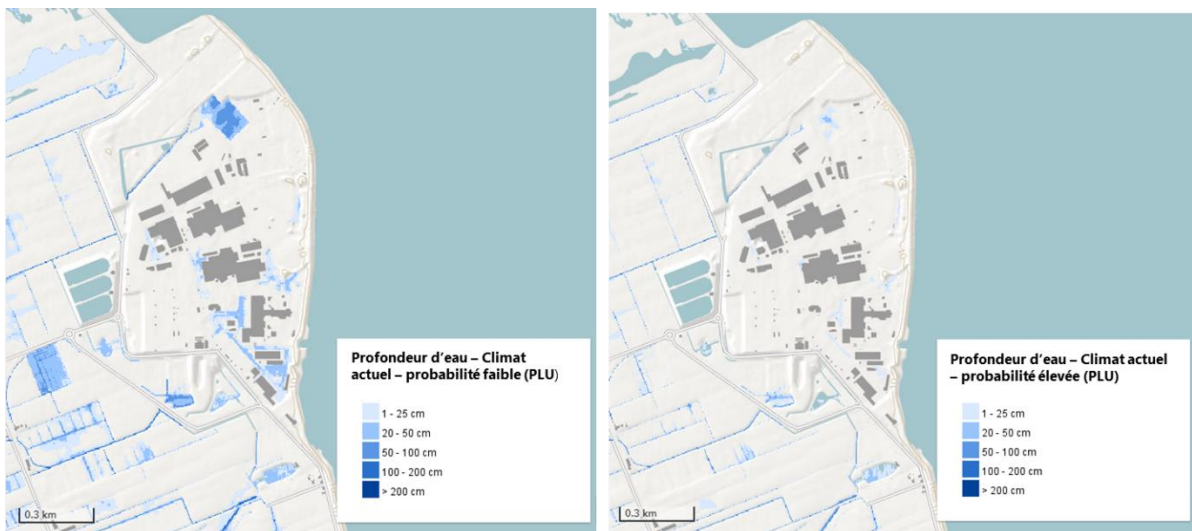


Figure 35 : Carte des risques d'inondations pluviales pour le climat actuel pour une probabilité d'occurrence faible et élevée (Source : waterinfo.be).

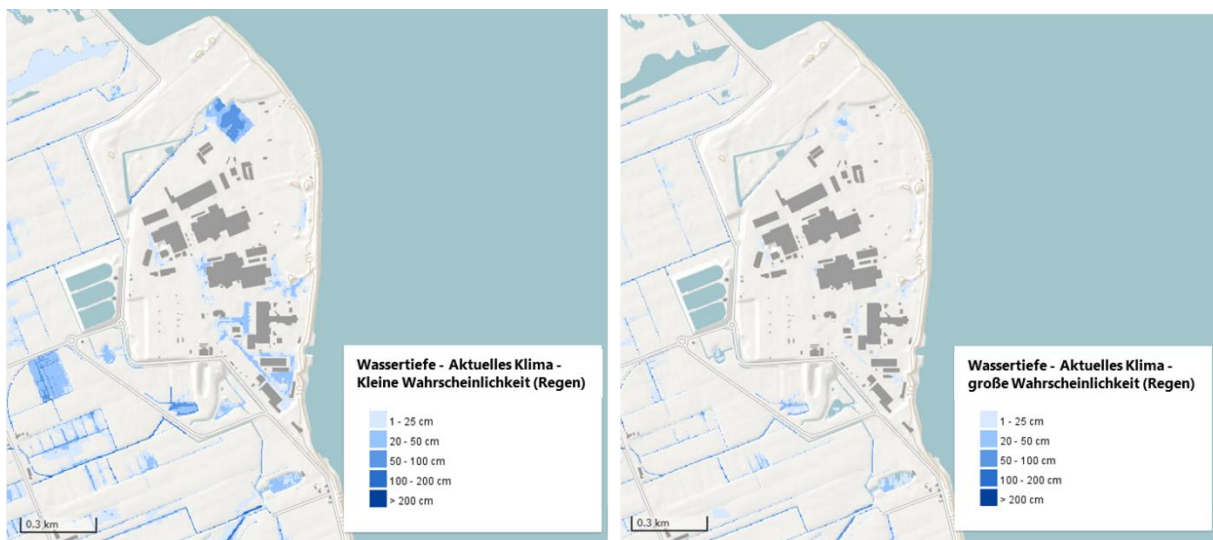


Figure 36 : Carte des risques d'inondations pluviales pour le climat futur pour une probabilité d'occurrence faible et élevée (Source : waterinfo.be).

Les cartes indiquent qu'à l'intérieur du site de la centrale nucléaire à l'avenir, il faudra certainement veiller à la construction et à la rénovation des infrastructures résilientes aux inondations en privilégiant la construction d'une hauteur suffisante et, le cas échéant, la compensation de l'espace pour l'eau (préservation de la capacité de stockage de l'eau) pour ne pas créer de nouvelles zones problématiques.

Qualité

Les eaux usées sanitaires sont traitées dans une station d'épuration biologique (5 biorotors) avant d'être rejetées dans l'Escaut. Les eaux usées industrielles sont peu polluées et sont rejetées dans l'Escaut via un simple prétraitement. L'eau de refroidissement est également renvoyée dans l'Escaut après utilisation.

Dans le réseau d'égouts mixtes d'évacuation des eaux pluviales et des eaux usées sanitaires de la centrale nucléaire, les eaux de refroidissement qui fuient, provenant des galeries souterraines et même des eaux souterraines (qui contiennent naturellement de l'arsenic) ressurgissent via le sol et se retrouvent également dans le réseau d'égouts et les puits de collecte. Ces fuites d'eau de refroidissement et, dans une moindre mesure, d'eau souterraine dans les égouts mixtes expliquent également les fréquents débordements. Pour la période 2015-2019 (pendant le fonctionnement de toutes les unités), la durée de débordement des puits de collecte a varié entre 12 et 46 jours par an. Maintenir Doel 4 ouvert pendant 10 ans de plus maintiendra en effet cette situation de débordement (en préservant la chaussée connectée), mais en raison d'une quantité réduite d'eaux usées sanitaires, la fréquence de débordement sera éventuellement un peu plus faible et la charge sur ces eaux usées diminuera, avec un impact moindre sur la qualité de l'eau que dans la situation actuelle. Dans le scénario de référence/alternative zéro, le degré de revêtement peut ne pas changer sensiblement, mais plus aucune fuite d'eau de refroidissement ne se retrouvera dans le système d'égouts et la part des eaux usées sanitaires diminuera davantage, voire disparaîtra complètement.

En ce qui concerne la qualité, il convient de faire une distinction supplémentaire entre les eaux de refroidissement rejetées, les eaux usées sanitaires et les eaux usées industrielles.

L'eau de refroidissement a un impact thermique sur l'Escaut, a une teneur accrue en chlorures en raison du dosage de NaOCl pour éviter la croissance microbienne et a une teneur accrue en oxygène en raison de l'aération dans les tours de refroidissement. Avant que l'eau de refroidissement ne retourne dans la rivière, elle est refroidie dans les tours de refroidissement, où le flux d'air ascendant augmente la concentration d'oxygène dans l'eau et réduit la température. Les normes de rejet stipulent que l'eau de refroidissement qui retourne dans l'Escaut ne doit pas être plus chaude que 33 °C. La température de rejet moyenne journalière doit être inférieure à 32 °C et la température de rejet moyenne sur 30 jours ne doit pas dépasser la limite de 30 °C. En 2019, malgré la vague de chaleur, les limites légales ont été respectées. Les normes ont également été respectées en 2020 et 2021, qui ont également été caractérisées par des périodes de canicule. La température de rejet moyenne instantanée en 2021 était de 24,72°C, la moyenne journalière de 24,58°C et la moyenne mensuelle de 24,60°C. En 2017 et 2018 (deux années également très chaudes), ces normes ont également été respectées et on s'attend à ce que, dans des conditions similaires, elles puissent l'être également au cours de la période à venir (2023–2027).

Le RIE de 2010 (Vinçotte) et celui de 2021 (Arcadis/NRG) ont largement abordé l'impact des eaux usées et des eaux de refroidissement sur l'Escaut. La principale conclusion est que, en ce qui concerne les eaux usées, on peut affirmer que l'augmentation moyenne calculée de la concentration dans l'Escaut due aux activités de KC Doel par rapport aux normes de qualité environnementale (NQE) dans les années 2013–2014 était inférieure à 0,1 %, ce qui a été considéré comme un effet négligeable. Étant donné que la qualité des eaux usées n'a pas été globalement plus mauvaise au cours de la période 2015–2021, on peut supposer que pour cette période, aucun effet important sur la qualité de l'Escaut n'a été observé. Pour la période future (2023–2027), dans des circonstances normales et avec la même gestion opérationnelle, aucun effet significatif sur la qualité de l'eau n'est attendu, en particulier depuis la fermeture de Doel 3 (fin 2022) et la fermeture prévue de Doel 1 et 2 (fin 2025), l'impact sur la qualité de l'eau diminuera encore. Si la qualité des eaux de l'Escaut continue à s'améliorer dans les années à venir, la contribution relative du rejet de KC Doel peut évidemment devenir légèrement plus importante, mais l'effet global restera négligeable. Dans le scénario de référence (sans prolongation de Doel 4), l'impact sur l'Escaut disparaîtra complètement dans la période 2027–2036.

Cependant, au cours de la période 2013–2017, un problème s'est posé concernant une concentration excessive de nitrites dans les eaux usées industrielles. En 2013, la norme de rejet (2 mg/l) a été dépassée ; en 2014 et 2015, la concentration moyenne était inférieure à la norme de rejet, mais des pics de concentration supérieurs à la norme de rejet ont encore été mesurés ; et en 2016 et 2017, deux pics et un pic de rejet ont respectivement été observés. On a soupçonné que les arrêts des unités ont eu une influence sur ce point. La cause des pics était due à la coïncidence de conditions inévitables qui ont créé des circonstances idéales pour le développement de la croissance biologique dans un réservoir d'eaux usées. La mise en œuvre de mesures appropriées (par exemple, relevé continu et intervention plus rapide), la modification de l'installation, une meilleure exploitation de l'installation de collecte de Doel 3 et des procédures en cas d'indisponibilité ont permis d'éviter un pic de nitrite en 2018. En 2019, la norme de rejet pour le nitrite a été temporairement augmentée de 2 à 8 mg de nitrite-N par litre (jusqu'à la fin de 2021), ce qui a permis (pour le nitrite) de continuer à fonctionner dans les limites des normes et de résoudre provisoirement le problème. La charge totale de N rejetée est sous contrôle depuis 2017 (Figure 37). En 2019–2021, la future norme de 2 mg N-NO₂/l était encore sporadiquement dépassée, mais la concentration était en moyenne inférieure à la norme.

Rejet d'azote

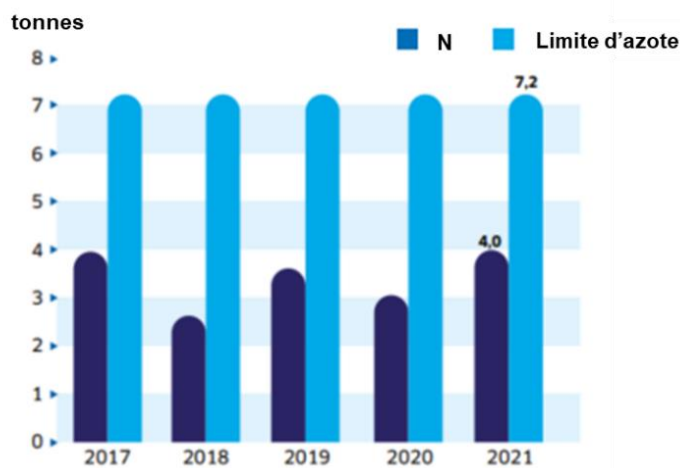


Figure 37 : Charge en N dans les eaux usées industrielles sur la période 2017-2021 (Source : Electrabel SA, déclaration environnementale 2022).

Un autre problème qui s'est posé en 2019 a été l'apparition d'une teneur trop élevée en AOX dans les eaux usées sanitaires et industrielles et dans l'eau de refroidissement. Le NaOCl est ajouté à l'eau de refroidissement comme agent de conditionnement pour éviter l'encrassement du système de refroidissement. Cela peut entraîner la formation d'AOX. Un régime de conditionnement optimal peut garantir que l'ampleur de l'utilisation de NaOCl et la période pendant laquelle le conditionnement doit être appliqué sont réduites, ce qui permet de diminuer la formation et le rejet d'AOX. Le paramètre de contrôle le plus important semble être l'utilisation du chlore actif. Actuellement, le dosage du NaOCl est basé sur l'analyse de l'excès de chlore actif et sur l'expérience acquise avec l'étanchéité de la tour de refroidissement, mais étant donné que la limite de détection du relevé de chlore actif est trop élevée, il est encore impossible d'effectuer un réglage fin visant à réduire la consommation de NaOCl, à réduire les taux de chlore actif dans l'eau de refroidissement rejetée et à réduire la formation d'AOX.

En ce qui concerne le rejet de l'eau de refroidissement, une augmentation significative de la température (plus de 3 °C) due au rejet de l'eau de refroidissement de KC Doel peut être observée dans la zone de la digue longitudinale, jusqu'à une distance maximale d'environ 1050 m du point de rejet. Des augmentations de température importantes mais acceptables, comprises entre 1 et 3 °C, se produisent à marée basse et lors du changement de marée jusqu'à une distance maximale d'environ 1300 m du point de rejet, la zone qui se trouve encore dans la digue longitudinale.

À marée haute, une augmentation importante de la température de 1 à 3 °C se produit à l'extérieur de la digue longitudinale jusqu'à 500 m maximum du point de rejet à l'est et jusqu'à 800 m maximum en amont du point de rejet vers le sud. La zone située à l'intérieur de la digue longitudinale forme une barrière thermique pour certains organismes aquatiques. Pour cette zone, les normes de qualité environnementale en matière de température dans l'Escaut ne sont pas respectées en raison du rejet d'eau de refroidissement de KC Doel. Le chenal de l'Escaut à l'est de la digue longitudinale peut toujours être franchi par les organismes aquatiques. La surface moyenne de la section transversale de la zone située à l'intérieur de la digue longitudinale ne semble pas dépasser 25 % de la surface de la section transversale de l'Escaut. On considère que le chenal de l'Escaut à l'est de la digue longitudinale demeure à tout instant franchissable par les organismes aquatiques. Pour une évaluation plus approfondie de cet effet, veuillez vous référer à la discipline Biodiversité. Étant donné que la quantité d'eau de refroidissement sur la période 2027–2036 sera inférieure à la quantité qui était nécessaire jusqu'en 2022 (avant la fermeture de Doel 3), on peut conclure que les effets sur la pollution thermique (taille du panache thermique, augmentation de la température) seront plus faibles pendant la prolongation de Doel 4. L'effet (plus faible) sera prolongé sur une période supplémentaire de 10 ans.

À plus long terme, le changement climatique pourrait avoir un impact négatif sur la capacité de refroidissement de l'eau de l'Escaut. Si la température de l'Escaut augmente en raison du changement climatique, la température de l'eau de refroidissement rejetée augmentera proportionnellement, avec la possibilité d'une limitation plus fréquente des charges thermiques maximales à rejeter quotidiennement (cf. conditions du permis), surtout en été. En outre, il faut s'attendre à davantage d'effets négatifs à plus long terme à ce niveau si une diminution importante du débit des rivières commence à se produire en raison du changement climatique. Toutefois, étant donné qu'il faut aussi tenir compte de l'élévation prévue du niveau de la mer (et de l'augmentation déjà observable du mouvement des marées), cela ne semble pas susceptible de causer des problèmes immédiats au fleuve à marées qu'est l'Escaut à cet endroit, pas dans les 5 prochaines années ni dans la période 2027–2036. Il n'a pas encore été possible d'établir de manière mesurable que la température de l'Escaut maritime a augmenté en raison du récent changement climatique. L'eau de l'Escaut maritime s'est légèrement réchauffée dans les années 1970 et 1980, mais il semble probable que des rejets antérieurs d'eau de refroidissement y aient contribué⁵⁵^{lx}. En ce qui concerne l'effet du changement climatique sur la température des eaux de surface, l'Institut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO, 2015)⁵⁶ indique pour les « eaux de surface en général » qu'il faut tenir compte d'une augmentation de 0,5 à 0,6 °C par 10 ans. Dans la période (2022 – 2036), cela signifierait théoriquement que la température de l'eau de l'Escaut pourrait augmenter de 0,75 à 0,9 °C. Cependant, en supposant que cela doit être considéré comme un maximum pour le fleuve à marées qu'est l'Escaut maritime, cette perte de capacité de refroidissement ne devrait probablement pas causer de problèmes majeurs (une augmentation de la charge thermique, un dépassement des normes de rejet, une barrière thermique plus importante en été et ce, pendant la période la plus sensible – le changement à marée basse) grâce à une meilleure surveillance de la température de l'Escaut maritime à laquelle s'ajoute un contrôle adapté de la capacité de refroidissement présente. De plus, à partir de 2023, Doel 3 sera mis hors service, ce qui entraînera déjà une diminution de la charge thermique, et à partir de 2026, il en sera de même pour Doel 1 et 2.

Le maintien de Doel 4 ouvert pendant 10 ans de plus de 2027 à 2037 signifie donc que pendant 10 ans une plus petite quantité d'eaux usées (voir ci-dessus) de composition comparable et avec des concentrations comparables et une charge polluante totale annuelle plus faible telle qu'évaluée dans les années 2013-2014 (augmentation de la concentration inférieure à 0,1 %) seront rejetées et que cela aura également un impact négligeable sur l'Escaut. La charge polluante rejetée et la charge thermique de l'eau de refroidissement diminueront d'environ 70 % au cours

⁵⁵ VNSC (2019) Systeemanalyse natuur Schelde-estuarium. Gezamenlijk feitenonderzoek van stakeholders, deskundigen en de Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie, 62 p.

⁵⁶ Van der Aa B., Vriens L., Van Kerckvoorde A., De Becker P., Roskams P., De Bruyn L., Denys L., Mergeay J., Raman M., Van den Bergh E., Wouters J., Hoffmann M. (2015). Effecten van klimaatverandering op natuur en bos. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2015 (INBO.R.2015.9952476). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. Bruxelles.

de la période 2023–2027. On peut également supposer que le problème des nitrites et des AOX restera sous contrôle dans les années à venir, comme les années précédentes. Les eaux usées sanitaires et industrielles diminueront également fortement au cours de cette période.

Dans le scénario de référence (toutes les centrales électriques étant fermées) pendant la période 2027–2036, il n'y aura pas d'impact sur l'Escaut (pas de rejet d'eau de refroidissement, pas de rejet d'eaux usées, plus de panache de chaleur dans l'Escaut).

L'eau qui est rejetée dans l'Escaut n'entre pas en contact avec le circuit primaire (la partie nucléaire de l'installation). Il n'y a donc aucun risque de contamination radioactive de l'Escaut dans des conditions normales.

L'eau de pluie n'est pas utilisée dans le processus ou pour les installations sanitaires. L'eau de pluie qui tombe sur les toits et la plupart des surfaces revêtues est déversée dans l'Escaut, avec les eaux usées sanitaires, via les biorotors. L'eau des parkings à l'entrée de l'entreprise se déverse dans un ruisseau du polder voisin (Doorloop). L'utilisation de l'eau de pluie pour produire de l'eau déminéralisée ou comme eau de refroidissement est possible en principe, mais les infrastructures nécessaires ne sont pas encore en place.

Qualité structurelle

Comme aucun ouvrage n'est prévu aux points de rejet ou de captage existants dans l'Escaut, l'impact sur la qualité structurelle de l'Escaut n'est pas considéré comme pertinent.

3.2.5 Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques

Il est ensuite possible d'évaluer dans quelle mesure les effets décrits ci-dessus, qui peuvent se produire du fait du maintien de Doel 4 ouvert pendant 10 années supplémentaires, contribueront dans une plus ou moins grande mesure à atteindre ou éventuellement à entraver les objectifs politiques considérés comme importants pour le système hydrologique. Les objectifs politiques pertinents qui entrent en jeu dans ce projet sont la réalisation d'un bon état des eaux de surface, la poursuite d'une gestion durable de la chaîne de l'eau, la limitation des risques d'inondation et de sécheresse et la poursuite d'un approvisionnement durable en eau.

Atteindre un bon état des eaux de surface

Le maintien en service de Doel 4 pendant 10 années supplémentaires signifie que les eaux usées sanitaires (épurées), les eaux usées industrielles traitées et l'eau de refroidissement (réchauffée) seront rejetées pendant 10 ans. Pour un certain nombre de paramètres (ex. AOX, nitrite), les normes de rejet ont été sporadiquement dépassées dans le passé (période 2014–2017) en raison de quelques pics de concentration. En appliquant des mesures, la norme de rejet moyen a été respectée ces dernières années. Vu que les normes de rejet peuvent être respectées et que la contribution calculée à l'augmentation de la concentration est limitée (localement) à négligeable, cela signifie qu'une pollution résiduelle se retrouvera dans l'Escaut maritime pendant 10 ans. La partie de l'Escaut maritime dans laquelle le rejet a lieu est actuellement encore dans un état écologique « insuffisant » et ne respecte pas toutes les normes de qualité environnementale (température, teneur en O₂, DCO, nitrite + nitrate + ammonium, bore, arsenic, béryllium, cadmium et uranium). La qualité de l'eau s'est considérablement améliorée au cours des dernières décennies, mais la rivière reste vulnérable à toute forme de pollution. Dans tous les cas, la centrale nucléaire peut être qualifiée de contributeur important en termes de charge polluante totale, même lorsque Doel 1 et 2 seront arrêtés à l'avenir. La capacité d'auto-épuration de l'Escaut maritime n'a pas encore été suffisamment rétablie. Il n'y a toutefois pas de raison de craindre une détérioration de l'état écologique de l'Escaut maritime du fait du maintien de Doel 4 ouvert dix ans de plus, à condition que l'on continue à prêter attention à la surveillance et à l'ajustement en temps utile.

Étant donné les effets seulement limités de la centrale nucléaire sur la qualité de l'eau, mais les efforts continus qui seront fournis pour réduire davantage les effets à l'avenir, on peut supposer que le projet ne compromet pas la réalisation du bon potentiel écologique des eaux de surface. Depuis la mise en service de la centrale nucléaire, l'état de l'Escaut maritime s'est amélioré ; les efforts fournis et à fournir pour respecter les normes de rejet auront

également contribué à cette amélioration. Il n'y a aucune raison de craindre que l'état actuel (certes) insatisfaisant de l'Escaut maritime se détériore suite au maintien en exploitation de Doel 4 dix ans de plus. Bien entendu, ne pas le prolonger (scénario de référence) apporterait une contribution positive, mais il n'est pas certain que cela suffise en soi à faire évoluer l'état insatisfaisant de l'Escaut maritime vers un état modéré.

Étant donné que Doel 1 et 2 représentent ensemble environ 40 % de la consommation d'eau de l'ensemble de la centrale nucléaire et que Doel 3 et 4 représentent chacun environ 30 % de la consommation d'eau, et compte tenu que la nature (composition et degré de pollution) des eaux usées et l'eau de refroidissement est similaire pour toutes les sous-unités, on peut supposer que l'impact de la prolongation de la durée de vie de Doel 4 (qui est une fraction plus petite que Doel 1 et 2 combinés) n'entraînerait pas non plus une détérioration de la situation ou qu'une prolongation de l'exploitation de Doel 4 permettrait d'atteindre les objectifs proposés, car l'ensemble de la masse d'eau serait hypothéqué.

Viser la gestion durable de la chaîne de l'eau.

La gestion durable de la chaîne de l'eau implique des efforts (supplémentaires) pour étendre et optimiser les infrastructures d'assainissement. Les points d'attention de l'exploitation actuelle sont le fait que l'eau de pluie n'est pas dissociée du flux d'eaux usées sanitaires, avec des débordements trop fréquents d'eaux usées sanitaires (certes diluées) lors d'averses intenses. Il n'y a pas de réseau d'égouts séparé. Un autre problème est que l'eau de refroidissement et, dans une moindre mesure, les eaux souterraines sont également drainées et finissent dans le réseau d'égouttage non séparatif, ce qui contribue également à la problématique des débordements. Étant donné que des précipitations plus intenses liées au changement climatique déjà constatées sont inévitables, il s'agit d'un problème auquel il faudra prêter attention au cours des prochaines années d'exploitation de la centrale nucléaire (Doel 4). Une telle dilution des flux d'eaux usées n'entraîne pas un traitement efficace et efficient.

En général, la centrale nucléaire respecte bien les normes de rejet imposées pour les eaux usées sanitaires, les eaux usées industrielles et les eaux de refroidissement, mais les normes de rejet ne sont pas toujours respectées pour un certain nombre de paramètres (par exemple, les nitrites, les AOX). Des efforts sont encore nécessaires pour adapter l'infrastructure d'assainissement à ces paramètres ou, mieux encore, pour prendre des mesures axées sur les sources afin de résoudre ces points d'attention.

Pour un certain nombre de paramètres présents dans les effluents sanitaires, les eaux usées industrielles ou les eaux de refroidissement, les prélèvements ne sont pas toujours effectués de manière cohérente ou la limite de détection dans les prélèvements est supérieure à la norme de rejet, ce qui signifie qu'il y a une incertitude quant au respect des normes de rejet. En ce qui concerne spécifiquement l'eau de refroidissement, il faut par exemple trouver une solution permettant de surveiller de manière adéquate la teneur en chlore actif afin de réduire la formation d'AOX et d'obtenir un dosage optimal de NaOCl pour maîtriser la croissance microbienne dans l'eau de refroidissement.

La limitation maximale des charges thermiques et l'utilisation optimale de la capacité de refroidissement sont également des mesures qui contribuent à la gestion durable de la chaîne de l'eau, certainement à la lumière du changement climatique. Il est recommandé que l'impact des rejets thermiques soit plus étroitement aligné sur l'évolution du gradient de température entre la frontière néerlandaise et Anvers. Cette surveillance et l'adaptation de la capacité de refroidissement de la centrale à la charge thermique cumulative sur l'Escaut maritime peuvent contribuer à limiter au maximum l'ampleur du rejet thermique.

Le maintien de Doel 4 ouvert pendant 10 ans de plus signifie que la présence d'égouts mixtes et le problème de débordements se perpétueront probablement (éventuellement dans une moindre mesure) pendant cette période et que des efforts supplémentaires ne seront pas faits pour réutiliser les eaux de pluie. L'impact thermique sur l'Escaut maritime perdurera également. À défaut d'appliquer les mesures susmentionnées, force est de constater qu'il est impossible d'affirmer que la chaîne de l'eau est d'ores et déjà gérée de la manière la plus durable possible.

Limiter les risques d'inondation et de sécheresse

En termes de risques d'inondation, la situation actuelle ne présente aucun problème et aucun problème n'est attendu à court ou moyen terme concernant les inondations fluviales ou dues à l'élévation du niveau de la mer. Par conséquent, le fait de garder Doel 4 ouvert plus longtemps ne contribuera pas de façon notable à réduire ou à provoquer les risques d'inondation par la mer ou les cours d'eau. En raison d'averses plus intenses, dans la situation actuelle et en raison du changement climatique, davantage d'inondations (dans la rue) pourraient se produire à l'avenir. Cependant, rien n'indique actuellement que la centrale cause ou entretienne des risques d'inondation indésirables en aval (dans les polders situés plus bas).

En ce qui concerne la sécheresse, il a été établi que moins d'efforts ont été faits pour retenir au maximum l'eau de pluie, la réutiliser et l'infiltrer localement. Étant donné que l'eau de pluie est en grande partie immédiatement évacuée par les toits et les trottoirs, on peut dire que la centrale nucléaire a un effet d'assèchement sur les polders environnants. L'effet est limité et dans la situation actuelle ne conduit pas à une dessiccation significative. Au vu de l'aggravation des phénomènes de sécheresse en Flandre et plus particulièrement du problème de salinisation de la zone, il apparaît opportun d'accorder une attention maximale à l'adoucissement et à la gestion des eaux pluviales (réutilisation, infiltration et évacuation différée) lors de rénovations ultérieures du site ou d'aménagements du réseau d'égouttage. Prolonger l'exploitation de Doel 4 pendant 10 ans perpétuera l'effet (limité) de dessiccation.

Viser un approvisionnement durable en eau

On évalue à ce niveau si le fait de garder Doel 4 ouvert plus longtemps contribue à l'utilisation parcimonieuse de l'eau, si l'eau utilisée l'est de manière suffisamment circulaire et si des mesures d'adoucissement sont prises. Les inconvénients de la présente évaluation sont, par exemple, le fait qu'aucune eau de pluie n'est utilisée pour certaines applications (par exemple dans les installations sanitaires ou pour l'entretien ou dans certains processus, ou en combinaison avec les zones d'infiltration et les zones vertes comme élément de refroidissement pour réduire le stress thermique et l'effet d'îlot de chaleur), ce qui pourrait entraîner des économies considérables dans la consommation d'eau de ville. Dans ce sens, il apparaît également intéressant d'éviter au maximum l'utilisation de l'eau de ville dans le circuit d'eau de refroidissement et comme eau de processus. L'absence d'efforts pour introduire des formes plus poussées d'utilisation circulaire de l'eau ou pour réaliser des projets de découplage ou d'adoucissement signifie que l'évaluation de cet objectif politique devrait plutôt recevoir une note négative. La mise hors service de Doel 3, 1 et 2 offrira certainement des opportunités dans ce domaine.

3.2.6 Résumé des principales conclusions

L'évaluation par rapport aux objectifs pour le système hydrologique est résumée dans le Tableau 21. Le projet de prolongation de dix ans de l'exploitation de Doel 4 n'aura pas de conséquences négatives sur le potentiel écologique de l'Escaut maritime et n'augmentera pas les risques d'inondation. Des optimisations sont encore possibles dans le domaine de la gestion durable de la chaîne de l'eau, en évitant la sécheresse et en se concentrant sur un approvisionnement en eau plus durable.

Tableau 21 : Synthèse de l'évaluation par rapport au système hydrologique.

Objectif	Contribution du projet (prolongation Doel 4 de 10 ans)	Évaluation
Bon état des eaux de surface	Pas de détérioration de l'état et n'altère pas la réalisation du bon potentiel écologique.	Neutre
Gestion durable de la chaîne de l'eau	Perpétuation d'une situation non optimale en termes de gestion durable	Négatif
Limitation des risques d'inondation	Aucune contribution notable	Neutre
Éviter la sécheresse	Prolongation de l'effet desséchant limité	Négatif limité

Objectif	Contribution du projet (prolongation Doel 4 de 10 ans)	Évaluation
Approvisionnement durable en eau	Pas d'efforts/plans sur l'utilisation plus circulaire de l'eau	Négatif

3.2.7 Mesures d'atténuation

Les recommandations visant à atteindre les objectifs stratégiques fixés concernant le système hydrologique ont déjà été indiquées ci-dessus dans le texte et sont résumées ci-dessous :

- Empêcher le drainage des eaux souterraines et des eaux de refroidissement dans le réseau d'égouttage non séparatif et séparer les eaux de pluie (par exemple dans le cadre de nouveaux projets ou de travaux d'entretien), ce qui entraîne une dilution des eaux usées et des débordements fréquents.
- Une optimisation du traitement des eaux usées est recommandée pour les anciens problèmes (nitrite, AOX), une analyse plus cohérente sur plusieurs autres paramètres permettant de vérifier si les normes de rejet sont respectées ;
- Séparer l'eau de pluie des eaux usées sanitaires et réutiliser l'eau de pluie comme eau sanitaire, éviter autant que possible la consommation d'eau de ville.
- Adoucissement (infiltration), création de toitures végétalisées ou de plans d'eau (tamponnage) sur le site pour réduire l'effet d'îlot de chaleur, pour retenir et stocker plus localement l'eau (de pluie) et pour éviter la dessiccation et la salinisation ;
- Les modifications et rénovations futures doivent être suffisamment résistantes aux inondations et au climat pour absorber les conséquences de précipitations plus intenses à l'avenir et ne pas transférer les inondations à la zone environnante ;
- Ajustement anticipé de la capacité de refroidissement sur la base de la surveillance de la température de l'Escaut ;
- L'arrêt de Doel 3 (2022) et Doel 1 et 2 (2025) peut être utilisé pour optimiser l'épuration de l'eau et la gestion des eaux (de pluie) pour Doel 4.

3.2.8 Lacunes dans les connaissances et surveillance

Il n'y a pas de lacunes dans les connaissances qui empêcheraient l'évaluation des impacts sur le système hydrologique d'être suffisamment précise. Cependant, on manque d'informations sur la proportion précise d'eaux usées provenant de Doel 4 et donc sur la contribution exacte de l'exploitation de Doel 4 à la pollution résiduelle se retrouvant dans l'Escaut pendant les 10 années d'exploitation supplémentaires. Une hypothèse (du pire des cas) a été utilisée pour en estimer les effets dans la présente évaluation environnementale.

Une surveillance supplémentaire par rapport au programme de surveillance existant, à l'exception de la surveillance de la charge thermique cumulée dans l'Escaut maritime, n'est pas jugée nécessaire.

3.3 Discipline Biodiversité

3.3.1 Objectifs politiques pertinents

Le décret Nature (et divers arrêtés exécutoires) et le décret Politique intégrée de l'Eau contiennent tous deux des objectifs politiques pertinents par rapport auxquels le plan politique devra être évalué. Le décret Forêts crée également un cadre pour la protection et, en cas de perte forestière, la compensation des forêts. Cependant, puisque le plan ne provoque pas la disparition de la forêt, ce n'est pas un objectif politique pertinent pour la présente EIE.

Du point de vue du **décret Nature**, deux concepts génériques sont importants et s'appliquent horizontalement en Flandre : le **principe du statu quo et le devoir de diligence**. Ce principe stipule que les nouveaux développements prévus ne doivent pas contribuer à la détérioration de la nature (au niveau flamand). Cela s'applique tant à la surface

qu'à la qualité. Le devoir de diligence signifie qu'il faut vérifier si les projets et les plans, y compris la décision de prolonger la durée de vie de Doel 4, ne causent pas de « **dommages** » **évitables** (cf. décret Nature) pour la nature.

Cela inclut notamment la protection de la nature et des éléments naturels existants, quelle que soit leur utilisation.

Le devoir de diligence ne signifie pas que de nouveaux développements sont impossibles, mais que des recherches suffisantes doivent être menées pour déterminer si des dommages éventuels peuvent être évités.

En plus de la politique nature « horizontale », le décret Nature définit également les lignes directrices d'une **politique axée sur la zone**.

Pour les **zones VEN**, il faut vérifier spécifiquement qu'aucun « **dommage inévitable et irréparable** » ne peut se produire à cause du plan. Au sein du VEN, une distinction est faite entre les grandes unités naturelles (GUN) et les grandes unités naturelles en développement (GUND). En outre, il existe également le réseau intégral d'imbrication et d'appui (integraal verwevings- en ondersteunend netwerk - IVON), qui se compose de zones d'imbrication naturelle (ZIN) et de zones de liaison naturelle (ZLN). L'évaluation du risque de dommages inévitables et irréparables dans le cadre d'une « évaluation approfondie de la nature » n'est requise que pour les zones du VEN proprement dit.

En outre, la mise en œuvre des directives européennes dans le décret Nature garantit que pour les **zones de protection spéciale**, c'est-à-dire les zones relevant des directives Habitats et Oiseaux, il faut non seulement démontrer que des effets négatifs importants sont évités par rapport à la situation actuelle, mais aussi que le plan n'entrave pas la réalisation des objectifs naturels fixés pour ces zones. Cette question est examinée dans le cadre d'une **évaluation appropriée**.

Le **décret Espèces (Soortenbesluit)** prévoit la protection d'espèces spécifiques. Cela signifie qu'il ne doit pas y avoir de dommages pour ces espèces ou leur habitat et également que des programmes de protection des espèces (PPE) peuvent être élaborés et proposer des mesures visant à garantir un état de conservation favorable de certaines espèces. Il sera nécessaire d'examiner si le plan peut causer des dommages aux espèces protégées ou compromettre la mise en œuvre d'un PPE.

Un dernier objectif politique important réside dans le **Décret sur la Politique intégrée de l'Eau** (Decreet Integraal Waterbeleid), qui transpose la directive-cadre européenne sur l'eau dans la législation flamande. De nombreux objectifs sont évalués dans la discipline Eau, mais des objectifs pour les **éléments de qualité biologique** ont également été inclus pour les différentes masses d'eau. Pour les éléments de qualité biologique qui sont pertinents pour les masses d'eau à proximité de la zone d'étude (principalement l'Escaut maritime), il faudra examiner si le plan a un impact sur la réalisation des objectifs de qualité de l'eau. Cependant, cet aspect sera évalué dans la discipline Eau.

Les différentes composantes du projet seront vérifiées par rapport à ces objectifs politiques sur la base des questions ci-dessous :

- Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le projet puisse éviter les dommages causés à la nature (cf. décret Nature) ?
- Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le projet puisse éviter des dommages irréparables et inévitables aux zones VEN (cf. décret Nature) ?
- Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le projet puisse éviter des impacts significatifs par rapport aux zones Natura 2000 (cf. décret Nature) ?
- Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le projet ne cause pas de dommages aux espèces protégées en vertu du décret Espèces ?
- Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que la mise en œuvre du projet n'entrave pas la réalisation des objectifs formulés dans les programmes de protection des espèces (cf. décret Espèces) ?

3.3.2 Effets pertinents et relations de cause à effet

Le projet peut avoir un impact sur la discipline Biodiversité de plusieurs façons. Comme indiqué ci-dessus, l'évaluation finale est effectuée sur la base des objectifs politiques, tandis que l'analyse d'impact est basée sur les groupes d'impact pertinents. Les paragraphes suivants expliquent brièvement quels groupes d'impacts sont pertinents et pourquoi.

Dans la discipline de la biodiversité, la plupart des impacts attendus sont des impacts indirects dus aux changements abordés dans les disciplines de l'eau, du bruit ou de l'air. S'il est conclu dans ces disciplines que seuls des effets négligeables sont attendus, cela n'est pas étudié plus avant dans la discipline de la biodiversité.

Nombreux des effets qui peuvent se produire sont liés aux rejets dans l'Escaut. Compte tenu de la désignation de l'Escaut comme zone relevant de la directive Habitats, la possibilité que des effets se produisent ici est très importante. Citons en outre les objectifs pour l'Escaut du décret sur la Politique intégrée de l'eau, tandis que les vasières et les marais salants sont également importants pour les oiseaux de la zone couverte par la directive Oiseaux et en tant qu'« habitat » de la directive Habitats.

Les effets sur l'Escaut peuvent se manifester sous la forme d'une **modification de la qualité des eaux de surface**. Les éléments du plan qui pourraient potentiellement affecter cet aspect sont le rejet de diverses formes d'eaux usées et le rejet d'eau de refroidissement. En outre, le captage de l'eau de refroidissement est aussi important, car il peut entraîner la **mortalité** de poissons, de mollusques, de crustacés ou d'autres invertébrés qui sont également aspirés. Si la partie sur les **effets nucléaires** démontre qu'un impact sur l'Escaut est à prévoir, celui-ci sera également brièvement abordé. Dans ce cas, un effet incident sur les niveaux trophiques supérieurs, tels que les oiseaux de la zone couverte par la directive Oiseaux, sera également estimé. Un impact significatif sur la qualité de l'eau, par exemple suite à une augmentation de la température, peut aussi potentiellement donner lieu à des **effets de barrière** si une grande zone devient impropre aux organismes présents.

Outre les effets sur l'Escaut, l'exploitation de la centrale peut également avoir un impact en termes de **nuisances**. Il peut s'agir de nuisances sonores, de perturbations lumineuses ou de perturbations suite à la présence humaine. Étant donné le niveau stratégique du RIE, ces effets perturbateurs seront estimés de manière qualitative.

Du fait de l'installation de chauffage, des générateurs et pompes de secours et du trafic lui-même, le plan peut théoriquement aussi contribuer aux effets **d'acidification et d'eutrophisation de l'air**. On s'attend à ce que cela n'ait qu'un impact limité, certainement dans une perspective spatiale plus large et incluant les activités qui se déroulent dans le port du Pays de Waes / Port d'Anvers. Toutefois, cet aspect sera pertinent lors de la discussion des impacts évités. Il convient cependant de noter que la traduction de ce dernier aspect à la biodiversité ne pourra se faire que de manière qualitative, car on ne connaît pas l'emplacement d'un éventuel dépôt d'azote supplémentaire. Si la section sur les **effets nucléaires** démontre qu'un impact du dépôt depuis les airs est à prévoir, celui-ci sera également abordé.

Des effets sur **l'occupation directe des terres** peuvent en principe se produire, puisque la prolongation de l'exploitation des centrales signifie que l'espace occupé ne peut pas être utilisé pour le développement de la nature.

Aucun effet susceptible d'avoir un impact sur la biodiversité n'est prévu pour les eaux souterraines (tant concernant le **niveau des eaux souterraines** que **leur qualité**). Ce point donc pas abordé plus avant dans la présente EIE. Enfin, aucune **modification de l'hydrologie** de l'Escaut n'est attendue. L'eau de refroidissement captée est en effet presque entièrement rejetée à nouveau, de sorte qu'on ne s'attend à aucun impact sur le niveau de l'eau, par exemple.

Il est aussi important de noter que la présence des lignes électriques à haute tension ne fait pas partie de l'EIE. Les lignes à haute tension appartiennent à Elia et des modifications du réseau 380 kV ne sont pas souhaitables afin d'éviter les points faibles du réseau à haute tension. De plus, les lignes à haute tension restent nécessaires pour alimenter le port d'Anvers en électricité.

3.3.3 Délimitation de la zone d'étude

La zone d'étude pour la discipline de la biodiversité est déterminée par la zone dans laquelle les effets peuvent se produire, complétée par des zones d'intérêt pour la nature. La distance sur laquelle on peut s'attendre à des effets varie considérablement entre les différents groupes d'effets.

Les zones de protection de la nature adjacentes sont au minimum incluses dans la zone d'étude. Il s'agit plus particulièrement de parties de la zone de protection spéciale de la directive Habitats (ZPS-H) « estuaire de la Durme et de l'Escaut de la frontière néerlandaise jusqu'à Gand » (BE2300006), de la zone de protection spéciale de la directive Oiseaux (ZPS-O) « Marais salants et polders de l'Escaut inférieur » (BE2301336) et de la zone de protection néerlandaise Escaut occidental (néerlandais : Westerschelde) et Saeftinghe (NL9802026) qui est une zone tant ZPS-H que ZPS-O. Les zones VEN à proximité se situent dans cette délimitation.

La zone d'étude est étendue à l'ensemble de la Belgique et aux zones limitrophes à l'étranger spécifiquement pour les effets évités.

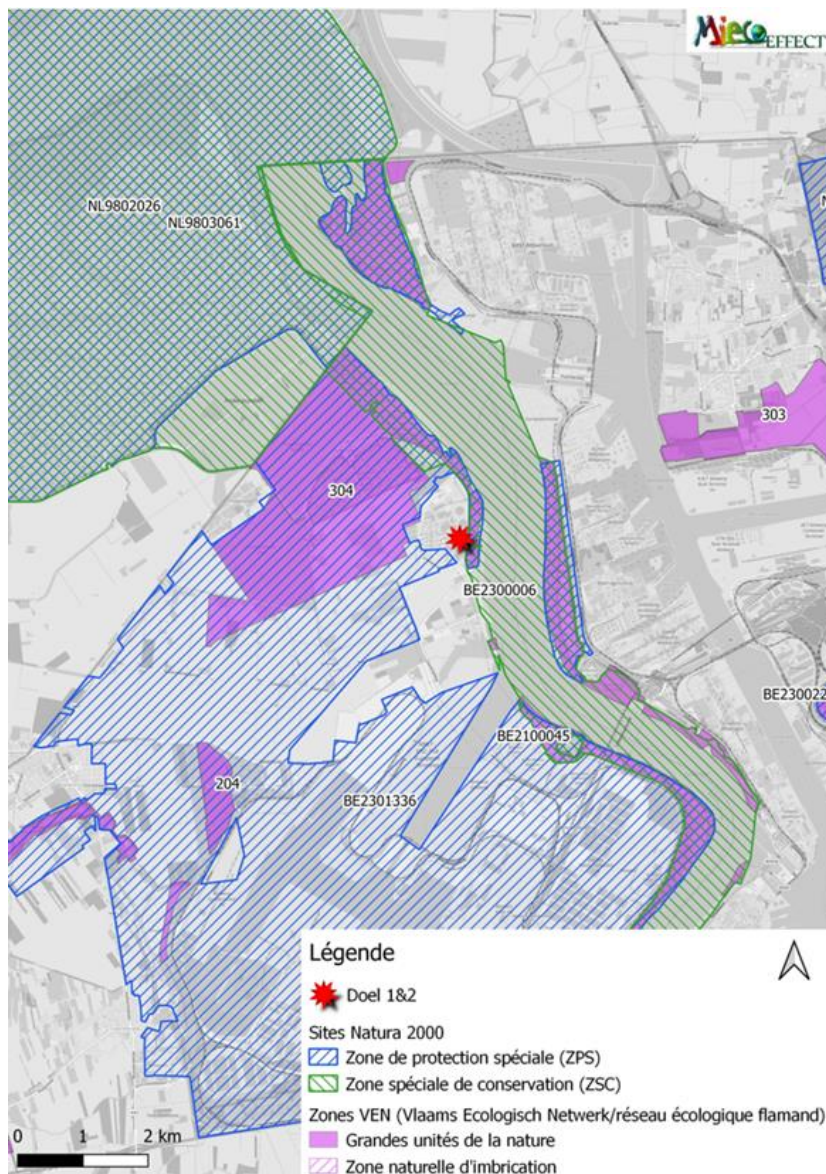


Figure 38 : Zones de protection de la nature.

3.3.4 Description de la situation de référence

Zones Natura 2000

La zone d'étude borde diverses zones de protection spéciale appartenant au réseau Natura 2000. Les objectifs naturels qui ont été fixés pour ces zones constituent donc une référence importante pour l'évaluation des effets. Le Tableau 22 illustre les espèces cibles pour toutes ces zones Natura 2000 qui soit chevauchent la zone d'étude, soit sont situés à proximité immédiate de la zone d'étude (voir Tableau 38).

Tableau 22 : Espèces cibles pour les zones Natura 2000 qui chevauchent ou se trouvent à proximité immédiate de la zone d'étude. X : espèce explicitement incluse comme cible, (x) : l'espèce est la cible d'une zone plus large que celle indiquée dans l'en-tête de colonne, / : l'espèce n'est pas la cible.

Espèce cible	Marais salants et polders de l'Escaut inférieur	Estuaire de l'Escaut et de la Durme de la frontière néerlandaise à Gand	Escaut occidental et Saeftinghe
<i>Oiseaux</i>			
Tadorne de Belon	x	x	x
Gorgebleue à miroir	x	x	x
Busard Saint-Martin	x	/	/
Grand gravelot	/	/	x
Bécasseau variable	/	/	x
Busard des roseaux	x	x	x
Bécasseau sanderling	/	/	x
Sterne naine	/	/	x
Grèbe	/	/	x
Pluvier doré	x	/	x
Oie cendrée	x	/	x
Chevalier aboyeur	/	/	x
Sterne caugek	/	/	x
Martin-pêcheur d'Europe	x	x	/
Chevalier combattant	x	/	/
Bécasseau maubèche	/	/	x
Vanneau huppé	/	/	x
Aigrette garzette	/	/	x
Cygne de Bewick	x	x	/
Avocette élégante	x	x	x
Mouette rieuse	x	x	/
Oie rieuse	x	/	x
Canard chipeau	x	x	x
Héron bihoreau	/	x	/
Râle des genêts	/	x	/

Espèce cible	Marais salants et polders de l'Escaut inférieur	Estuaire de l'Escaut et de la Durme de la frontière néerlandaise à Gand	Escaut occidental et Saeftinghe
Spatule blanche	x	x	x
Harle huppé	/	/	x
Canard pilet	x	x	x
Marouette ponctuée	x	x	/
Héron pourpré	/	x	/
Butor étoilé	x	x	/
Barge rousse	/	/	x
Huîtrier pie	/	/	x
Faucon pèlerin	/	/	x
Canard souchet	/	x	x
Canard siffleur	x	/	x
Tournepipe à collier	/	/	x
Échasse blanche	x	/	/
Gravelot à collier interrompu	x	/	x
Fuligule milouin	/	x	/
Chevalier gambette	/	/	x
Sterne pierregarin	x	/	x
Phragmite aquatique	x	x	/
Canard colvert	/	/	x
Sarcelle d'hiver	x	x	x
Blongios nain	/	x	/
Courlis cendré	/	/	x
Pygargue à queue blanche	/	/	x
Pluvier argenté	/	/	x
Chevalier arlequin	/	/	x
Mouette mélanocéphale	x	/	x
<i>Mammifères</i>			
Murin de Natterer	/	x	/
Pipistrelle commune	/	x	/
Murin à oreilles échanquées	/	x	/
Pipistrelle soprano	/	x	/
Sérotine commune	/	x	/

Espèce cible	Marais salants et polders de l'Escaut inférieur	Estuaire de l'Escaut et de la Durme de la frontière néerlandaise à Gand	Escaut occidental et Saeftinghe
Murin des marais	/	x	/
Noctule commune	/	x	/
Pipistrelle de Nathusius	/	x	/
Murin de Daubenton	/	x	/
Marsouin	/	/	x
Phoque gris	/	/	x
Phoque commun	/	/	x
Castor	/	x	/
<i>Mollusques</i>			
Vertigo angustior	/	/	x
<i>Poissons</i>			
Lamproie marine	/	/	x
Lamproie de rivière	/	x	x
Alose feinte	/	x	x
Bouvière	/	x	/
<i>Amphibiens</i>			
Grenouille verte	/	x	/
Triton crêté	/	x	/
<i>Insectes</i>			
Leucorrhine à gros thorax	/	x	/
<i>Plantes vasculaires</i>			
Liparis de Loesel	/	x	x

En plus des espèces, des objectifs naturels ont également été fixés pour les types d'habitats. La ZPS-H Estuaire de la Durme et de l'Escaut de la frontière néerlandaise à Gand est étendue et tous les habitats ciblés ne sont pas pertinents pour la présente EIE. Seuls les habitats se trouvant dans la partie proche des centrales nucléaires sont donc abordés.

Les types d'habitats présents sont divisés en deux grands types de paysages : l'estuaire et les zones humides terrestres. Les objectifs formulés pour ces types d'habitats sont doubles :

- D'une part, ces objectifs sont fixés en fonction des objectifs de conservation de la ZPS-H « BE 2300006 Estuaire de la Durme et de l'Escaut de la frontière néerlandaise à Gand ». Dans ces circonstances, il s'agit plutôt de mesures de conservation en dehors de la ZPS-H, qui visent à amener la ZPS-H à un état de conservation favorable.
- D'autre part, ces « objectifs » sont nécessaires pour amener la ZPS-O concernée à un état de conservation favorable, car elle est importante (en tant qu'habitat) pour les espèces d'oiseaux des habitats suivants : pâturage naturel d'eau douce, pâturage naturel salin, pré salé pâturé, vasières avec îles et côte de substitution.

Les types d'habitats suivants se présentent dans les estuaires de la partie belge de l'estuaire de l'Escaut :

- Type d'habitat 1130 : estuaires ;
- Type d'habitat 1320 : prés à *Spartina* (*Spartinion maritimae*) ;
- Type d'habitat 1330 : prés salés atlantiques (*Glauco-Puccinellietalia maritimae*).

Le type d'habitat suivant se présente dans les zones humides terrestres :

- Type d'habitat 1330 : prés salés atlantiques (*Glauco-Puccinellietalia maritimae*), sous-type végétations salines à l'intérieur des digues.

Toute la largeur de l'Escaut à hauteur de la zone d'étude a également été désignée comme zone de recherche temporaire pour le type d'habitat 1130 : estuaires. Une zone de recherche est une zone qui est préservée en vue du développement d'un habitat supplémentaire au cas où il y aurait encore des objectifs naturels en suspens.

Dans la ZPS « Escaut occidental et Saeftinghe », les types d'habitats suivants ont été identifiés comme cibles :

- Type d'habitat 1110B - Bancs de sable à couverture permanente, sous-type zone côtière de la mer du Nord
- Type d'habitat 1130 – Estuaires
- Type d'habitat 1140B - Replats boueux ou sableux
- Type d'habitat 1310A - Végétations pionnières salines, sous-type salicorne
- Type d'habitat 1310B - Végétations pionnières salines, sous-type sagine maritime
- Type d'habitat 1320 – Prés à *Spartina*
- Type d'habitat 1330A - Prés salés et prairies salines, sous-type à l'extérieur des digues
- Type d'habitat 1330B - Prés salés et prairies salines, sous-type à l'intérieur des digues
- Type d'habitat 2110 - Dunes embryonnaires
- Type d'habitat 2120 - Dunes blanches
- Type d'habitat 2130A - Dunes grises, sous-type calcaire
- Type d'habitat 2160 – Dunes à *Hippopbaë rhamnoides*
- Type d'habitat 2190B - Vallées dunaires humides, sous-type calcaire

Développement naturel futur Zone portuaire

Le Gouvernement flamand a récemment approuvé un arrêté concernant la fixation des objectifs de conservation et les priorités pour la zone de protection spéciale « BE 2301336 Marais salants et polders de l'Escaut inférieur ». Les objectifs naturels qui y sont fixés ont déjà été inclus dans la description du paragraphe précédent. L'arrêté concerne une modification d'un arrêté antérieur qui devait être approuvé pour des raisons d'urgence en rapport avec l'avancement requis du projet complexe Capacité de conteneurs supplémentaire Anvers (CCSA). Ce nouvel arrêté définit également les zones qui jouent actuellement un rôle nécessaire dans la réalisation des objectifs de conservation. Certaines de ces zones ont déjà été aménagées dans le passé. Une vue d'ensemble de ces zones est présentée dans la Figure 39. Certaines des zones ont été explicitement désignées comme « zone de compensation naturelle temporaire » et vont en principe disparaître et devront être remplacées si certains projets portuaires sont réalisés.

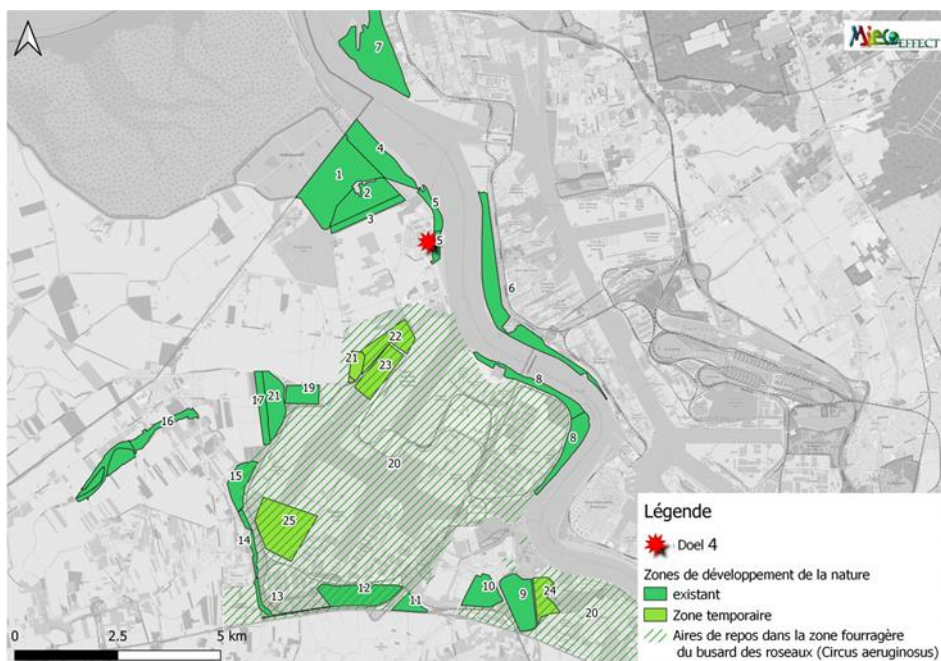


Figure 39 : Aperçu des zones de développement naturel existantes (permanentes et temporaires).

Tableau 23 : Numérotation des zones de développement naturel existantes.

N°	Zone	N°	Zone
1	Prosperpolder Noord	14	Spaans fort
2	Doelpolder Noord	15	Drijdijk
3	Brakke kreek	16	Grote Geule
4	Schor Ouden doel	17	Zoetwaterkreek
5	Estuariene natuur	18	Puttenweide
6	Galgenschoor	19	Putten west
7	Groot buitenschoor	20	Restgronden foerageergebied bruine kiekendief
8	Ketenissenschor	21	C59
9	Groot Rietveld	22	Opgespoten MIDA's
10	Rietveld Kallo	23	Gedempt Doeldok
11	triangle R2	24	Vlakte van Zwijndrecht
12	Haasop (seule la partie permanente est illustrée)	25	Verrebroekse plassen
13	Cours d'eau		

Toutefois, pour certaines des zones d'habitat à réaliser, il existe encore des objectifs de conservation ouverts pour lesquels des zones supplémentaires doivent être aménagées. Par exemple, jusqu'à 200 hectares supplémentaires devront être aménagés pour les espèces du groupe « roseaux et eau » s'il s'avère que les objectifs pour ce groupe d'espèces ne sont pas atteints avec les autres zones. Dans ce cas, les zones Nieuw Arenbergpolder phase II et Prosperpolder sud phase II seront aménagées. Une zone d'habitat supplémentaire de 250 ha est aussi nécessaire

pour les espèces des groupes « Pâturage naturel d'eau douce/salin » et « Marais salé pâturé ». À cette fin, (des parties des) les zones de Prosperpolder Nord et de Doelpolder centre seront aménagées.

Outre les zones requises pour la réalisation des objectifs de conservation, il faut également tenir compte du fait que des zones devront être désignées et aménagées au cas où des projets portuaires entraîneraient la perte de valeurs naturelles existantes.

Comme mentionné ci-dessus, la disparition de certaines zones de compensation naturelle temporaire entraînera nécessairement un nouveau besoin de réaliser des compensations naturelles ailleurs. Nous pouvons penser en premier lieu au projet Capacité de conteneurs supplémentaire Anvers (CCSA) à ce niveau.

Une analyse a également été réalisée récemment pour déterminer quelles parties de la zone portuaire ont encore un intérêt particulier pour atteindre les objectifs liés à la nature (Goovaerts & Indeherberg, 2020). Dans le cas de certains projets d'expansion portuaire, cela entraînera nécessairement l'exécution de compensations naturelles appropriées.

Toutefois, pour la plupart de ces projets, on ne sait pas encore tout à fait clairement où ces compensations auront lieu. Ce qui est déjà certain, c'est que les zones temporaires de Gedempt Doeldok, C59, Opgespotten MIDA's et Vlake van Zwijndrecht vont disparaître et que les valeurs naturelles qui s'y trouvent pour les espèces de la côte de substitution seront compensées à hauteur de Prosperpolder Zuid.

La Figure 40 donne un aperçu de toutes les nouvelles zones naturelles déjà connues actuellement qui devront probablement être développées, soit pour atteindre des objectifs de conservation, soit dans le cadre de programmes de compensation de la nature.

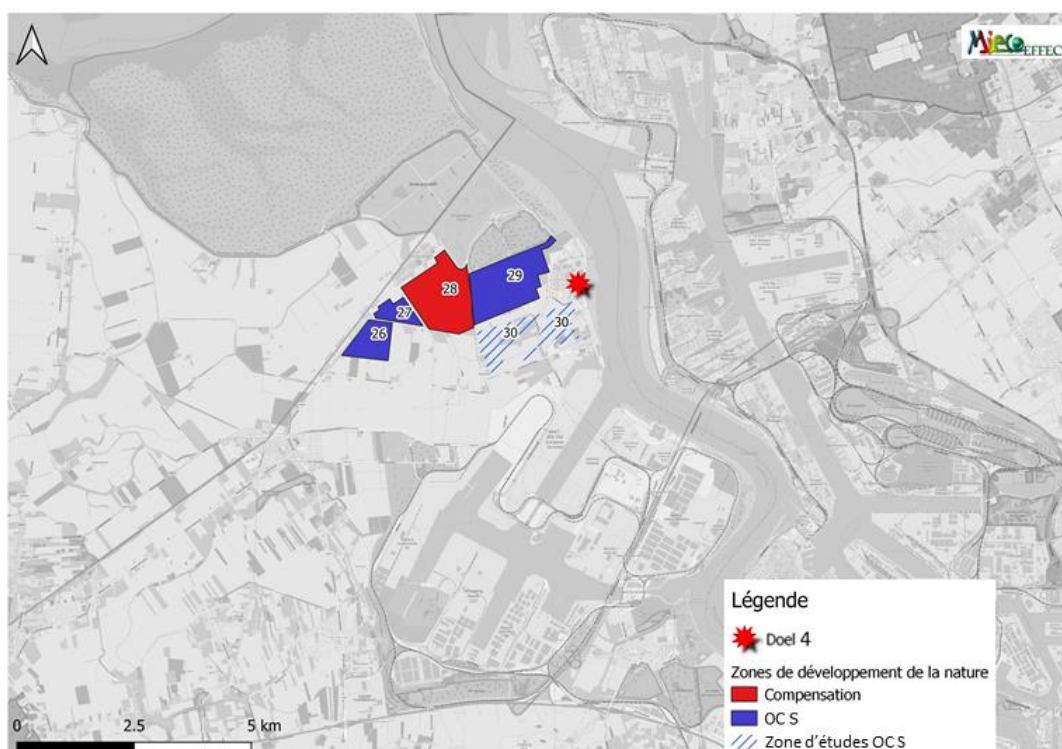


Figure 40 : Futures zones de développement naturel.

Tableau 24 : Numérotation des futures zones de développement naturel.

N°	Zone	Raison du développement
26	Nouveau Arenbergpolder phase II	OM-S Roseau et eau
27	Prosperpolder zuid phase II	OM-S Roseau et eau
28	Prosperpolder zuid phase I	Compensation de la disparition de Gedempt Doeldok, MIDA's + C59 et Vlake van Zwijndrecht pour le projet CCSA.
29	Doelpolder Midden	OM-S Pâturage naturel d'eau douce/salin et Marais salé pâturé
30	Doelpolder Zuid	Zone de recherche OM-S zone fourragère busard des roseaux, éventuellement aussi compensation de la zone fourragère du busard des roseaux

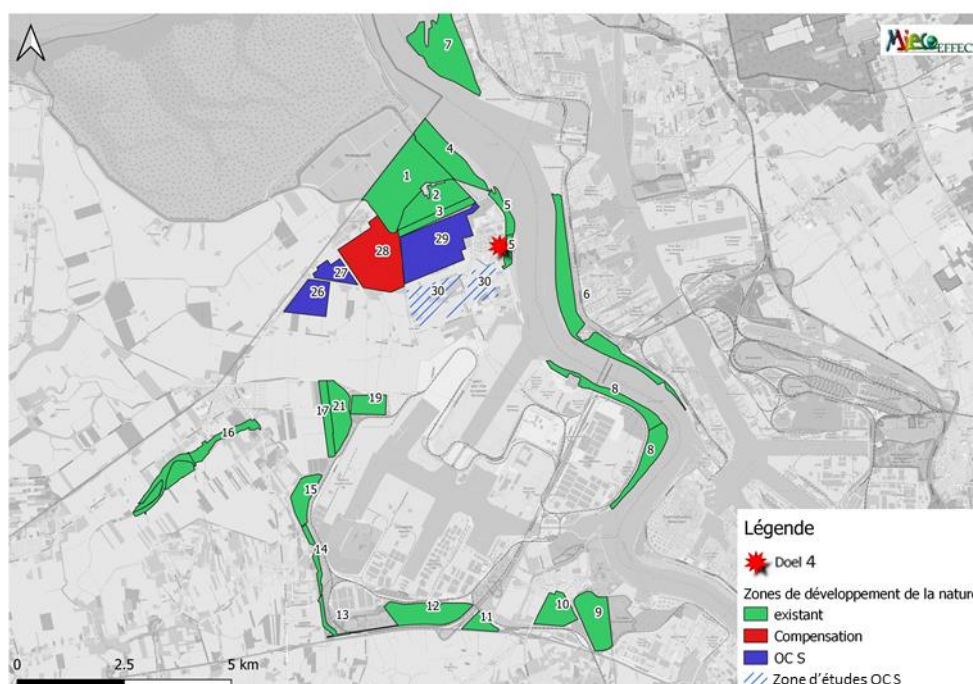


Figure 41 : Tableau final du développement naturel pour autant qu'il soit connu et basé sur des compensations naturelles à réaliser qui n'ont pas encore été clarifiées.

Zones VEN

Certaines parties de la ZPS sont également désignées comme zone de protection au niveau flamand et font donc partie du VEN (voir également la Figure 38). Les zones VEN les plus importantes à proximité de la zone d'étude sont « De Wase Scheldepolders » (les polders de l'Escaut inférieur) et « De slikken en schorren langs de Schelde » (les vasières et marais salants le long de l'Escaut). Ces deux zones sont brièvement décrites ci-dessous.

De Wase Scheldepolders (Code : 204)

Nous retrouvons dans cette zone différents types de ruisseaux, de digues ou de collets, de mares et un terrain à remblayage hydraulique. Les éléments structurels sont deux ruisseaux (vestiges d'un ancien système de crique d'origine marine), quelques mares (parfois avec la formation de rills flottants lors de l'accrétion des terres, comme le Panneweel), des digues (construites lors de la création des polders), des collets (lorsqu'une digue est réparée

après une rupture, avec construction autour de la mare formée), des crêtes de ruisseau, des prairies humides de la vallée du ruisseau situées plus bas et le complexe du Groot Rietveld.

Les deux ruisseaux sont le complexe de ruisseaux d'eau douce de Saleghem (Grote Geule) et le ruisseau légèrement saumâtre « De Grote Geule » près de Kieldrecht. Tous deux sont reliés par la voie navigable de Kieldrecht. Les espèces végétales particulières de ce complexe de ruisseaux sont la fougère des marais, la cladie marisque (*Cladium mariscus*), le carex pointillé et le carex tardif.

Le Groot Rietveld est situé dans le Melselepolder, un polder de rupture à remblayage hydraulique. Nous y trouvons une grande roselière avec des mares, des parties herbeuses et marécageuses. Cette végétation et les différentes transitions (en termes d'humidité et de teneur en sel) constituent un habitat approprié pour un grand nombre de plantes et d'oiseaux rares.

On y trouve des espèces de bancs et de marais ainsi que des plantes de milieux salins comme l'aster maritime et le jonc des prés salés. La zone fait également le lien entre les vasières, les marais salants et les prairies humides le long de l'Escaut et des noyaux naturels de la Zandstreek. Les espèces d'oiseaux nicheurs remarquables sont l'avocette, le busard des roseaux, le butor étoilé, le bruant des roseaux, la locustelle luscinoïde, la locustelle lancéolée, la panure à moustaches et la gorgebleue à miroir.

C'est une zone importante pour les espèces migratrices ou hivernantes telles que le pluvier doré, le chevalier combattant, l'oie rieuse, l'oie cendrée, le tadorne et le canard chipeau.

Les vasières et les marais salants le long de l'Escaut (Code : 304)

La voie navigable de l'Escaut ainsi que les vasières et marais salants adjacents, avec leur action marémotrice très dynamique, ont une très grande valeur écologique. La forte productivité naturelle de l'écosystème permet de nombreuses espèces, souvent en grand nombre. La transition de l'eau salée à l'eau douce dans la zone de marée est importante. La présence de marais d'eau douce est unique en Flandre. Ils sont également extrêmement rares ailleurs en Europe.

Quelques plus grandes zones naturelles (Verdronken land van Saeftinghe, Groot Buitenschoor, Galgenschoor) forment les noyaux du système naturel. Les zones riveraines intermédiaires - plutôt étroites - forment des liaisons très importantes. La sécurité (rétention d'eau) et le transport sont compatibles avec la fonction principale de la nature. Les loisirs peuvent également être incorporés.

Les espèces les plus remarquables sont l'avocette, la loche de rivière, la lamproie de rivière, le triton crêté, le populage des marais, l'aigremoine élevée, la centenille naine, l'ophrys abeille, la pirole à feuilles rondes, la petite et la grande spéculaire. C'est une zone importante pour les espèces migratrices et hivernantes telles que le pluvier doré, le combattant varié, l'oie des moissons, l'oie rieuse, l'oie cendrée, le canard chipeau et le canard souchet.

PPE (programme de protection des espèces)

Le décret Espèces prévoit la possibilité d'élaborer un programme de protection des espèces (PPE). Un tel programme est élaboré en concertation avec les groupes cibles concernés et comprend un certain nombre de mesures visant à faire en sorte qu'une espèce (ou plusieurs espèces) atteigne un statut favorable en Flandre.

Un programme de protection des espèces peut être établi tant pour les espèces à protéger en Europe que pour d'autres espèces importantes pour la Flandre. Sur la base d'un certain nombre de critères, un ordre de priorité est établi pour les espèces pour lesquelles un programme de protection des espèces doit être élaboré. L'état de la liste rouge et les besoins de surface des espèces sont pris en compte, ainsi que le besoin de liaisons écologiques et si d'autres espèces peuvent également bénéficier des mesures de protection.

Avec un AM du 23 mai 2014, le « Programme de protection des espèces du port d'Anvers » a été établi et se concentre sur 90 espèces protégées dans l'environnement portuaire. Pour un certain nombre « d'espèces parapluies », un plan de protection des espèces individuel (PPEI) a été élaboré, comprenant un certain nombre de

dispositions et d'actions. Actuellement, ce PPE est en cours d'évaluation en vue d'un éventuel suivi au cours de la période 2019-2024. Une meilleure coordination avec les autres PPE au niveau flamand sera probablement recherchée, et les objectifs de conservation des ZPS au niveau flamand seront davantage pris en compte. Les objectifs pour les différentes espèces animales et végétales devront s'y ajuster. Cependant, comme ce processus est toujours en cours, le seul point de référence est le PPE tel qu'il se présente aujourd'hui.

L'objectif du programme de protection des espèces du port d'Anvers est de protéger activement les espèces animales et végétales présentes dans la zone portuaire afin que leurs populations puissent être maintenues durablement.

Les différentes mesures de protection sont associées à 14 espèces dites parapluies. Celles-ci sont choisies de manière à ce que les mesures prises pour ces espèces soient également bénéfiques pour d'autres espèces, les espèces dites profiteuses.

La plupart des PPE sont peu pertinents pour ce RIE ou les sites d'intérêt dans le PPE font déjà partie d'une zone de protection, l'impact est donc de toute façon étudié. Il convient de mentionner que depuis 1996, la tour de refroidissement dispose d'un nichoir pour les faucons pèlerins, où ceux-ci viennent couvrir régulièrement.

Soulignons qu'une nouvelle version du programme de protection des espèces pour le port d'Anvers est actuellement en cours d'approbation pour faire suite à la première version de ce PPE.

Éléments de qualité biologique

La directive-cadre de l'UE sur l'Eau (DCE), traduite en Flandre par le décret sur la Politique intégrée de l'Eau (DPIE), stipule que les eaux de surface doivent être testées non seulement par rapport à leur qualité chimique, mais aussi par rapport à leur qualité biologique en utilisant des éléments dits de qualité biologique. L'évaluation doit être exprimée, pour chaque élément de qualité (biologique), sous la forme d'un Coefficient de Qualité Écologique (CQE). Il peut prendre une valeur entre 0 et 1, où 1 représente un très bon état écologique et 0 un très mauvais état écologique.

La masse d'eau Escaut maritime IV (VL17_43), où la centrale nucléaire prélève et rejette ses eaux de refroidissement et rejette également ses eaux usées, est une masse d'eau fortement modifiée du type eaux de transition O1 eau saumâtre (eau saumâtre, macrotidal estuaire de plaine). Les éléments de qualité biologique évalués sont des macrophytes, des macro-invertébrés et des poissons. Les éléments de qualité que sont le phytoplancton et le phytobenthos ne sont pas évalués ici.

Lors de la dernière évaluation, en 2018, la masse d'eau a été jugée « insuffisante pour les macrophytes, « moyenne » pour les macro-invertébrés et « bonne » pour les poissons.

Outre les éléments de qualité biologique, le critère de l'hydromorphologie est également pertinent pour la discipline de la biodiversité. Le CQE hydromorphologie est effectivement calculé pour la masse d'eau Escaut maritime IV sur la base des surfaces dites physiotes des vasières, des marais salés et des eaux peu profondes. Lors de la dernière évaluation, la note obtenue pour ce critère était « insuffisante ».

MONEOS

Au sein de la Commission de l'Escaut pour la Flandre et les Pays-Bas (VNSC), la Flandre et les Pays-Bas travaillent ensemble pour un estuaire de l'Escaut durable et vital. Dans le groupe de travail Recherche et Méthodologie du VNSC, un accord a été conclu sur un programme de surveillance et de recherche à long terme visant à soutenir la coopération transfrontalière en matière de politique et de gestion dans l'estuaire de l'Escaut : MONEOS. Ce programme de surveillance a été conçu de manière à répondre aux objectifs de divers cadres politiques, d'une part, et à fournir un aperçu du fonctionnement de l'estuaire de l'Escaut et des effets des interventions/mesures dans le système, d'autre part. Le programme s'appuie sur les activités de surveillance existantes et s'efforce d'assurer l'intégration et l'alignement par-delà les frontières.

Un des points de mesure du programme MONEOS (point de mesure 154100 de la VMM) est situé juste en aval de la centrale nucléaire. À cet endroit, on surveille tant la qualité générale de l'eau que les macro-invertébrés. La qualité

du fond de l'eau est également évaluée à l'aide de la méthode TRIADE. Cette méthode intègre les résultats des analyses chimiques, biologiques et écotoxicologiques.

La composition de la communauté de macro-invertébrés dans les boues est très différente de celle des autres points de mesure du programme MONEOS. Des espèces qui ne se trouvent pas plus en amont se trouvent dans cette zone et plusieurs espèces atteignent leurs plus fortes densités et biomasses. La principale explication à cette observation est la salinité. Le point de mesure à hauteur de Doel est en effet le seul point de mesure dans la zone mésohaline, ce qui signifie que l'on peut trouver plus d'espèces que dans la zone oligohaline, qui est généralement plutôt pauvre en espèces (Van de Meutter et al., 2020).

La surveillance TRIADE révèle essentiellement que la qualité du fond de l'eau s'est considérablement améliorée depuis 2007 (Tableau 25). De très mauvaise qualité (score 4), la qualité est maintenant mauvaise (score 3) à moyenne (score 2). Lors du dernier relevé, un bon score (1) a été obtenu.

Tableau 25 : Résultats de la surveillance TRIADE au point de mesure VMM 154100.

Dag	Monster Triade Eindklasse MOW	Monster Triade Fysico Chemie Eindklasse MOW	Monster Triade Ecotoxicologie Eindklasse MOW	Monster Triade Biologie Eindklasse MOW
01/08/2001	4	3	3	2
14/04/2003	4	3	4	4
18/04/2007	3	2	2	4
28/04/2010	2	2	2	1
08/05/2014	3	3	1	3
07/12/2015				
23/01/2017	2	3	1	1
13/02/2019		1	1	

Végétations et habitats

La carte d'évaluation biologique (version 2020) donne une image des végétations de grande et moins grande valeur à proximité immédiate de la centrale (Figure 42). La végétation de grande valeur se situe principalement près des vasières et des zones de marais salants de l'Escaut et sur les digues.

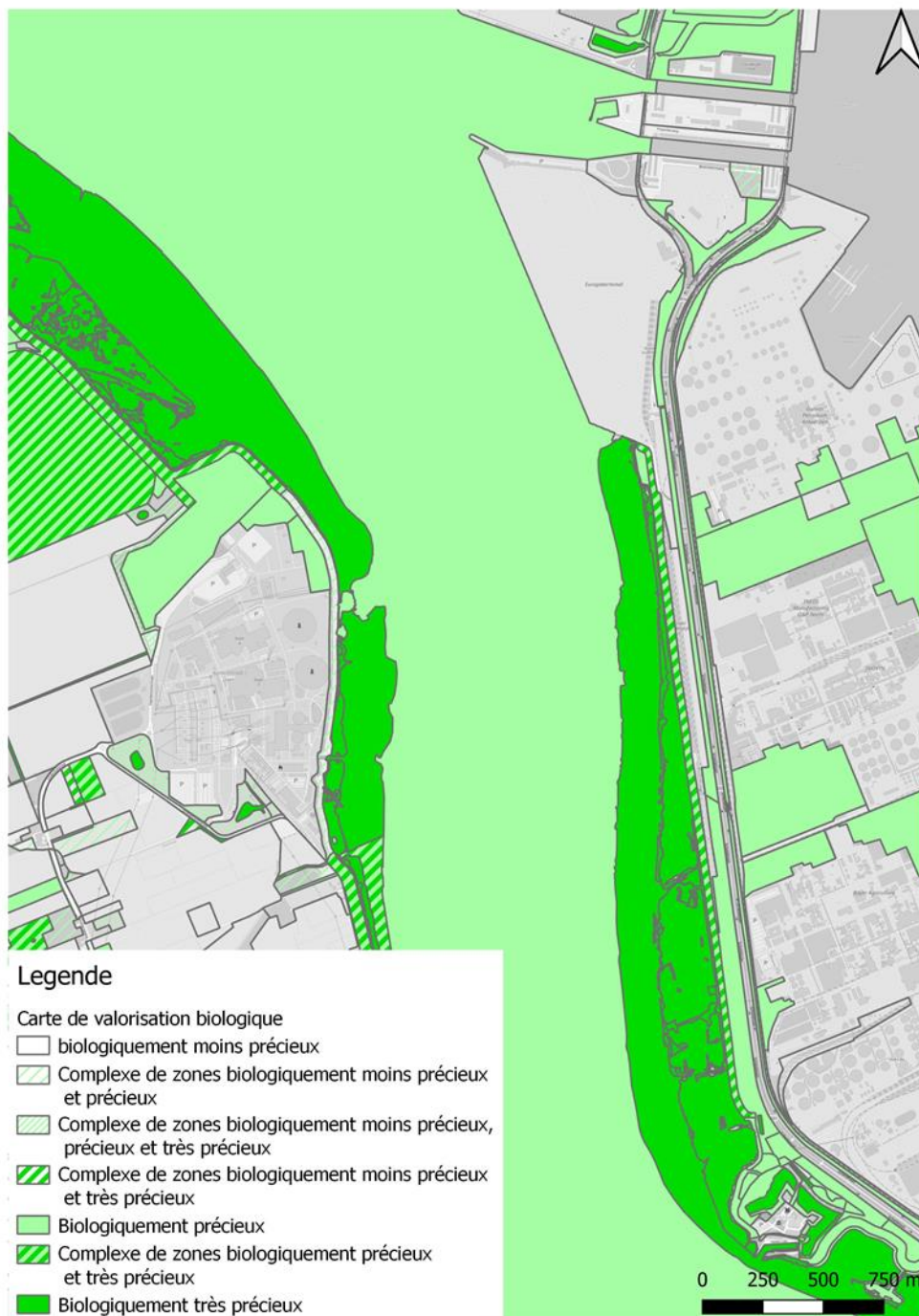


Figure 42 : Carte de valorisation biologique (version 2020) à proximité immédiate de la centrale.

Une grande partie de ces végétations de grande valeur sont également désignées comme types d'habitats européens (Figure 43). Le chenal de l'Escaut est désigné comme type d'habitat 1130 (Estuaires). Les végétations des marais salés sont désignées comme 3130_da (prés salés atlantiques), les prairies de grande valeur sur les digues sont désignées comme type d'habitat 6510 (prairies de fauche de basse altitude). Les zones proches du site qui sont colorées sur la carte des habitats comme « partiellement habitat » concernent principalement les végétations du biotope d'importance régionale « rbbmr » (marais à roseaux).

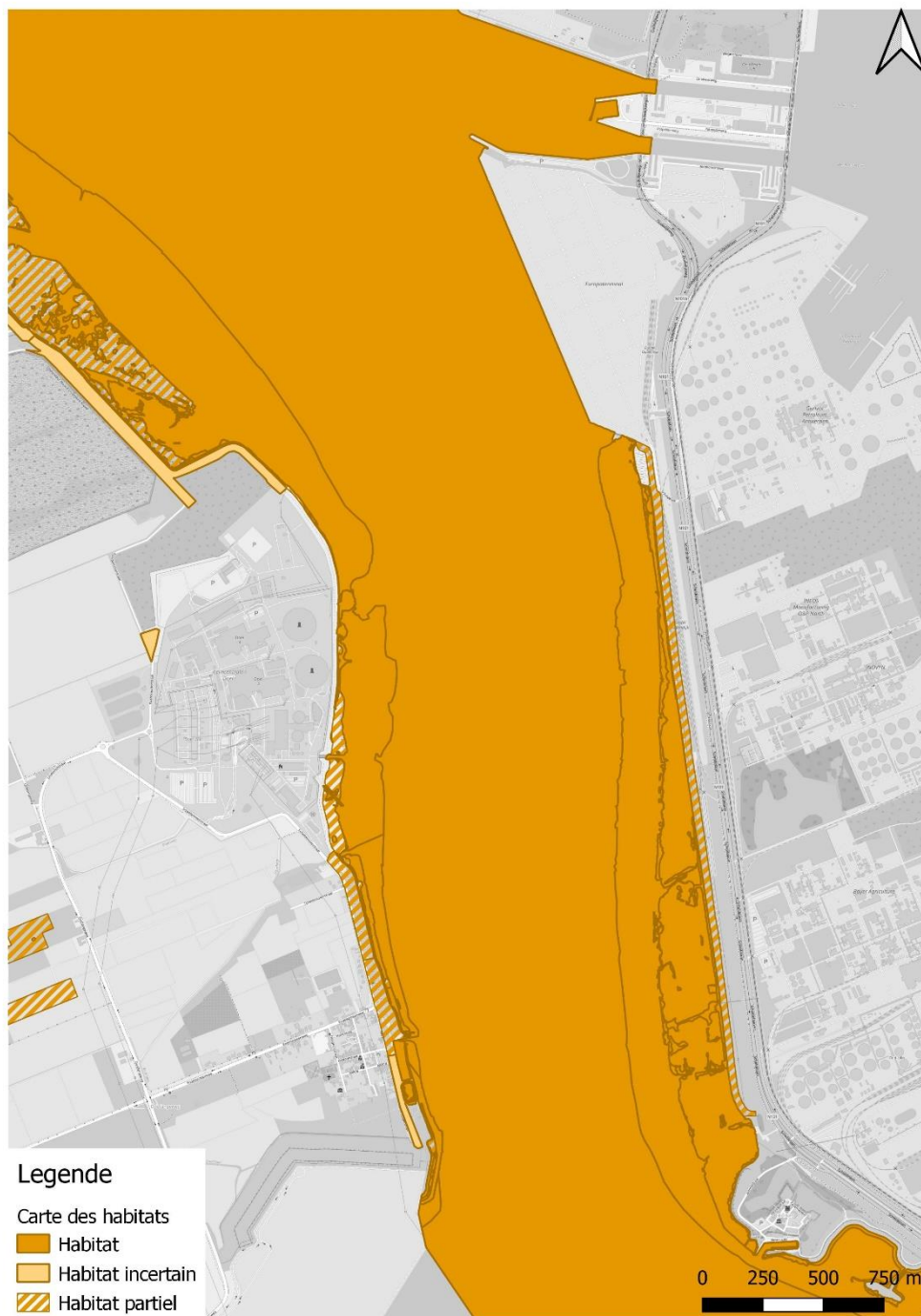


Figure 43 : Carte des habitats à proximité immédiate de la centrale.

Outre les habitats actuels, les zones de recherche provisoires sont également importantes. Selon le décret Nature, art. 2 (définitions), 70° est une zone de recherche :

« Une zone qui indique par espèce européenne à protéger et par habitat européen à protéger le périmètre à préserver en vue de placer au mieux les objectifs de conservation pour la zone de protection spéciale concernée. La taille de la zone de recherche est déterminée par la superficie nécessaire pour atteindre le solde restant de l'objectif pour l'habitat ou l'espèce à protéger au niveau européen. »

Un objectif de conservation n'est « placé » que lorsque l'aménagement et la gestion de la parcelle concernée ont été convenus dans un plan de gestion de la nature ou un accord contractuel équivalent entre le Gouvernement flamand et le gestionnaire/propriétaire. Tant qu'une partie de la cible n'a pas été incluse dans la zone pertinente pour un habitat où le type d'habitat a été défini comme cible, l'existence d'une zone de recherche continuera de s'appliquer.

Pour les abords de la zone d'étude, l'ensemble de l'Escaut (y compris les marais salants) a été colorié comme zone de recherche pour le type d'habitat 1130 (estuaires).

3.3.5 Description des effets

Modification de la qualité des eaux de surface

L'exploitation des centrales nucléaires peut avoir un impact sur les organismes présents dans l'Escaut de différentes manières. Une distinction est faite entre les eaux usées sanitaires/eau de pluie, les eaux usées industrielles et les eaux de refroidissement. Tous ces rejets sont examinés en détail dans le RIE du projet (Arcadis, 2021) et leur impact sur la qualité de l'eau est également expliqué dans la présente EIE dans la discipline Eau.

La norme de rejet est respectée pour la plupart des paramètres. Pour les paramètres nitrite et AOX (composés organohalogénés adsorbables), des dépassements de la norme de rejet sont toutefois mesurés et ne peuvent pas être facilement expliqués, par exemple, par des erreurs de mesure ou des valeurs aberrantes ponctuelles. Si l'on considère l'ensemble de la masse d'eau, il ne semble pas y avoir de dépassement des normes de qualité environnementale. En ce qui concerne l'impact thermique de l'eau de refroidissement, bien que les normes de rejet aient été respectées, l'impact sur l'Escaut a localement entraîné un dépassement des normes de qualité environnementale. L'impact principal des rejets est en tout cas limité à la zone située à l'intérieur de la digue longitudinale.

Il convient de noter qu'il n'y a qu'un seul point de rejet pour les quatre centrales nucléaires. Cela signifie également qu'aucune distinction stricte ne peut être faite entre les rejets de Doel 4 et ceux des autres centrales encore en fonctionnement au moment des relevés. La contribution de Doel 4 aux rejets totaux est estimée à 30 % sur la base des rapports environnementaux.

Eutrophisation

Les normes de rejet pour le nitrite n'ont pas été respectées en 2013-2014 et les valeurs pour la période 2015-2019 sont similaires. Cependant, la contribution à la norme de qualité environnementale pour l'ensemble de la masse d'eau est faible. Pour l'ensemble de la masse d'eau, les paramètres relatifs aux éléments nutritifs nitrate + nitrite + ammonium et orthophosphates sont dépassés. Pour ce paramètre également, la contribution des centrales nucléaires est en moyenne très faible.

Cependant, pour ces paramètres, les valeurs moyennes ne sont pas les seules à être importantes ; les charges de pointe peuvent également avoir un impact important. Une partie de l'explication du rejet plus élevé peut être trouvée dans le fonctionnement sous-optimal de la station d'épuration où trop d'eau finit par se déverser, provoquant de fréquents débordements. On peut donc s'attendre à des charges de pointe.

En principe, l'augmentation de la charge en nutriments peut donc avoir un impact localement, au niveau de la zone située à l'intérieur de la digue longitudinale. Lorsque les niveaux de nutriments sont plus élevés, des changements peuvent se produire au sein des communautés d'espèces, car les espèces à croissance rapide sont favorisées. Cependant, cela ne ressort pas clairement, par exemple, des résultats de suivi du programme MONEOS, où la zone proche des centrales nucléaires est très riche en espèces. Comme mentionné ci-dessus, la raison de cette richesse en espèces se trouve davantage dans le taux de salinité qui est plus favorable dans cette zone que dans d'autres parties de l'Escaut.

De plus, il n'y a pas si longtemps encore, l'Escaut était fortement pollué, en partie à cause de l'absence d'épuration des eaux usées de Bruxelles. La qualité de l'eau s'améliore donc encore et il n'existe pas de bonne référence sur la richesse des espèces qui pourrait être atteinte en cas de bonne qualité de l'eau (communication verb. F. Van de

Meutter, INBO). En outre, de nombreux autres facteurs ont un impact sur les populations, comme l'état hydromorphologique défavorable de l'Escaut.

En raison de la complexité des facteurs ayant un impact sur les populations à l'intérieur de la digue longitudinale, il est impossible de savoir si les rejets y ont localement un impact significatif. Cependant, une influence toxique directe de l'augmentation des concentrations de nitrites peut être exclue. Pour l'ensemble de la masse d'eau, on s'attend à ce que les rejets aient peu d'impact.

AOX

Une analyse similaire peut être faite pour les concentrations en AOX. L'augmentation des concentrations en AOX dans les eaux rejetées est due à l'ajout de produits dans l'eau de refroidissement pour lutter contre la croissance d'organismes dans les conduites (bio-fouling). Là encore, la contribution à la norme de qualité environnementale pour l'ensemble de la masse d'eau est négligeable, mais théoriquement, il peut y avoir un impact au niveau de la zone située à l'intérieur de la digue longitudinale.

Toutefois, étant donné que l'évaluation TRIADE des fonds de l'eau en aval du point de rejet ne montre aucun impact, des effets écotoxicologiques significatifs peuvent être exclus. Même dans ce cas, il est cependant difficile de savoir s'il n'y a pas d'impact négatif, car la qualité de l'eau s'améliore encore et il n'existe aucune référence pour déterminer le véritable bon état.

Température

Les changements des conditions thermiques peuvent avoir des répercussions sur l'écosystème de plusieurs façons. Une conséquence directe peut être la mortalité due à des températures mortelles. Pour les espèces sensibles telles que la truite de mer et l'éperlan, la température à laquelle la mortalité se produit est respectivement de 26-27°C et 26-29°C (Kerkum et al., 2004). Au-dessus de 33-34°C, diverses espèces de macro-invertébrés (gammare, cloportes), le zooplancton, le phytoplancton et les diatomées sont également en difficulté (Kerkum et al., 2004). Ces conditions se produisent principalement au niveau local. Au niveau régional, l'augmentation de la température affecte également l'écologie en provoquant des changements dans l'écosystème : les cycles de vie des organismes sont perturbés, ce qui crée un « décalage » dans le calendrier des étapes de la vie. À des températures supérieures à 20 °C, on peut déjà observer des changements dans les communautés de phytobenthos. Pour un certain nombre d'espèces de poissons (dont l'éperlan et la grémille), une température de l'eau de <10°C est nécessaire pendant la période de frai (hiver/printemps). Si cette température n'est pas atteinte, la reproduction stagne.

Un autre effet, important tant localement que régionalement, est l'apparition d'espèces exotiques qui survivent à l'hiver dans les zones plus chaudes (surtout localement) et influencent ensuite la communauté de vie naturelle en été (également régionalement). Des espèces caractéristiques de macro-invertébrés et de poissons peuvent être évincées au cours du processus. Enfin, moins d'oxygène peut se dissoudre dans une eau plus chaude, ce qui entraîne des carences plus rapidement et la disparition d'espèces critiques (Evers, 2007).

L'étude du panache d'eau de refroidissement (voir discipline Eau) a démontré qu'à courte distance du point de rejet (max. 1050 m), la température moyenne de l'eau de l'Escaut peut augmenter de plus de 3°C. Cet effet n'est observé qu'à l'intérieur de la digue longitudinale. Des augmentations de température comprises entre 1 et 3 °C semblent se produire à marée basse et lors du changement de marée jusqu'à une distance maximale d'environ 1300 m du point de rejet, la zone qui se trouve encore dans la digue longitudinale. À marée haute, une augmentation de température de 1 à 3 °C se produit à l'extérieur de la digue longitudinale jusqu'à 500 m maximum du point de rejet à l'est et jusqu'à 800 m maximum en amont du point de rejet vers le sud. La taille du panache de chaleur est la plus importante au changement de marée basse. La zone délimitée par une température supérieure à 25 °C est entièrement située à l'intérieur de la digue longitudinale. Il convient de souligner qu'aucune distinction ne peut être faite entre l'eau de refroidissement provenant de Doel 4 et celle des trois autres centrales nucléaires, qui étaient encore toutes en activité à cette époque.

Les relevés dans le panache d'eau de refroidissement démontrent qu'il n'y a pas d'appauvrissement en oxygène de l'eau de l'Escaut suite au rejet d'eau de refroidissement chaude, mais plutôt un léger enrichissement (lorsque l'eau de refroidissement passe par le processus de refroidissement, l'eau est fortement aérée).

Pour les poissons, des recherches ont été menées par l'INBO en 2012 et en 2013 (Breine & Van Thuyne, 2012 et 2013). Ils ont étudié les ressources halieutiques à l'intérieur et à l'extérieur de la digue longitudinale. L'étude n'a révélé aucune différence dans la présence d'espèces exotiques. La principale différence entre les deux zones était qu'il y avait plus de poissons à l'intérieur de la digue longitudinale. Certaines espèces utilisent la zone réchauffée à l'intérieur de la digue longitudinale comme zone de croissance.

L'étude a révélé une abondance accrue d'espèces indigènes appréciant la chaleur (bar et sole) à l'intérieur de la digue longitudinale. Outre les poissons, des crevettes et des crabes ont également été pêchés, tels que la crevette orientale, la grande crevette rose, les crevettes grises et le crabe chinois. On les trouve principalement à l'intérieur de la digue longitudinale.

Les impacts sur les populations de macro-invertébrés, de phytobenthos et de phytoplancton n'ont pas été étudiés. Au sein de ces populations, on peut s'attendre à des changements locaux favorisant les espèces moins sensibles ou appréciant la chaleur au détriment d'autres espèces, peut-être plus typiques. Toutefois, la plupart de ces effets ne se produiront que localement, à la hauteur de la digue longitudinale, et n'affecteront pas le reste du système fluvial. De plus, cette zone de l'Escaut, avec sa salinité variable, est très pauvre en espèces. Il n'y a effectivement que peu d'espèces qui peuvent se développer dans ces conditions spécifiques. La possibilité de changements significatifs dans la composition des espèces est donc plus limitée ici que dans d'autres systèmes.

Toutefois, dans leur avis sur d'éventuelles études de surveillance à hauteur du panache d'eau de refroidissement. Van den Bergh et al. (2012) affirment que pour les macro-invertébrés, il y aurait des indications que des espèces plus exotiques se trouvent à proximité de la centrale nucléaire. Certaines espèces ont été découvertes pour la première fois près de la centrale nucléaire, tandis que d'autres n'y sont présentes que dans l'Escaut maritime et que d'autres encore ont une répartition plus large. Sur la base de ces observations, ils suggèrent que la présence de ces espèces laisse supposer que la pollution thermique pourrait constituer un terrain de reproduction local pour les espèces exotiques. Il y a toujours un risque que les espèces développent un caractère plus invasif (par exemple, par adaptation au froid) et se propagent davantage. Comme de nombreuses espèces possèdent des stades larvaires planctoniques, cette dispersion peut être très rapide et de grande envergure. Dans d'autres aperçus de la communauté des macro-invertébrés dans l'Escaut (Speybroeck et al., 2014) ou de la présence d'espèces exotiques en général (Adriaens et al., 2020), la présence d'espèces exotiques n'est toutefois pas liée à la présence de la centrale nucléaire, mais au rejet des eaux de ballast des navires dans le port et à la présence de substrats de berge durs artificiels.

Étant donné qu'à l'avenir le rejet sera limité à la seule eau de refroidissement de Doel 4 et que celle-ci ne représente que 30 % de l'ancien débit de rejet, on peut s'attendre à ce que l'impact futur soit de toute façon beaucoup plus faible que ce ne fut le cas lors des campagnes de mesure. Étant donné que l'impact du rejet thermique était auparavant limité à la zone à l'intérieur de la digue longitudinale et qu'il n'y avait pas d'effets clairs sur la présence d'espèces exotiques, on ne s'attend pas à ce que ce soit le cas en raison de l'exploitation prolongée de Doel 4. L'effet est limité.

Effets indirects sur les oiseaux

L'impact des rejets sur la qualité de l'eau pourrait également avoir des effets indirects sur les oiseaux de la ZPS-O. Beaucoup de ces espèces s'alimentent en effet dans les vasières de l'Escaut. Un impact important sur les macro-invertébrés ou les poissons à hauteur de l'Escaut ou de la vasière derrière la digue longitudinale peut donc avoir des conséquences sur la disponibilité de la nourriture pour les oiseaux.

La répartition des eaux de rejet dans l'Escaut est difficile à modéliser. Toutefois, le suivi de l'impact thermique permet d'obtenir une image de la dispersion attendue. Ce suivi démontre que l'impact est largement limité à la zone située à l'intérieur de la digue longitudinale. Plus important encore, le panache ne s'étend en aval du point de rejet qu'à la

marée descendante. À ce moment-là, la vasière est sèche et il y a peu d'influence. Au changement de marée et à marée montante, le panache se trouve en amont du point de rejet et a donc également peu d'impact sur les vasières qui sont alors sous eau. C'est pourquoi on peut s'attendre à ce que l'impact des rejets sur les organismes dans la vasière soit plutôt limité.

Pour les poissons, qui peuvent être importants en tant que nourriture pour certaines espèces d'oiseaux (piscivores), l'impact serait potentiellement plus important. Cependant, les résultats du suivi effectué par l'INBO indiquent qu'à l'intérieur de la digue longitudinale, il y a justement plus de poissons qu'à l'extérieur.

En résumé, on peut s'attendre à ce que l'impact des rejets sur la disponibilité pour les oiseaux de la ZPS-O soit limité.

Effet de barrière

Une étude réalisée par Aqua Terra (Kikkert & Beers, 2006) a démontré que les poissons qui aiment les cours d'eau sont affectés par la température de l'eau pendant la migration si celle-ci dépasse 23 °C. Les poissons semblent toutefois bien capables de détecter et d'éviter les températures plus élevées.

Les recherches sur le panache d'eau de refroidissement (voir la discipline Eau) indiquent que celui-ci est limité à la zone située à l'intérieur de la digue longitudinale. Une partie importante de la largeur de la rivière n'est donc pas affectée, ce qui ne créera pas de barrière pour les espèces de poissons migrateurs.

Pour d'autres effets et groupes d'espèces également, le fait que seule une partie de la largeur de l'Escaut soit influencée offre des garanties suffisantes qu'aucune barrière majeure à la migration n'apparaîtra.

Par conséquent, le plan n'aura aucun impact en termes d'effet de barrière.

Mortalité

La centrale nucléaire extrait l'eau de refroidissement de l'Escaut par une prise d'eau qui est spatialement séparée en deux parties distinctes : une pour le refroidissement des tranches Doel 1 et Doel 2 et une autre pour les tranches Doel 3 et Doel 4. L'eau est toujours d'abord passée à travers un tamis pour filtrer les objets présents afin d'éviter l'obstruction des conduites. Cependant, cela se fait différemment pour les deux points de captage.

Pour le point de captage de l'eau de refroidissement de Doel 1 et 2, l'épuration mécanique se fait à l'extérieur de la digue, au niveau de la prise d'eau elle-même, au moyen de grilles sur la prise d'eau. Les poissons et les crustacés n'ont aucun risque de se retrouver dans le circuit d'eau de refroidissement. Par conséquent, aucune mortalité de poissons ou de crustacés n'est observée à ce point de captage.

C'était autrefois le cas pour Doel 3 et 4. Pour ces centrales, le choix s'est porté sur un captage d'eau de refroidissement dans lequel l'eau est d'abord amenée par gravité de l'Escaut vers un puits de collecte sur le site même. Depuis 1991, pour étudier l'impact de la centrale sur les ressources halieutiques, des prélèvements sont effectués régulièrement sur les poissons et crustacés aspirés par la station de pompage. Chaque année, une moyenne de 100 millions de poissons et de crevettes (100 tonnes) finit sur les tamis à bande de la centrale électrique (Maes, 2001⁵⁷). Il s'agissait principalement de jeunes poissons et crustacés qui ont été aspirés. Tous ces poissons et crevettes qui se sont retrouvés sur les grilles ont été collectés dans une poubelle et ensuite brûlés.

Cependant, de nombreuses espèces survivent au passage dans le système d'eau de refroidissement. Plusieurs tests de survie ont révélé que la communauté de poissons et de crustacés peut être classée selon leur tolérance au passage dans le système d'eau de refroidissement. Les herringidés (sprats, harengs, anchois) sont des espèces de poissons très sensibles qui ne survivent jamais à l'aspiration. Ce sont des espèces de poissons primitives qui contractent des infections après toute forme de contact, dont elles succombent dans les trois heures. Les cyprinidés et les éperlans meurent aussi généralement après aspiration. Un certain nombre d'espèces de poissons, telles que les trois espèces de gobies présentes à Doel, survivent au passage, mais meurent dans les jours suivant l'aspiration

⁵⁷ Maes J., 2001. Vissen weren uit koelwater van de kerncentrale van Doel. De levende Natuur 102 (2) : pp. 96-97 (2001).

en raison du stress ou d'une blessure. Toutes les crevettes, crabes et poissons comme l'anguille, l'épinoche, les poissons plats et la lamproie de rivière survivent presque toujours à l'aspiration par la station de pompage. Contrairement aux espèces de poissons pélagiques, ces derniers sont utilisés pour le contact avec le fond. C'est pourquoi ils sont également plus résistants au contact des grilles et des filtres.

Afin de réduire le nombre de victimes, des mesures ont été prises en 1997 visant à empêcher l'aspiration d'espèces de poissons sensibles et à re-transporter les espèces de poissons tolérantes vers l'Escaut après avoir été aspirées par le bassin versant. Deux systèmes ont récemment été utilisés pour atteindre ces objectifs. D'une part, les poissons sont dissuadés avant le point d'aspiration. D'autre part, les poissons qui se retrouvent dans le système d'eau de refroidissement sont transportés vers l'Escaut au lieu d'un conteneur.

Une étude comparative (Maes et al., 2004⁵⁸) a révélé que le système répulsif avant le point d'aspiration a entraîné une réduction moyenne d'environ 60 % des poissons qui se sont retrouvés dans le système. Il y avait de grandes différences entre les espèces de poissons. Étant donné que le système fonctionne avec une dissuasion acoustique, il fonctionne particulièrement bien chez les espèces ayant une meilleure audition, comme les espèces avec une vessie natatoire. Par exemple, le hareng et le sprat ont chuté respectivement de 94,7 % et 87,9 %. Les épinoches à dix et à trois épines, la lamproie de rivière et la limande, en revanche, n'ont guère été dissuadées par le dispositif. Cependant, comme décrit ci-dessus, ces dernières espèces sont moins affectées par un passage dans le système d'eau de refroidissement. Ces espèces sont déviées vers l'Escaut grâce à un système respectueux des poissons qui peut guider les poissons rapidement et sans dommages supplémentaires à l'eau. De cette manière, l'impact global de la centrale électrique sur les populations de poissons et de crevettes dans l'Escaut maritime a été réduit de 90 % (Maes, 2001).

Compte tenu de la fermeture de Doel 3, le volume d'eau de refroidissement nécessaire, et donc la quantité de poissons et de crustacés potentiellement aspirés, sera également divisé par deux. On peut conclure qu'en raison des mesures appliquées, l'exploitation prolongée de Doel 4 n'entraînera pas une augmentation significative de la mortalité des poissons et des crustacés dans l'Escaut. L'incidence est limitée.

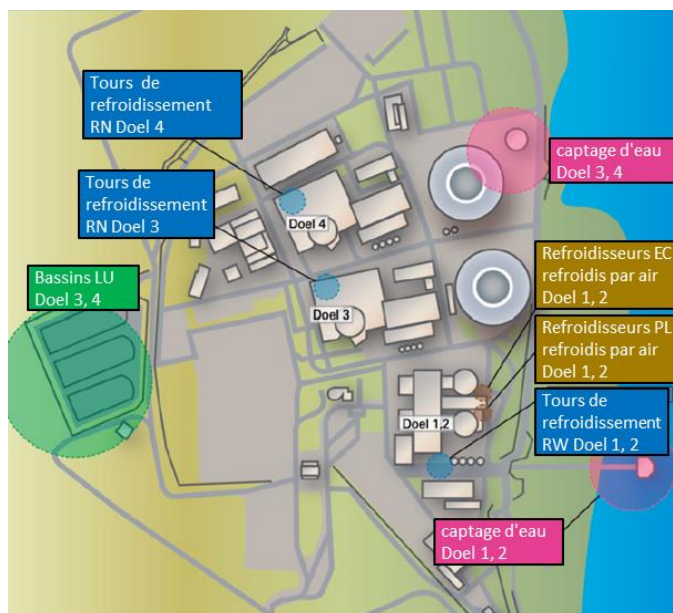


Figure 44 : Schéma de principe de l'eau de refroidissement avec indication de la prise d'eau Doel 1&2 et Doel 3&4 (Source : Electrabel SA, 2011).

⁵⁸ Maes, J.; Turnpenny, A. W. H.; Lambert, D. R.; Nedwell, J.R.; Parmentier, A. & F. Ollevier, 2004. Field evaluation of a sound system to reduce estuarine fish intake rates at a power plant cooling water inlet. Journal of Fish Biology (2004) 64, pp. 938–946

Perturbation

Les centrales nucléaires sont susceptibles de provoquer des perturbations en termes de lumière, de bruit et de présence humaine. Nombre de ces facteurs sont difficiles à réduire au seul fonctionnement de Doel 4.

Concernant le bruit, certaines sources ne peuvent être associées qu'à Doel 4. Cependant, ces dernières n'ont jamais été modélisées séparément. Le RIE de l'avant-projet d'Arcadis (Arcadis, 2020) incluait une modélisation de toutes les sources de bruit présentes. Elle peut donc être considérée comme une approche du pire cas absolu pour estimer l'impact de Doel 4.



Figure 45 : Équiniveaux de bruit des sources en fonctionnement continu en journée, en soirée et de nuit (Source : RIE Arcadis/NRG, 2021).

Les résultats du RIE d'Arcadis/NRG (2021) révèlent que les équiniveaux de bruit s'étendent principalement vers l'est. Le contour de 55 dB(A) chevauche les vasières et les marais salants situés le long de la centrale elle-même. Le contour de 45 dB(A) chevauche l'Escaut elle-même, une partie limitée du Doelpolder Noord et une partie de la future zone du Doelpolder Midden.

Cependant, il s'agit d'un son continu qui est donc très prévisible et qui se situe dans une zone clairement séparée. On peut donc s'attendre à ce que les oiseaux soient peu effrayés et, de plus, un degré important d'habituation déjà été observé. Le passage des voitures, des promeneurs et, pour l'Escaut, des bateaux aura probablement un impact plus important. Pour ce point, nous nous référons également au cadre d'évaluation pour la nature et les loisirs (Arcadis, 2009). De plus, seule une partie du bruit provient de Doel 4.

Par ailleurs, la phase de démantèlement des centrales nucléaires Doel 1, 2 et 3 se déroulera simultanément à l'exploitation prolongée de Doel 4. Il n'y a actuellement aucune information disponible sur la manière dont cela se fera et sur les niveaux de bruit attendus. Cependant, étant donné qu'il s'agit de travaux de démolition, on peut s'attendre à ce que les niveaux soient considérablement plus élevés et qu'il s'agisse aussi souvent de bruits impulsifs imprévisibles beaucoup plus gênants pour les oiseaux.

On peut donc s'attendre à ce que l'impact du plan en termes de perturbation soit négligeable.

Acidification et eutrophisation de l'air

L'acidification et l'eutrophisation sont des facteurs très importants pour la qualité des habitats en Flandre. C'est ce qui ressort aussi de la description figurant dans le dernier Natuurrapport Vlaanderen (Schneiders et al., 2020) :

« La pression que les substances eutrophisantes et acidifiantes exercent sur la biodiversité par le biais de la pollution de l'air et de l'eau a considérablement diminué au cours des dernières décennies. Cependant, depuis plusieurs années, cette pression fluctue autour d'un niveau encore trop élevé pour restaurer les écosystèmes (semi-)naturels sur terre et dans l'eau. Le seuil critique d'eutrophisation atmosphérique est dépassé pour toutes les forêts, toutes les landes et près de la moitié des prairies riches en espèces en Flandre. Autrement dit, ces habitats subissent des dommages à long terme. L'eutrophisation est l'une des principales raisons pour lesquelles les habitats d'importance européenne n'atteignent pas le statut souhaité et pour lesquelles leurs perspectives d'avenir sont également défavorables. La pollution atmosphérique acidifiante dépasse le seuil critique de dommages dans 28 % des forêts et des prairies riches en espèces et dans 9 % des landes ».

« L'excès d'ions hydrogène provenant de l'acidification et l'excès de nutriments provenant de l'eutrophisation causent des dommages directs aux organismes. La composition des communautés change également. Les espèces liées aux environnements riches en éléments nutritifs sont en augmentation, tandis que les espèces rares ou exigeantes des environnements pauvres en éléments nutritifs sont en déclin. Une homogénéisation se produit. »

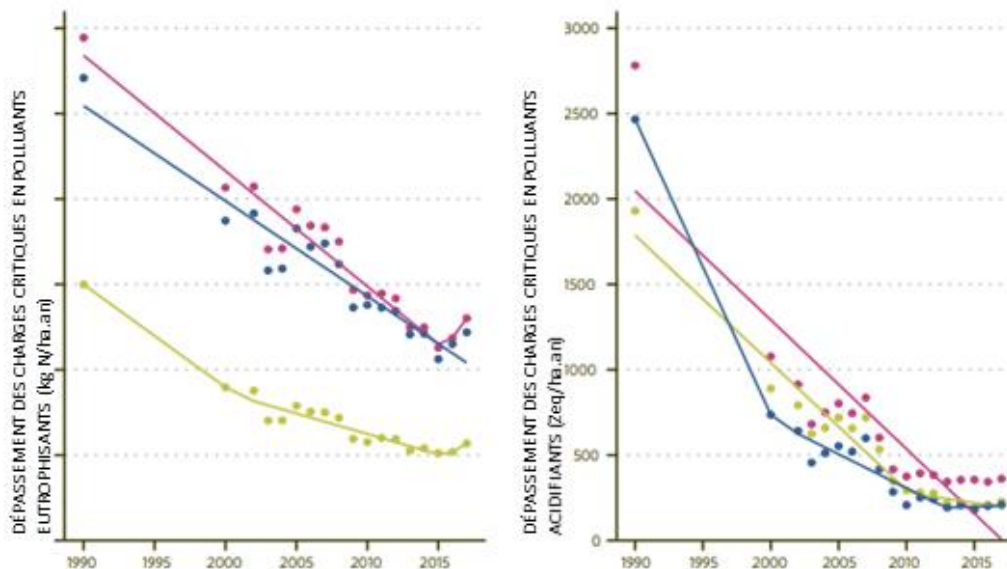


Figure 46 : Dépassement des charges critiques (modélisées et pondérées par surface) pour l'eutrophisation (à gauche) et l'acidification (à droite) dans les forêts, les prairies riches en espèces et les landes entre 1990 et 2017 (Source : Schneiders et al., 2020).

L'impact de l'exploitation de la centrale nucléaire en termes de qualité de l'air est examiné dans la discipline Air. Cet impact peut être dû au fonctionnement des installations d'urgence et des installations à combustion, ainsi qu'à la

circulation en provenance et à destination du site. Les analyses réalisées dans le cadre de la discipline air démontrent que l'impact venant de ces sources est probablement négligeable par rapport aux émissions des autres sources à proximité (principalement dans le port). Pour les dépôts acidifiants et eutrophisants, une analyse complémentaire est réalisée ici, avec une vérification par rapport aux valeurs seuils pertinentes pour la biodiversité.

Le dépôt total est la somme des dépôts sec et humide. Le dépôt sec est calculé en multipliant la vitesse de dépôt d'un polluant particulier par la concentration dans l'air de ce polluant. Le dépôt humide est déterminé par les quantités de précipitations et la concentration d'un polluant particulier présent dans les précipitations.

Des quantités de précipitations plus élevées entraînent généralement des dépôts humides plus élevés, car le dépôt est calculé en multipliant la concentration et la quantité de précipitations. Cependant, cette hausse n'est pas linéaire, car la concentration diminue généralement lors de grandes quantités de précipitations.

Les paramètres (vitesse de dépôt, coefficient de piégeage, ...) utilisés par polluant (oxydes d'azote, ammoniac, ...) pour le calcul du dépôt théorique sont fixés dans le modèle IMPACT⁵⁹. Le modèle calcule les dépôts totaux maximaux théoriques d'azote exprimés en kg N/(ha.an) afin d'estimer les effets de l'acidification et de l'eutrophisation sur les végétations de la zone.

Les calculs de dépôt dans le modèle IMPACT utilisent des paramètres de dépôt, tels que déterminés dans le modèle VLOPS⁶⁰ en fonction du type de végétation par cellule kilométrique.

En utilisant les modèles ci-dessus, la dissémination des émissions d'azote du projet a été calculée pour les végétations de la zone d'étude. La typologie Natura 2000 est utilisée pour les végétations.

La Figure ci-dessous illustre le dépôt eutrophisant actuel aux abords de KC Doel (VLOPS22, VMM). Ces dépôts comprennent toutes les sources de dépôts eutrophisants (agriculture, trafic, industrie, ménages), et donc également les émissions des entreprises existantes en activité dans la zone. Ces résultats de modélisation indiquent clairement que les dépôts varient entre 15 et 35 kg N/ha.an.

⁵⁹ IMPACT est un modèle mathématique de l'air mis à disposition par le Gouvernement flamand et signifie « Immission Prognosis Air Concentration Tool ». L'outil, lancé le 31 janvier 2017, permet de calculer les concentrations et les dépôts de polluants qui se propagent dans l'air à proximité d'une source (agro-)industrielle et de les visualiser de manière conviviale. IMPACT est le successeur d'IFDM-PC, le logiciel utilisé pour ces calculs depuis 1996.

⁶⁰ Le modèle VLOPS (Vlaamse Operationeel Prioritaire Stoffen) est un modèle de transport et de dispersion atmosphérique qui calcule la qualité de l'air et les dépôts sur la base des données d'émission, des données d'utilisation des terres et des données météorologiques. Les données d'émissions flamandes détaillées de l'Inventaire des émissions atmosphériques de la VMM et les données disponibles pour les sources en dehors de la Flandre sont utilisées à cette fin.



Figure 47 : Dépôts eutrophisants actuels en kg N/ha.an (VLOPS22).

La Figure 48 illustre le dépôt acidifiant actuel aux abords de KC Doel (VLOPS22, VMM). Ces résultats de modélisation indiquent clairement que les dépôts varient entre 1 500 et 3 000 Zeq (= équivalent acide)/ha.an.

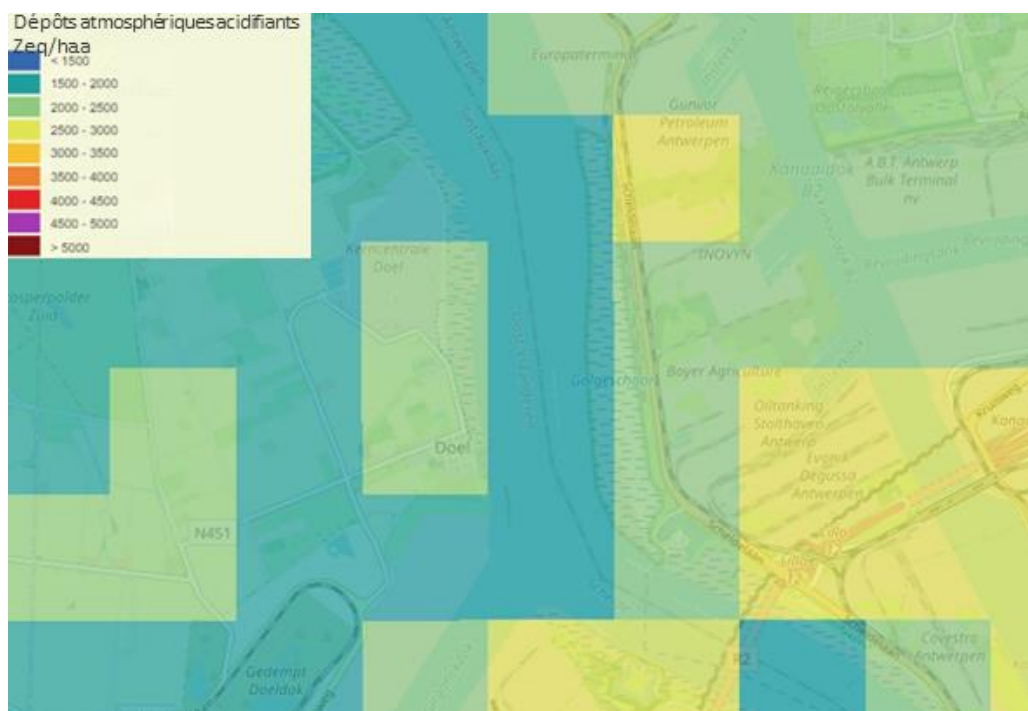


Figure 48 : Dépôts acidifiants réels en Zeq/ha.an (VLOPS22).

La description et l'évaluation des effets des dépôts acidifiants et eutrophisants sont basées sur des études de synthèse des valeurs critiques des dépôts pour l'acidification et l'eutrophisation (Van Dobben et al. 2012⁶¹, Hens & Neiryck 2013⁶² et Bobbinck & Hettelinck 2011⁶³). Ces valeurs seuils critiques indiquent à partir de quel niveau de dépôt des effets négatifs peuvent être attendus pour un certain type d'habitat.

Sur la base de la combinaison des dépôts eutrophisants et acidifiants actuels avec les valeurs seuils pour les différents types d'habitats, il est possible de déterminer pour chaque parcelle d'habitat si la valeur seuil a été dépassée et dans quelle mesure. ANB fournit à cette fin des cartes de dépassement pour l'eutrophisation et l'acidification. Celles-ci sont reproduites dans les Figure 49 et Figure 50.

On remarque immédiatement qu'aucun dépassement n'est signalé au niveau du chenal de l'Escaut lui-même. Ceci est dû au type d'habitat présent (1130) qui n'est pas sensible à l'azote. Les marais salants en bordure sont représentés et pour une grande partie d'entre eux, les dépôts acidifiants et eutrophisants sont déjà dépassés, quoique de manière limitée. Les marais salants de la rive droite présentent un dépassement plus grand.

⁶¹ van Dobben H.F., Bobbinck R., Bal D. & van Hinsberg A. (2012) Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura2000. Alterra rapport 2397. Alterra WUR, Wageningen, Nederland.

⁶² Hens M. & Neiryck J. (2013) Kritische depositiewaarden voor stikstof voor duurzame instandhouding van Europese habitattypen in Vlaanderen, INBO, nota WBC, gebaseerd op van Dobben H.F., Bobbinck R., Bal D., van Hinsberg A. (2012) Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000. Alterra rapport 2397. Alterra, WUR, Wageningen, Nederland.

⁶³ Bobbinck R, Hettelingh JP, eds. (2011) Review and revision of empirical critical loads and dose response relationships, Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), www.rivm.nl/cce.

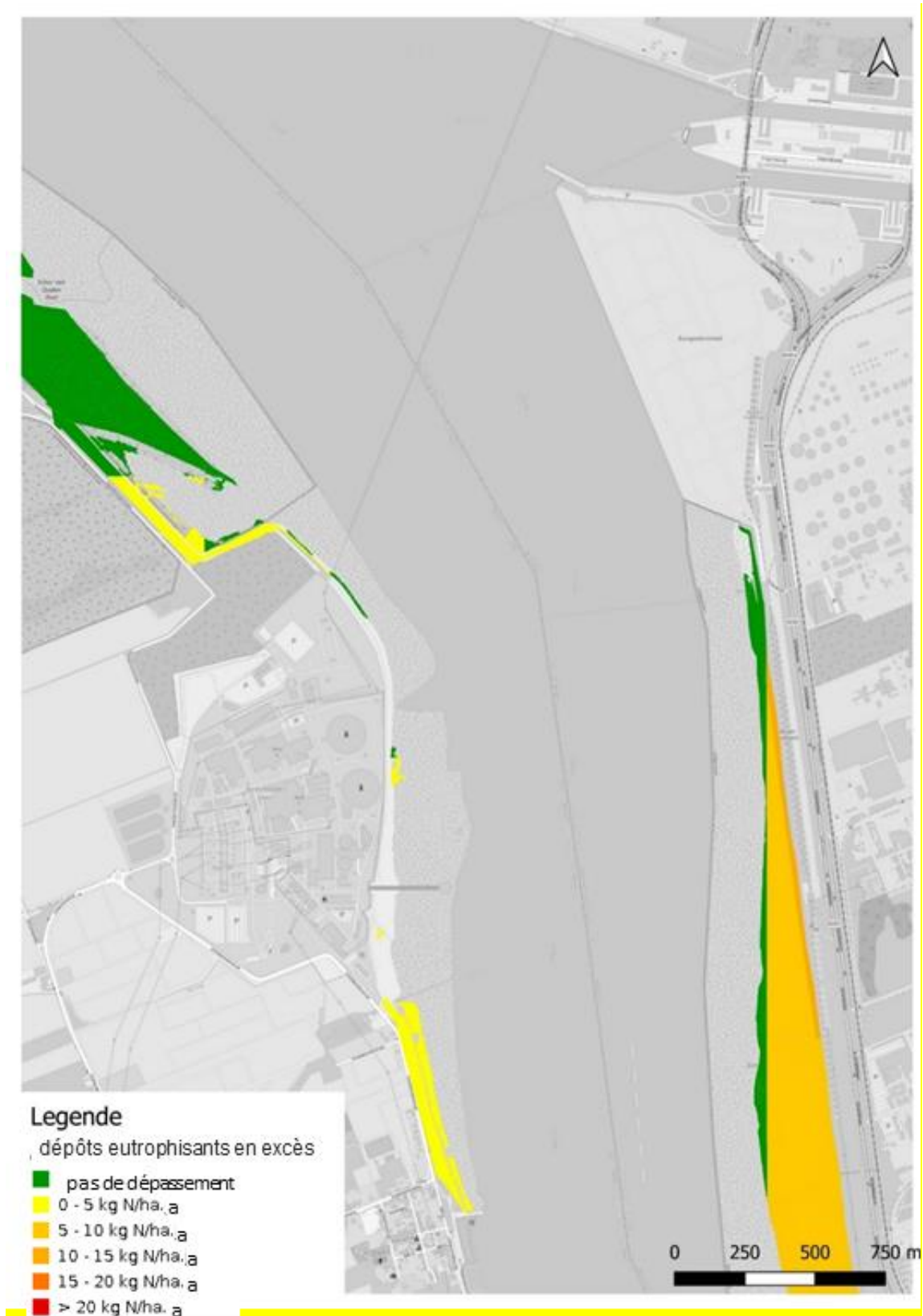


Figure 49 : Carte des dépassements des dépôts eutrophisants.

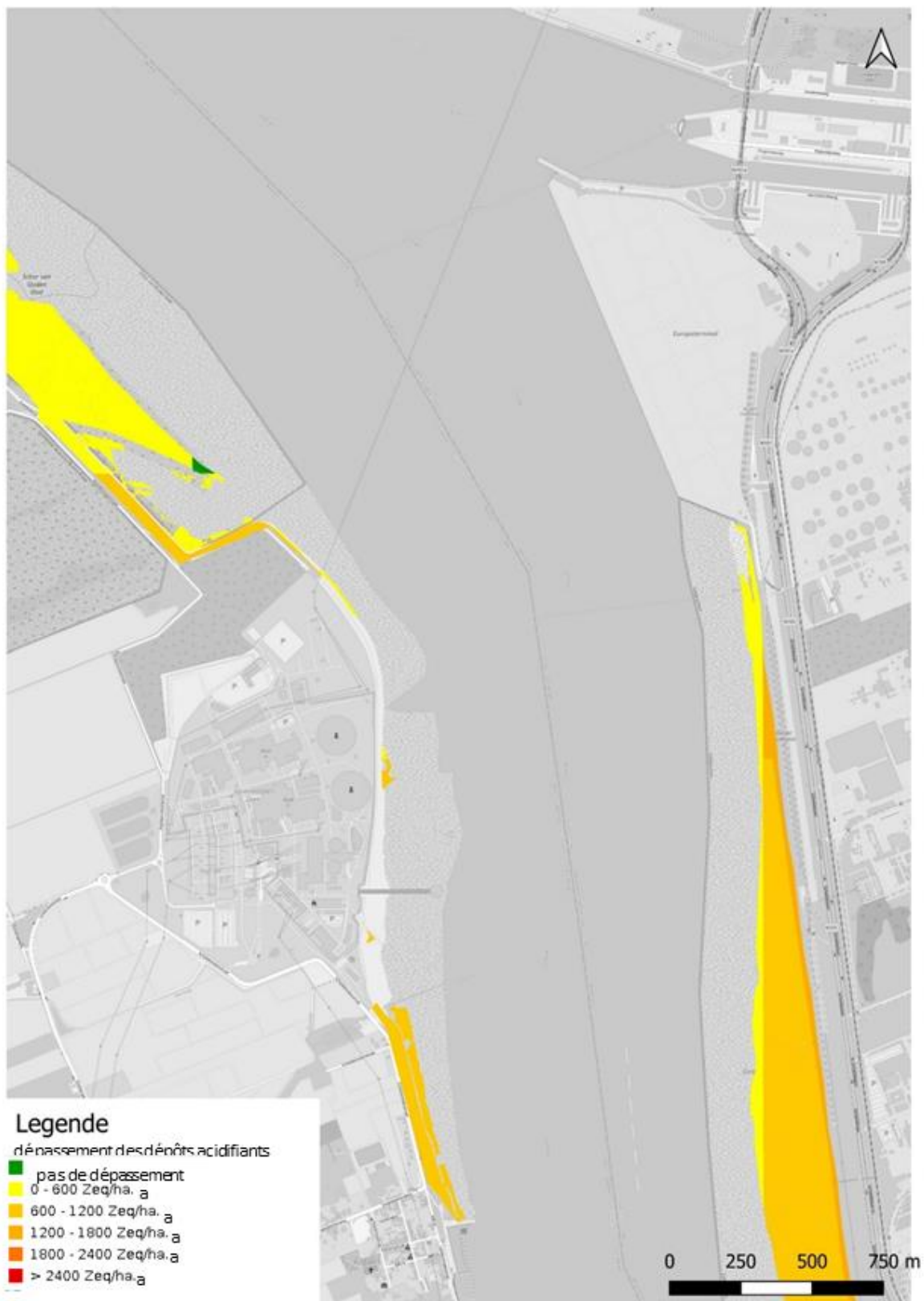


Figure 50 : Carte de dépassement des dépôts acidifiants.

La contribution du plan aux dépôts eutrophisants et acidifiants est calculée sur la base des hypothèses décrites dans la discipline Air. Une approche du pire cas a été choisie, raison pour laquelle on peut considérer l'impact calculé comme étant une surestimation.

Le dépôt eutrophisant calculé est représenté dans la Figure 51, la contribution du plan est représentée ici à partir de 0,06 kg N/ha.an. Les valeurs les plus élevées sont calculées sur le site même de la centrale nucléaire avec une valeur maximale de 0,1 kg N/ha.an. Plus loin, les dépôts diminuent rapidement. Cependant, il existe également des dépôts à proximité des habitats présents le long de l'Escaut. Les habitats ou rbbs susceptibles de subir un impact d'eutrophisation à cause du plan sont 1330_da, 6510 et rbbmr.

Pour le type d'habitat 1330_da, une VCD de 22 kg N/ha.an a été déterminée. Comme l'illustre la Figure 49, cette valeur a déjà été dépassée aujourd'hui pour une partie de la zone. La contribution maximale du plan pour ce type d'habitat se situe au niveau de la petite parcelle d'habitat de marais salé juste à côté du site lui-même. La contribution du plan s'élève ici à 0,07 kg N/ha.an, ou 0,32 % de la VDC. Au niveau du type d'habitat 6510 (VCD 20), la contribution maximale est de 0,05 kg N/ha.an, ou 0,25 % de la VDC. Pour le biotope d'importance régionale, la charge critique d'eutrophisation a été déterminée à 26 kg N/ha.an. Le dépôt maximal est ici de 0,09 kg/ha.an, ou 0,35 % de la VDC.

Le dépôt acidifiant calculé est illustré dans la Figure 50, la contribution du plan a été représentée ici à partir de 5 Zeq/ha.an. Ici aussi, les modèles les plus élevés sont observés sur le site même, avec une valeur maximale de 7,2 Zeq/ha.an. Au niveau de l'habitat 3130_da (charge critique 1.571 Zeq/ha.an), le dépôt maximal est d'à peine 5 Zeq/ha.an. Au niveau de l'habitat 6510 (charge critique 1.429 Zeq/ha.an), le dépôt maximal est de 5,8 Zeq/ha.an et au niveau du rbbmr (charge critique 2.400 Zeq/ha.an) les dépôts acidifiants sont à moins de 5 Zeq/ha.an.

Le plan entraîne donc une légère augmentation des dépôts au niveau de la végétation et des habitats de valeur, mais la contribution du projet reste (bien) inférieure à 1 % de la VDC.

En outre, le calcul est basé sur une estimation du pire cas. Comme décrit dans la discipline Air, on peut s'attendre à ce qu'en raison de la fermeture des autres centrales nucléaires, de moins en moins de sources d'émission soient présentes sur le site. Dans la discipline Air, une diminution d'environ 30 % est supposée.

Compte tenu de la fermeture des centrales nucléaires de Doel 1, 2 et 3, il n'y aura en pratique pas de hausse des dépôts, mais une diminution de ces habitats. De plus, la prolongation de Doel 4 ne court que pour une période de 10 ans, ce qui signifie que les dépôts limités qui existent n'auront également lieu que pendant 10 ans. Au-delà de cette période, ils diminueront progressivement.

Enfin, les végétations pour lesquelles l'impact le plus élevé est attendu (3130_da et rbbmr) sont fortement influencées par l'eau de l'Escaut en raison des inondations régulières inhérentes à cet écosystème. Compte tenu de la mauvaise évaluation de l'Escaut en termes de nitrate + nitrite + ammonium (voir discipline Eau), la question peut se poser de savoir si le dépôt limité d'azote peut avoir un impact pertinent sur ces végétations.

En raison des arguments ci-dessus, il est donc considéré que le plan n'a pas d'impact pertinent en termes de dépôts eutrophisants et acidifiants.

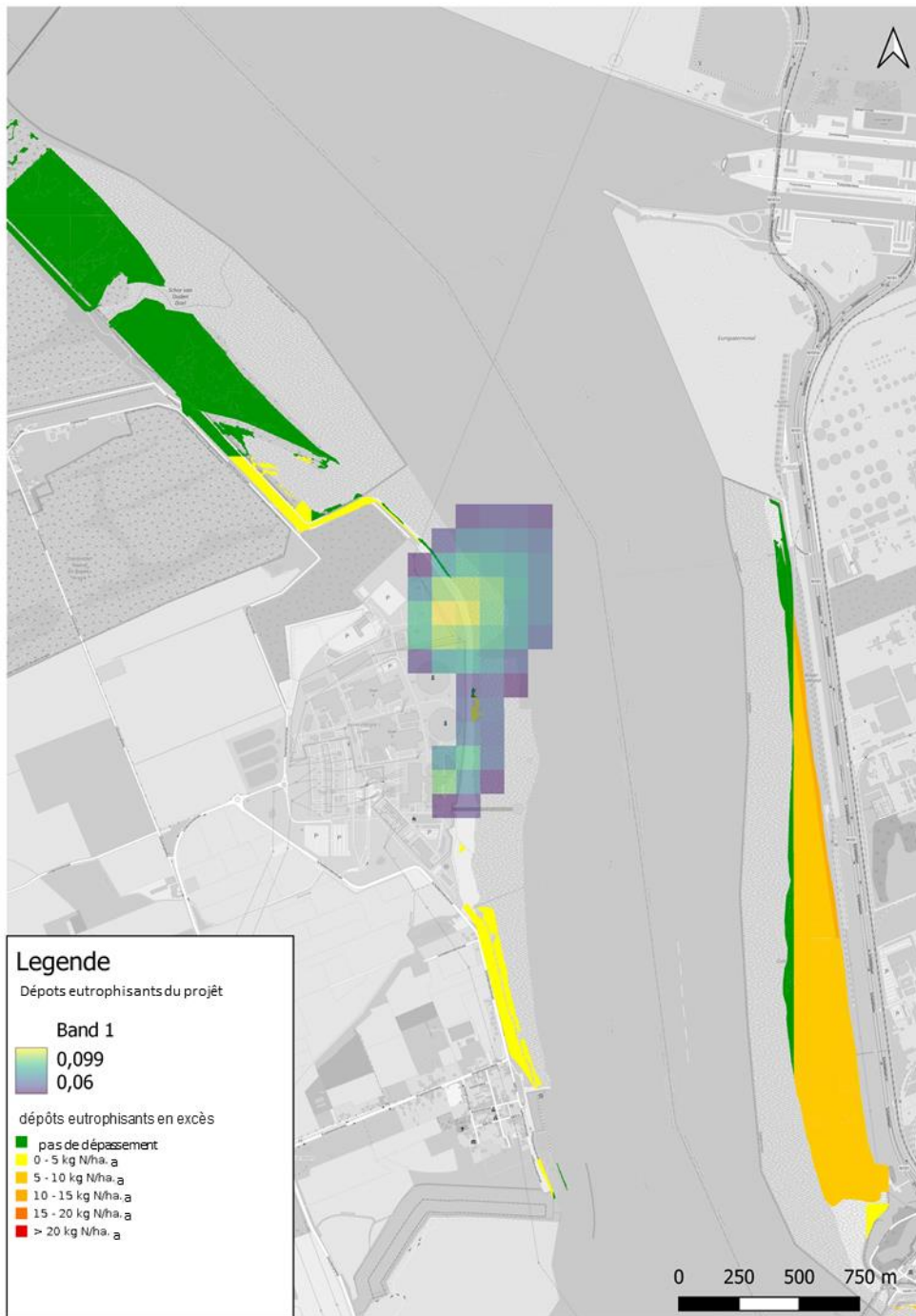


Figure 51 : Fertilisation, contribution au plan.

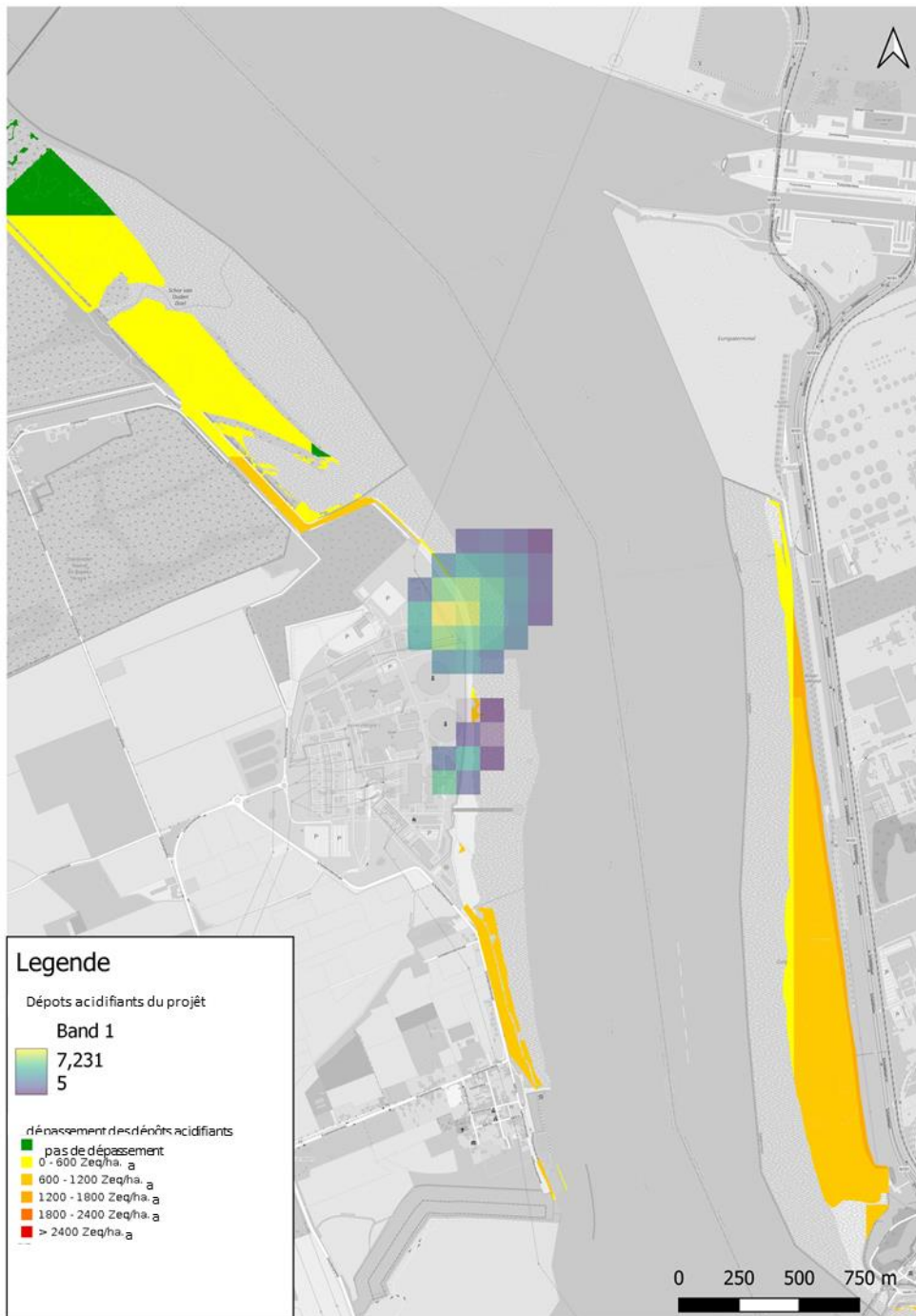


Figure 52 : Acidification, contribution au plan.

Par ailleurs, il y aura également des émissions évitées grâce au plan. Ces émissions évitées sont les émissions auxquelles on peut s'attendre si la production d'électricité pendant la durée de vie prolongée de la centrale n'avait pas été réalisée par la centrale nucléaire, mais par d'autres méthodes de production d'énergie.

Étant donné que l'on ne sait pas où se produiront les émissions des installations qui prendront en charge la production de Doel 4, que l'on ne sait pas non plus quelles sont, par exemple, les éventuelles conditions d'autorisation auxquelles les installations doivent se conformer, et que l'on ne connaît pas les caractéristiques de cheminée qui pourraient déterminer de manière très significative l'impact sur la qualité de l'air, il est impossible de

faire une déclaration quantitativement fondée sur l'impact éventuel que les émissions de ces « installations de remplacement » entraîneront. Cela est d'autant plus important pour les effets éventuels sur la biodiversité. Toutes les végétations et espèces ne sont effectivement pas aussi sensibles aux dépôts d'azote. En plus des émissions elles-mêmes, ce dépôt dépend également de la distance jusqu'à la source et d'autres facteurs tels que la rugosité du paysage, par exemple.

L'impact exact en termes d'acidification et d'eutrophisation ne peut donc pas être cartographié. Toutefois, étant donné l'ampleur du dépassement des seuils critiques pour les dépôts d'azote en Flandre, on peut supposer que des dépôts supplémentaires causée par les centrales de remplacement des combustibles fossiles (par exemple, le gaz), même limités, seraient très défavorables pour l'état de conservation d'habitats et d'espèces en Flandre. En effet, on peut supposer que les émissions et les dépôts de ces installations seront considérablement plus importants que ceux liés à l'exploitation de Doel 4.

Utilisation directe des terres

Théoriquement, la décision de maintenir la centrale nucléaire de Doel 4 ouverte plus longtemps pourrait avoir un impact négatif en termes d'utilisation des terres. Si la centrale devait disparaître, cela libérerait une zone très favorablement située du point de vue de la nature, étant donné la proximité de l'Escaut et des différentes zones de développement de la nature. Ce raisonnement est toutefois discutable.

Tout d'abord, les centrales sont situées dans une zone industrielle. Par conséquent, après l'arrêt, il existe une réelle possibilité qu'un nouveau développement industriel ait lieu, plutôt qu'un développement pour la nature. De plus, la qualité du sol du site limiterait considérablement les possibilités de développement de la nature. Le sol a ici été pulvérisé avec de la terre contaminée à l'arsenic.

En résumé, nous pouvons affirmer que la décision de reporter la désactivation n'a aucun impact en termes d'occupation directe de terres.

3.3.6 Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques

Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le plan puisse éviter les dommages causés à la nature (cf. décret Nature) ?

Lors de l'analyse d'impact, le plan a été examiné en termes d'altération de la qualité des eaux de surface, d'effet de barrière, de mortalité, de perturbation, d'acidification et d'eutrophisation depuis l'air, et d'occupation directe des terres. Aucun effet n'était à prévoir en ce qui concerne l'effet de barrière et l'occupation directe des terres.

Pour la mortalité, il peut y avoir un effet dû à l'aspiration de l'eau de refroidissement. Cependant, en raison des ajustements du système (système de dissuasion et déviation vers l'Escaut), le nombre de victimes est fortement réduit, de sorte que seul un effet limité est attendu.

En ce qui concerne la perturbation, il y avait potentiellement un effet limité des nuisances sonores, mais étant donné la nature continue et prévisible du bruit, aucun dommage réel n'est attendu.

En ce qui concerne l'acidification et l'eutrophisation depuis l'air, la contribution du plan lui-même est négligeable et, en raison des effets évités, il apporte même une contribution positive (limitée).

L'impact des rejets d'eaux usées, d'eaux industrielles et d'eaux de refroidissement est négligeable sur l'ensemble de la masse d'eau. Localement, dans la zone située à l'intérieur de la digue longitudinale, il peut potentiellement y avoir des effets, mais cela ne ressort pas des données de surveillance provenant, par exemple, du programme MONEOS.

Dans l'ensemble, on peut donc conclure que le plan ne causera pas de dommages évitables et qu'il a un impact neutre sur cet objectif politique.

Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le plan puisse éviter des dommages irréparables et inévitables aux zones VEN (cf. décret Nature) ?

Le site de la centrale nucléaire de Doel est entouré de plusieurs côtés par la zone VEN. Il s'agit notamment du Doelpolder Noord, du Doelpolder Midden et de la zone riveraine de l'Escaut au niveau de la centrale nucléaire elle-même. Les valeurs naturelles les plus importantes ici sont les vasières et les marais salants, les oiseaux qui y vivent et les poissons dans l'Escaut. L'évaluation de cet objectif correspond à la réponse aux questions dans le cadre d'une évaluation approfondie de la nature.

En ce qui concerne les oiseaux dans la zone VEN, il y avait potentiellement un effet limité des nuisances sonores, mais étant donné la nature continue et prévisible du bruit, aucun dommage réel n'est attendu.

Pour les vasières et les poissons dans l'Escaut, l'impact sur la qualité des eaux de surface est un point d'attention. Les données du RIE de l'avant-projet d'Arcadis (Arcadis, 2020), basées sur des relevés du panache de rejet, révèlent que l'impact thermique des rejets est largement limité à la zone située à l'intérieur de la digue longitudinale. Étant donné l'impact limité sur le reste de l'Escaut, aucun effet de barrière n'est attendu pour les poissons de l'Escaut. Pour les autres paramètres (tels que les nitrites et les AOX), la contribution des rejets à la norme de qualité environnementale pour l'ensemble de la masse d'eau est également négligeable.

Localement, dans la zone située à l'intérieur de la digue longitudinale, il peut potentiellement y avoir des effets, mais cela ne ressort pas des données de surveillance provenant, par exemple, du programme MONEOS.

Pour l'acidification et l'eutrophisation par l'air, une contribution très limitée du plan est possible dans la zone VEN (Figure 53 et Figure 54).

Comme décrit ci-dessus, les dépôts présentés doivent être nuancés à un degré important :

- Primo, il s'agit d'une contribution très limitée sur une zone très limitée;
- Deuxièmement, le calcul est basé sur une estimation du pire cas. Comme décrit dans la discipline Air, on peut s'attendre à ce qu'en raison de la fermeture des autres centrales nucléaires, de moins en moins de sources d'émission soient présentes sur le site. Dans la discipline Air, une diminution d'environ 30 % est supposée.
- Compte tenu de la fermeture des centrales nucléaires de Doel 1, 2 et 3, il n'y aura en pratique pas de hausse des dépôts, mais une diminution de ces habitats. De plus, la prolongation de Doel 4 ne court que jusqu'en 2037. Cela signifie que les dépôts limités qui existent n'auront lieu que pendant 10 ans, et diminueront progressivement ensuite.
- Enfin, les parties du VEN pour lesquelles l'impact le plus élevé est attendu sont fortement influencées par l'eau de l'Escaut en raison des inondations régulières inhérentes à cet écosystème. Compte tenu de la mauvaise évaluation de l'Escaut en termes de nitrate + nitrite + ammonium (voir discipline Eau), la question se pose de savoir si le dépôt limité d'azote peut avoir un impact pertinent sur ces végétations.

La zone VEN susceptible d'être affectée (vasières et marais salants le long de l'Escaut) a également été désignée dans une large mesure en raison de l'importance de cette zone pour les oiseaux. Bien qu'un effet négatif sur les oiseaux ait été démontré pour un certain nombre d'espèces d'oiseaux, c'est principalement le cas pour les espèces à végétation clairsemée telles que les prairies clairsemées, les landes ou les forêts sur sols sableux. Il s'agissait souvent d'effets indirects, par exemple de l'acidification des sols (carence en calcium) ou de modifications de la végétation naturellement clairsemée (Vogels et al., 2022⁶⁴, Nijssen et al., 2017⁶⁵, Stevens et al., 2017⁶⁶). Des effets significatifs pour les oiseaux sont beaucoup moins probables dans les systèmes riches en nutriments.

⁶⁴ Vogels, J., van de Waal, D., van den Burg, A., Wallis de Vries, M., Nijssen, M. & R. Bobbink (2022). De Levende Natuur | jaargang 123 | nummer 6.

⁶⁵ Nijssen, M.E., et al., Pathways for the effects of increased nitrogen deposition on fauna, *Biological Conservation* (2017).

⁶⁶ Stevens CJ, David TI, Storkey J. Atmospheric nitrogen deposition in terrestrial ecosystems: Its impact on plant communities and consequences across trophic levels. *Funct Ecol.* 2018 ; 32 : pp. 1757–1769.

On peut donc conclure qu'aucun dommage ne se produira en raison du plan de maintien en service de la centrale de Doel 4 pendant 10 ans de plus.

Par ailleurs, garder la centrale ouverte plus longtemps aura un impact positif en raison des émissions évitées. Cependant, étant donné que la localisation des « installations de remplacement » n'est pas connue, il est impossible d'en déterminer l'impact pour les zones VEN.

Dans l'ensemble, on peut donc conclure qu'aucun dommage évitable et irréparable ne surviendra dans le contexte de l'évaluation approfondie de la nature et que le plan a un impact neutre pour cet objectif politique.



Figure 53 : Dépôts eutrophisants dans la zone VEN.



Figure 54 : Dépôts acidifiants dans la zone VEN.

Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le plan puisse éviter des impacts significatifs par rapport aux zones Natura 2000 (cf. décret Nature) ?

La zone d'étude est entourée par la ZPS-O et est également adjacente à la ZPS-H. Les espèces et habitats cibles de cette ZPS sont décrits au paragraphe 3.3.4. L'évaluation de cet objectif correspond à la réponse aux questions dans le cadre d'une évaluation appropriée.

Pour les habitats de la ZPS-H, citons un impact possible sur les vasières et les marais salés ainsi que des effets possibles sur les dépôts acidifiants et eutrophisants. En outre, un impact sur les espèces notifiées peut être important. Il s'agit notamment d'effets perturbateurs, d'effets de barrière, de la mortalité ou d'effets dus à l'altération de la qualité des eaux de surface.

Pour les espèces de la ZPS-O, il peut y avoir un impact potentiel dû à l'occupation directe des terres de l'habitat (potentiel), à la perturbation et à un impact indirect de la qualité des eaux de surface qui pourrait affecter la disponibilité de la nourriture pour les oiseaux de la ZPS-O.

Tous ces effets possibles ont été étudiés. L'analyse d'impact a conclu qu'aucun effet n'est attendu en termes d'effet de barrière.

Pour les autres effets, dans le cadre de l'évaluation appropriée, il faut non seulement examiner s'il y a un impact sur les habitats et les espèces actuels, mais aussi si le plan ne met pas en péril la réalisation des objectifs en matière de nature.

Les espèces de poissons que sont la lamproie de rivière, l'aloise feinte et la bouvière sont la cible de la ZPS-H « Estuaire de l'Escaut et de la Durme de la frontière néerlandaise à Gand ». Pour ces espèces, la mortalité due à l'aspiration de l'eau de refroidissement pourrait être pertinente pour les objectifs de nature. La lamproie marine n'a pas été enregistrée pour cette ZPS-H, uniquement pour l'Escaut occidental, donc aucun effet n'est attendu de toute façon.

L'aloise feinte et la bouvière sont des espèces à vessie natatoire qui sont efficacement effarouchées par le son du système de dissuasion. La lamproie de rivière est mentionnée dans l'étude de Maes et al. (2004) comme l'une des

espèces qui ne survivent pas à un passage dans le système d'eau de refroidissement. Dans le dispositif actuel, cette espèce sera reconduite dans l'Escaut. On peut donc conclure que la mortalité due à l'aspiration des eaux de refroidissement ne compromettra pas les objectifs de nature pour ces espèces.

Concernant l'occupation directe des terres, nous avons donc évalué si la décision de maintenir plus longtemps Doel 4 en exploitation a compromis le développement de nouveaux habitats. Ce n'est pas le cas, étant donné que la possibilité de développer l'habitat à cet endroit n'est en aucun cas envisageable, compte tenu de la désignation en zone industrielle et de la pollution historique. En outre, la surface supplémentaire n'est pas nécessaire pour atteindre les objectifs de protection de la nature pour la ZPS-O. Comme indiqué au § 3.3.4, des zones supplémentaires seront aménagées pour les espèces pour lesquelles la zone d'habitat est actuellement insuffisante. La surface de ces zones est suffisante pour atteindre les objectifs en matière de nature.

Pour les dépôts acidifiants et eutrophes également, l'impact doit être évalué tant par rapport aux valeurs actuelles qu'aux objectifs concernant la nature. L'impact eutrophisant et acidifiant a été calculé pour l'impact du plan lui-même. L'impact sur les types d'habitats actuels 3130_da et 6510 est pertinent pour l'évaluation appropriée. Une vérification n'est pas nécessaire pour les zones de recherche, car seule une zone de recherche pour le type d'habitat 1130 a été indiquée à proximité de la zone du projet, qui n'est pas sensible à l'azote.

Pour le type d'habitat 3130_da, le dépôt maximal est de 0,07 kg N/ha.an. Cela correspond à 0,32 % de la VCD de ce type d'habitat. Pour le type d'habitat 6510, la contribution maximale est de 0,05 kg N/ha.an, soit 0,25 % de la VCD de ce type d'habitat. Sur la base de l'instruction ministérielle actuellement en vigueur, une contribution de 1 % est le seuil d'évaluation approprié. Le plan demeure donc bien en deçà. Par conséquent, aucun effet significatif n'est attendu en raison du dépôt d'azote.

L'impact des dépôts évités est plus difficile à évaluer. L'impact est évidemment positif, mais il est moins évident de vérifier s'il est également significatif et contribue donc de façon notable aux objectifs pour les zones Natura 2000. Cela est principalement dû au fait que l'impact des émissions évitées ne peut être situé dans l'espace. Dans la discipline Air, il est indiqué qu'un impact se produirait principalement dans les zones situées à proximité immédiate des « installations de remplacement » et serait négligeable à une plus grande distance. Étant donné les grandes différences de sensibilité des habitats et des espèces, l'impact potentiel de ces « émissions évitées » peut donc varier considérablement. Il est également vrai que la plupart des ZPS-H dépassent désormais la VCD, même sans « installations de remplacement ». La présence ou l'absence de dépôts d'azote supplémentaires ne fait donc aucune différence pour la plupart des ZPS-H concernant la réalisation ou non des objectifs relatifs à la nature. D'autre part, les dépôts d'azote peuvent s'accumuler et les dépôts supplémentaires auraient augmenté la « distance to target » pour atteindre les objectifs liés à la nature. En ce sens, il y a donc un effet positif limité en termes de réalisation des objectifs.

Cependant, l'impact principal de la centrale nucléaire (mis à part les effets radiologiques potentiels) se situe plutôt dans le domaine de la qualité de l'eau. La centrale nucléaire a un impact thermique important et rejette également des eaux usées, processus pour lequel un éventuel impact eutrophisant et écotoxicologique ne peut être exclu à l'avance. Comme indiqué précédemment, cette influence est toutefois limitée à la zone située à l'intérieur de la digue longitudinale et la contribution à la qualité totale de l'eau est négligeable. Cela signifie également qu'un effet au niveau de la population peut être exclu pour les espèces présentes dans l'Escaut. Il n'y a pas non plus d'indications que les rejets réduisent localement la disponibilité de nourriture pour les oiseaux de la ZPS-O. La zone située à l'intérieur de la digue longitudinale est encore plus riche en poissons, tandis que la diversité des espèces et la biomasse des macro-invertébrés sont également élevées. Aucun effet significatif n'est donc attendu.

Enfin, aucun effet significatif de perturbation n'est attendu pour les oiseaux dans la ZPS-O, que ce soit dans les zones existantes ou dans celles qui doivent encore être aménagées. Bien que l'exploitation des centrales nucléaires entraîne une augmentation des niveaux sonores, la contribution de Doel 4 uniquement devrait être limitée. De plus, il s'agit d'un son continu et prévisible, de sorte qu'il peut y avoir une habituation et que l'influence perturbatrice reste limitée. D'autres formes de perturbation, telles que les nuisances lumineuses ou les nuisances suite à la présence de personnes, ne changeront pas de manière significative à cause du plan.

On peut donc conclure que le plan n'a pas d'impact significatif sur l'état de conservation des habitats et des espèces dans le cadre de l'évaluation appropriée et que la contribution du plan à cet objectif est neutre.

Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le plan ne cause pas de dommages aux espèces protégées en vertu du décret Espèces ?

Comme nous l'avons vu plus haut, il ne faut pas s'attendre à un impact significatif sur les espèces cibles dans la ZPS ou dans le VEN. On s'attend également à peu d'impact pour les espèces de l'annexe IV de la directive Habitats, qui sont également protégées en dehors de la ZPS.

Le plan ne provoque effectivement aucune perturbation significative et l'impact sur la qualité de l'eau est également négligeable si l'on considère l'ensemble de la masse d'eau.

Les espèces de poissons que sont la lamproie de rivière, l'aloise feinte et la bouvière sont la cible de la ZPS-H « Estuaire de l'Escaut et de la Durme de la frontière néerlandaise à Gand ». Pour ces espèces, la mortalité due à l'aspiration de l'eau de refroidissement pourrait être pertinente pour les objectifs de nature. La lamproie marine n'a pas été enregistrée pour cette ZPS-H, uniquement pour l'Escaut occidental, donc aucun effet n'est attendu de toute façon.

L'aloise feinte et la bouvière sont des espèces à vessie natatoire qui sont efficacement effarouchées par le son du système de dissuasion. La lamproie de rivière est mentionnée dans l'étude de Maes et al. (2004) comme l'une des espèces qui ne survivent pas à un passage dans le système d'eau de refroidissement. Dans le dispositif actuel, cette espèce sera reconduite dans l'Escaut. On peut donc conclure que la mortalité due à l'aspiration des eaux de refroidissement ne compromettra pas les objectifs de nature pour ces espèces.

On peut donc conclure que le plan n'a pas d'impact significatif dans le cadre du décret Espèces et que la contribution du plan à cet objectif est neutre.

Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que la mise en œuvre du plan n'entrave pas la réalisation des objectifs formulés dans les programmes de protection des espèces (cf. décret Espèces) ?

Pour les espèces pour lesquelles un PPE a été dressé, les sites d'intérêt dans le PPE font déjà partie d'une zone de protection, donc l'impact est étudié de toute façon. Il convient de mentionner que depuis 1996, la tour de refroidissement dispose d'un nichoir pour les faucons pèlerins, où ceux-ci viennent couvrir régulièrement.

La prolongation de Doel 4 signifie que la tour de refroidissement sera nécessaire plus longtemps, donc aucun impact négatif n'est attendu pour le faucon pèlerin.

On peut donc conclure que le plan ne représente pas une entrave pour la réalisation des objectifs dans les PPE et que la contribution du plan à cet objectif est neutre.

3.3.7 Résumé des principales conclusions

La centrale nucléaire est située à proximité des différentes zones de protection. Il y a donc plusieurs objectifs politiques sur lesquels le plan pourrait avoir un impact. Le décret Nature et ses arrêtés exécutifs ainsi que le décret sur la politique intégrée de l'eau sont pertinents dans ce contexte. Les aspects biologiques du décret sur la Politique intégrée de l'Eau sont également évalués dans la discipline Eau, mais sont abordés ici dans l'analyse d'impact.

Le plan a été examiné en termes d'altération de la qualité des eaux de surface, d'effet de barrière, de mortalité, de perturbation, d'acidification et d'eutrophisation depuis l'air, et d'occupation directe des terres. Aucun effet n'était à prévoir en ce qui concerne l'effet de barrière et l'occupation directe des terres.

Pour la mortalité, il peut y avoir un effet dû à l'aspiration de l'eau de refroidissement. Cependant, en raison des ajustements du système (système de dissuasion et déviation vers l'Escaut), le nombre de victimes est fortement réduit, de sorte que seul un effet limité est attendu.

En termes de perturbations, il faut uniquement s'attendre à des changements en ce qui concerne les nuisances sonores. Ces changements sont plutôt limités, car le plan n'implique un changement que pour la centrale nucléaire

de Doel 4. De plus, il s'agit d'un bruit existant qui est continu et prévisible. On ne s'attend donc pas à un impact significatif sur les espèces à proximité.

Les effets de l'exploitation des centrales nucléaires elles-mêmes en termes de dépôts acidifiants et eutrophisants sont négligeables. De plus, d'autres facteurs tels que la qualité de l'eau de l'Escaut sont beaucoup plus décisifs à cet endroit. Toutefois, on peut s'attendre à des effets positifs en raison des émissions évitées. Un impact significatif n'est cependant attendu qu'à proximité directe des « installations de remplacement », alors que leur emplacement est inconnu. Il est donc difficile d'évaluer l'importance de ces effets positifs.

Cependant, l'impact le plus important du plan est celui portant sur la qualité de l'eau de l'Escaut. Le rejet d'eau de refroidissement, d'eau sanitaire et d'eau industrielle entraîne une détérioration locale de la qualité de l'eau. L'impact est toutefois limité à la zone située à l'intérieur de la digue longitudinale, ce qui permet d'éviter des effets importants. Localement, rien n'indique que les effets soient fortement préjudiciables aux organismes présents. Étant donné la désignation de l'Escaut lui-même comme ZPS-H et l'importance possible de cette zone pour les oiseaux de la ZPS-O, il s'agit d'une conclusion importante.

Sur la base de cette analyse, il a été conclu que le plan n'avait pas d'impact négatif ou positif perceptible sur les objectifs politiques pertinents. L'effet est neutre.

3.3.8 Mesures d'atténuation

Étant donné que le projet n'a pas d'effets notables sur les objectifs politiques, aucune mesure d'atténuation n'est prévue.

3.3.9 Lacunes dans les connaissances et surveillance

La principale lacune en matière de connaissances concerne la localisation des émissions évitées. Il s'agit d'un effet positif du plan. En raison de l'incertitude, l'impact positif est considéré comme limité.

En outre, il existe également des incertitudes quant à l'impact local potentiel sur la qualité de l'eau. Vu que la qualité globale de l'eau de l'Escaut continue de se rétablir, il est en effet difficile de savoir si la qualité aurait pu être encore meilleure sans le plan. Cependant, étant donné qu'il ne s'agit que d'effets locaux qui diminueront également par rapport à la situation actuelle, l'impact sur l'évaluation est négligeable.

3.4 Discipline Air

3.4.1 Objectifs politiques pertinents

Les objectifs politiques les plus pertinents dans le cadre de ce RIE stratégique sont les objectifs de réduction des émissions tels qu'ils sont fixés au niveau européen par rapport au niveau fédéral, et sont ensuite répartis au niveau régional.

La directive nationale sur les plafonds d'émission ou directive NEC (National Emission Ceilings, 2001/81/CE) a été publiée en 2001. La directive a défini des plafonds d'émission qui ne pouvaient plus être dépassés à partir de 2010 pour :

- Le dioxyde de soufre (SO₂) ;
- Les oxydes d'azote (NO_x) ;
- Les composés organiques volatils (COV) autres que le méthane ;
- L'ammoniac (NH₃).

Fin 2016, la directive NEC révisée est entrée en vigueur (2016/2284/UE). Elle comprend des objectifs pour 2020 et 2030, formulés comme des réductions relatives par rapport aux émissions de 2005. Des plafonds d'émission ont également été inclus pour les PM_{2,5}.

Tableau 26 : Objectifs de réduction NEC pour 2030 tels que cités dans le Plan flamand de la qualité de l'air 2030.

Objectifs de réduction belges pour 2030 et répartition entre les régions						
	BE-2005	BE 2030	Plafond d'émission 2030			
	Emissions Belgique	Objectif de réduction	BE	FL	WAL	BRU
	kt	% par rapport à 2005	kt	kt	kt	kt
NOx	303,5	-59	124,4	71,8	49,4	3,2
SOx	142,1	-66	48,3	32,5	15,4	0,4
PM _{2,5}	34,8	-39	21,2	11,9	8,8	0,5
COVNM	145,8	-35	94,8	58,8	32,1	3,9
NH ₃	78,8	-13	68,6	41,5	27,0	0,1

COVNM : composés organiques volatils non méthaniques

Outre les objectifs d'émissions, il est également possible de faire référence aux objectifs de qualité de l'air. Ces objectifs sont également basés sur la législation européenne.

La directive européenne 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe stipule que la qualité de l'air doit être maintenue lorsqu'elle est bonne et améliorée dans les autres cas. Il est également stipulé que lorsque la norme est dépassée pour un ou plusieurs polluants, la période de dépassement doit être la plus courte possible.

Tableau 27 : Objectifs de qualité de l'air conformément à la directive-cadre européenne sur l'air (révision approuvée le 14 avril 2008).

Polluant	Temps moyen	Valeur limite	Date à laquelle la valeur limite doit être atteinte
Particules flottantes (PM₁₀)			
Valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine	24 h	50 µg/m ³ PM ₁₀ ne doit pas être dépassé plus de 35 fois par an.	1er janvier 2005
Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine	année civile	40 µg/m ³ PM ₁₀	1er janvier 2005
Particules flottantes (PM_{2,5})			
Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine	année civile	25 µg/m ³ PM _{2,5} ¹	1er janvier 2015
Valeur limite annuelle indicative pour la protection de la santé humaine	année civile	20 µg/m ³	1er janvier 2020
Objectif national de réduction de l'exposition par rapport à l'IAE en 2010	GBI	15,2 µg/m ³	2020

Polluant	Temps moyen	Valeur limite	Date à laquelle la valeur limite doit être atteinte
Objectif national de réduction de l'exposition par rapport à la GBI en 2010	GGBI	15,7 µg/m ³	2020
Obligation de concentration d'exposition	GBI	20 µg/m ³	2015
Dioxyde d'azote (NO₂) et oxydes d'azote (NO_x)			
Valeur limite horaire pour la protection de la santé humaine	1 heure	200 µg/m ³ NO ₂ ne peut être dépassé plus de 18 fois par année civile	1er janvier 2010
Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine	Année civile	40 µg/m ³ NO ₂	1er janvier 2010
Seuil d'alarme	1 heure	400 µg/m ³ NO ₂ pendant 3 heures consécutives	1er janvier 2010
Valeur limite annuelle pour la protection de la végétation	Année civile	30 µg/m ³ NO _x	19 juillet 2001 En Flandre, cependant, aucune zone n'a été définie où la valeur limite s'applique
Dioxyde de soufre (SO₂)			
Valeur limite horaire pour la protection de la santé humaine	1 heure	350 µg/m ³ ne peut être dépassé plus de 24 fois par année civile	1er janvier 2005
Valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine	24 h	125 µg/m ³ ne peut être dépassé plus de 3 fois par année civile	1er janvier 2005
Seuil d'alarme	1 heure	500 µg/m ³ SO ₂ pendant 3 heures consécutives	1er janvier 2005
Niveau critique pour la protection de la végétation	Saison annuelle et hivernale	20 µg/m ³	19 juillet 2001 En Flandre, cependant, aucune zone n'a été définie où la valeur limite s'applique
Monoxyde de carbone (CO)			
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	Moyenne la plus élevée sur 8 heures d'une journée	10 mg/m ³	1er janvier 2005
Plomb (Pb)			
Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine	année civile	0,5 µg/m ³	1er janvier 2005 (1er janvier 2010)
Benzène (C₆H₆)			

Polluant	Temps moyen	Valeur limite	Date à laquelle la valeur limite doit être atteinte
Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine	année civile	5 µg/m ³	1er janvier 2005
Ozone (O₃)			
Valeur cible pour la protection de la santé humaine	Moyenne la plus élevée sur 8 heures d'une journée (NET60 _{ppb})	120 µg/m ³ (moyenne sur 3 ans : max. 25 jours de dépassement par an)	1er janvier 2010
Objectif à long terme de protection de la santé humaine	Moyenne la plus élevée sur 8 heures d'une journée (NET60 _{ppb})	120 µg/m ³	
Seuil d'information	moyenne horaire	180 µg/m ³	
Seuil d'alarme	moyenne horaire	240 µg/m ³	
Valeur cible pour la protection de la végétation	AOT40 _{ppb}	18 000 (µg/m ³).heures, moyenne sur 5 ans	
Objectif à long terme de protection de la végétation	AOT40 _{ppb}	6000 (µg/m ³).heures	

En octobre 2019, le Gouvernement flamand a approuvé le Vlaams luchtbeleidsplan 2030 (VLP, le plan politique flamand pour l'air). Il ressort de ce plan que ce sont surtout les polluants NO₂ et les particules fines qui doivent être assainis pour que la pollution de l'air n'ait plus d'impact négatif sur l'homme et l'environnement. Il apparaît également que la norme de qualité de l'air pour le NO₂ dans toute la Flandre est dépassée en de nombreux endroits, en particulier à circulation intense. Les concentrations de fond sont causées par l'effet cumulé de toutes les sources d'émission à proximité. Pour que la période de dépassement soit la plus courte possible, les émissions supplémentaires devront être limitées autant que possible.

Lien : <https://omgeving.vlaanderen.be/luchtverontreiniging-actieplannen#luchtbeleidsplan>

En ce qui concerne le futur durcissement éventuel des normes de qualité de l'air, on peut se référer à la proposition ci-dessous de la Commission européenne telle que formulée fin 2022. Cette proposition prend davantage en compte les limites d'exposition recommandées ajustées telles que formulées par l'OMS dans le contexte de limitation de l'impact de la qualité de l'air sur la santé. ([EUR-Lex - 52022PC0542 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)).

<p>COMMISSION EUROPÉENNE Brussels, 26.10.2022 COM(2022) 542 final 2022/0347(DCO)</p> <p style="text-align: center;">Proposition pour une DIRECTIVE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL sur la qualité de l'air ambiant et un air plus pur pour l'Europe</p> <p style="text-align: center;"><u>ANNEXE I</u></p> <p>NORMES DE QUALITÉ DE L'AIR Partie 1 - Valeurs limites pour la protection de la santé humaine</p>

Tableau 1 – Valeurs limites pour la protection de la santé humaine à atteindre au 1er janvier 2030

Période de moyennage	Valeur limite

PM2.5		
1 jour	25 µg/m ³	à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile
Année civile	10 µg/m ³	
PM10		
1 jour	45 µg/m ³	à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile
Année civile	20 µg/m ³	
Dioxyde d'azote (NO ₂)		
1 heure	200 µg/m ³	à ne pas dépasser plus d'une fois par année civile
1 jour	50 µg/m ³	à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile
Année civile	20 µg/m ³	
Dioxyde de soufre (SO ₂)		
1 heure	350 µg/m ³	à ne pas dépasser plus d'une fois par année civile
1 jour	50 µg/m ³	à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile
Année civile	20 µg/m ³	
Benzène		
Année civile	3,4 µg/m ³	
Monoxyde de carbone (CO)		
maximum quotidien moyenne sur 8 heures (1)	10 mg/m ³	
1 jour	4 mg/m ³	à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile
Plomb (Pb)		
Année civile	0,5 µg/m ³	
Arsenic (As)		
Année civile	6,0 ng/m ³	
Cadmium (Cd)		
Année civile	5,0 ng/m ³	
Nickel (Ni)		
Année civile	20 ng/m ³	
Benzo(a)pyrène		
Année civile	1,0 ng/m ³	
(1) La concentration moyenne quotidienne maximale sur 8 heures sera sélectionnée en examinant les moyennes glissantes sur 8 heures, calculées à partir de données horaires et mises à jour toutes les heures. Chaque moyenne sur 8 heures ainsi calculée sera attribuée au jour où elle se termine, c'est-à-dire que la première période de calcul pour un jour quelconque sera la période allant de 17h00 le jour précédent à 1h00 ce jour-là ; la dernière période de calcul pour un jour quelconque sera la période de 16h00 à 24h00 ce jour-là.		

Dans le cadre des objectifs de la politique européenne en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre (y compris par l'abandon accéléré de l'utilisation des combustibles fossiles), les mesures associées auront également un impact positif sur la qualité de l'air. Pour ce cadre politique spécifique, veuillez vous référer au chapitre sur le climat.

3.4.2 Effets pertinents et relations de cause à effet

Les effets potentiellement pertinents qui sont étudiés dans ce RIE au sein de la discipline Air sont les émissions dans l'atmosphère associées à l'exploitation de Doel 4. Il s'agit principalement des paramètres de combustion provenant des groupes électrogènes de secours, des installations auxiliaires de vapeur et de chauffage, et des transports en provenance et à destination du site.

D'autres sources concernent les travaux de maintenance, avec l'utilisation de diverses machines (travail du bois et des métaux), les éventuelles pertes par fuite des installations de refroidissement et l'impact via les tours de refroidissement. Des études antérieures ont déjà indiqué qu'il n'y a pratiquement pas d'impact des éventuelles émissions d'aérosols salins provenant de la tour de refroidissement.

Compte tenu de l'arrêt prévu des installations Doel 1 et Doel 2, et compte tenu de Doel 3 déjà arrêté, des émissions et un impact plus faibles peuvent être supposés pour la situation prévue par rapport à la situation actuelle.

3.4.3 Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence

Étant donné les différentes échelles et localisations, la zone d'étude dépend en fait de l'effet étudié. Pour les différents éléments, les domaines suivants peuvent être définis :

- Zone de 5 km autour de la centrale pour l'évaluation des émissions locales de la centrale ;
- Territoire fédéral pour l'évaluation des niveaux d'émission par rapport aux objectifs NEC

Afin de cartographier la situation de référence, la future diminution attendue des émissions et de l'impact d'ici 2025 des sources locales et plus éloignées est prise en compte, compte tenu des objectifs à atteindre d'ici 2030, qui devraient être encore durcis.

3.4.3.1 Qualité actuelle de l'air

Les relevés d'immissions réalisés par la VMM pourraient dans un premier temps servir à cartographier la qualité locale de l'air.

Des données de mesure limitées sont disponibles pour les substances les plus pertinentes dont l'impact doit être évalué. Par conséquent, des calculs de modèles à l'échelle de la zone sont utilisés pour décrire la qualité de l'air (source VMM). Étant donné que la pandémie de COVID s'est accompagnée d'une influence positive sur la qualité de l'air, et que cette influence est visible sur les cartes pour 2020 et 2021 (2022 non encore disponible), on continuera quand même à utiliser les données de 2019.

Les cartes sont basées sur l'interpolation des résultats des stations de mesure en Flandre et dans les régions environnantes, complétées par une modélisation à haute résolution. Outre les résultats de mesure, le modèle dit Atmo-street est utilisé pour la production de ces cartes modèles. Cela comprend essentiellement trois modèles pour estimer la qualité de l'air : RIO, IFDM et OSPM.

Sur les cartes :

- La situation particulière des canyons urbains est également prise en compte.
- Les résultats locaux sont-ils limités par les informations sur les émissions locales (comptages de trafic, vitesses parcourues, parc automobile).

Certaines limitations avec ces cartes sont :

- Aucune information n'est disponible sur les émissions du trafic sur les routes à faible trafic. Le trafic sur ces routes est alloué aux routes plus grandes auxquelles se rattachent les routes plus petites. Par conséquent, le modèle ne peut pas effectuer un calcul séparé pour chaque rue. Les « concentrations de fond » sont indiquées pour ces rues. Il s'agit des concentrations calculées pour une zone plus large d'une superficie de $4 \times 4 \text{ km}^2$;
- De plus, le trafic est alloué par modèle. Il y a peu ou pas de comptages de trafic au niveau flamand pour les non-autoroutes. Les calculs sont basés sur les comptages de trafic, les vitesses parcourues et les informations sur le parc automobile. L'intensité du trafic est déterminée en combinant des comptages de trafic et des charges modélisées sur les tronçons de route. Il existe à cet effet des relevés permanents d'intensité et de vitesse sur les autoroutes. Il y a beaucoup moins de relevés disponibles pour le réseau routier sous-jacent. Concernant le parc automobile, on prend en compte le parc automobile flamand moyen.
- Les situations de circulation temporaires (par exemple, déviations ou embouteillages) ne sont pas prises en compte ;
- L'impact des nouvelles situations de circulation (nouvelles routes, plans de mobilité en cours....) n'est pas immédiatement visible
- Le soulèvement répété de la poussière par le trafic et l'effet de la présence de verdure (comme des arbres dans une rue) ne sont pas pris en compte ;
- La pollution locale causée par les poêles à bois, les cheminées et les grands élevages, entre autres, n'est pas visible sur les cartes. La pollution provenant de ces sources est incluse dans la « concentration de fond » (avec une résolution spatiale inférieure de $4 \times 4 \text{ km}^2$).

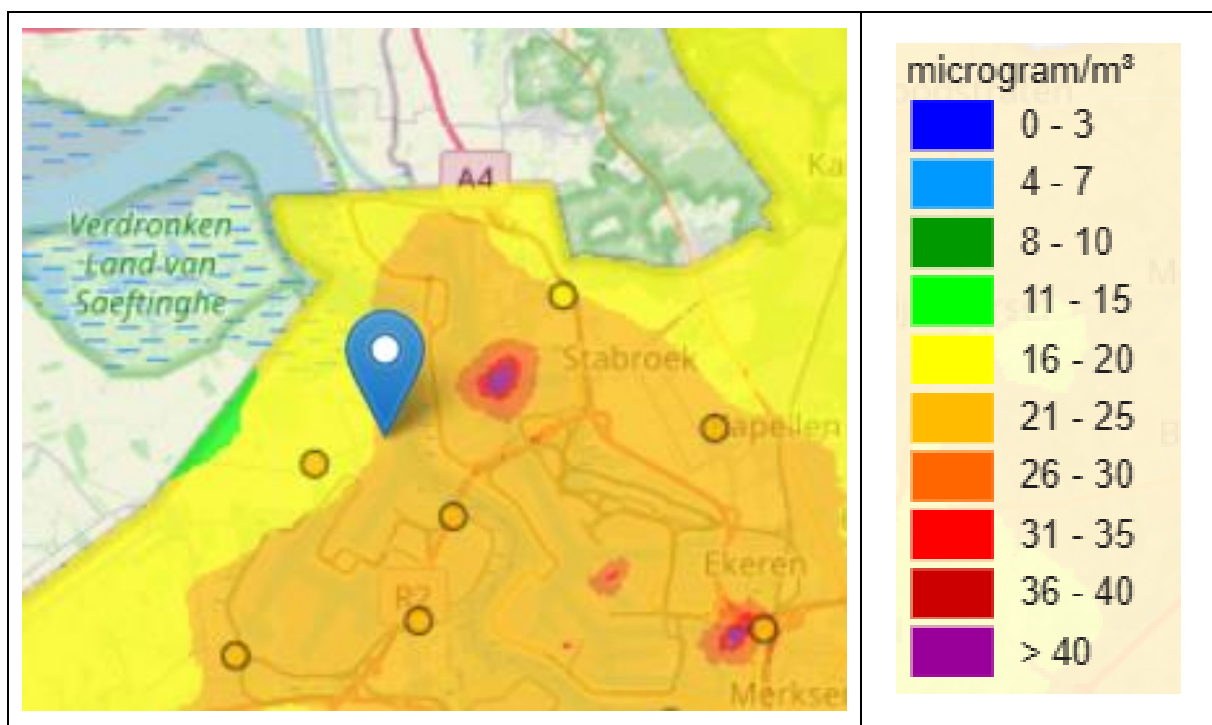


Figure 55 : Concentration moyenne annuelle en PM_{10} en 2019 (Source : VMM).

Globalement, en termes de PM_{10} (particules fines), la valeur limite légale de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est largement respectée. De grandes parties de la zone d'étude sont situées dans une zone avec des concentrations de 16 à 20 et 21 à 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Des valeurs plus élevées pertinentes ne sont déterminées qu'à quelques emplacements spécifiques, comme dans le port d'Anvers et quelques emplacements urbains spécifiques. Ces zones s'étendent sur une superficie limitée.

Les limites d'exposition recommandées en fonction de la santé sont dépassées dans une grande partie de la zone d'étude.

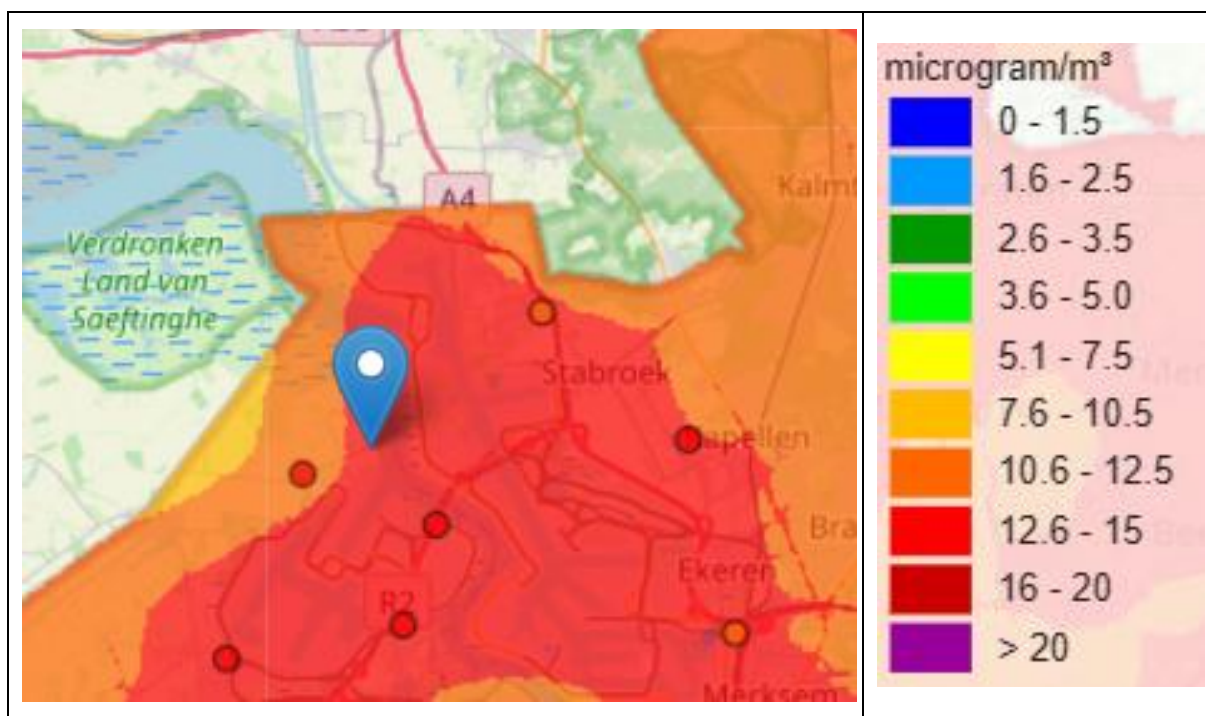


Figure 56 : Concentration moyenne annuelle de $PM_{2,5}$ en 2019 (Source : VMM).

Globalement, en ce qui concerne les $PM_{2,5}$, la valeur limite légale (indicative) de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est largement respectée. De grandes parties de la zone d'étude sont situées dans une zone avec des concentrations de 11 à 12 et 13 à 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Des valeurs légèrement plus élevées ne sont calculées qu'à quelques endroits très spécifiques (routes et autoroutes très fréquentées). Ces emplacements couvrent une superficie extrêmement limitée.

Les limites d'exposition recommandées en fonction de la santé sont dépassées dans une grande partie de la zone d'étude.

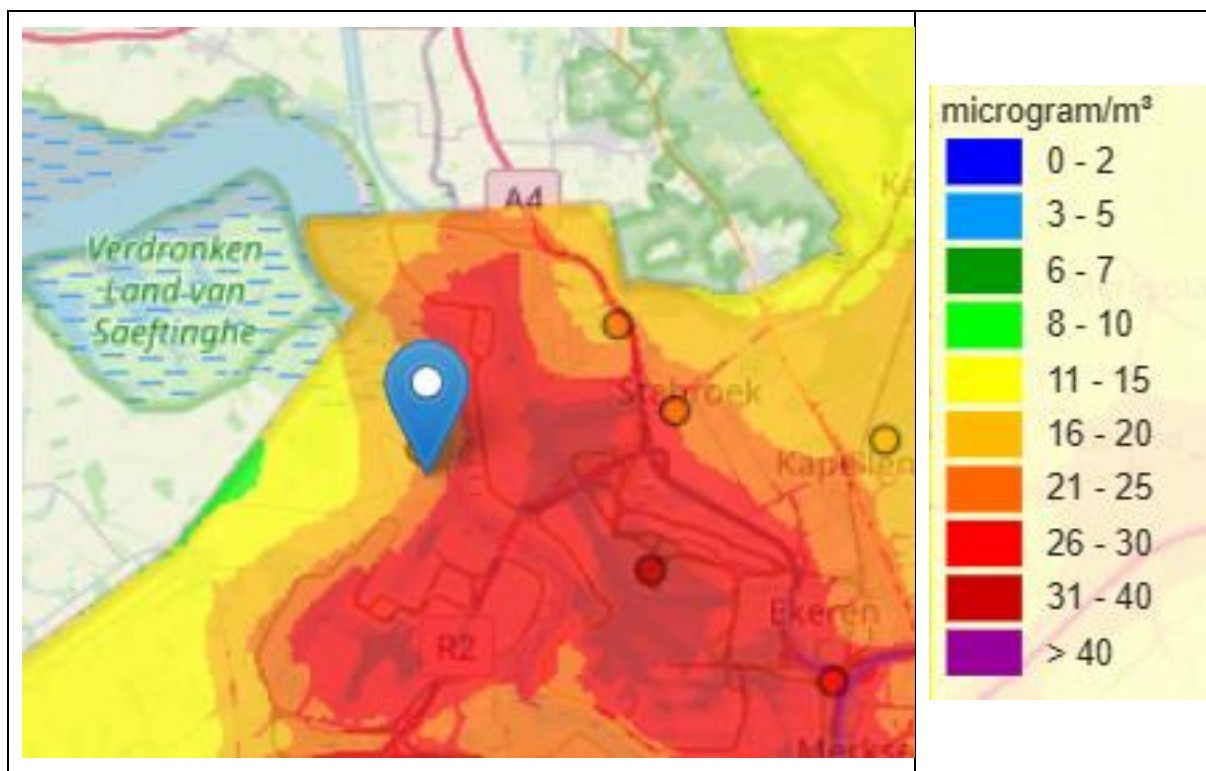


Figure 57 : Concentration moyenne annuelle de NO₂ en 2019 (Source : VMM).

En termes de NO₂, une très forte variation spatiale est observée. Globalement, la valeur limite légale de 40 µg/m³ est largement respectée. De grandes parties de la zone d'étude sont situées dans une zone avec des concentrations de 11 à 15, 16 à 20 et 21 à 25 µg/m³. Une grande partie du port d'Anvers a des concentrations considérablement accrues, principalement causées par la navigation, le trafic routier et les émissions industrielles. Les agglomérations urbaines sont également fortement affectées négativement par le chauffage des bâtiments. Ce n'est qu'à proximité des routes (autoroutes) très fréquentées que des valeurs si élevées sont calculées qu'un dépassement se produit (par exemple le long du Ring d'Anvers). Il convient de noter que les valeurs limites légales ne s'appliquent pas aux routes elles-mêmes et à leurs accotements. En outre, des concentrations nettement plus élevées sont également calculées aux embouchures de tunnel et le long des routes (plus fréquentées) avec des bâtiments contigus des deux côtés de la route, ce qui peut également entraîner des dépassements de la valeur limite.

Les limites d'exposition recommandées en fonction de la santé sont dépassées dans une grande partie de la zone d'étude.

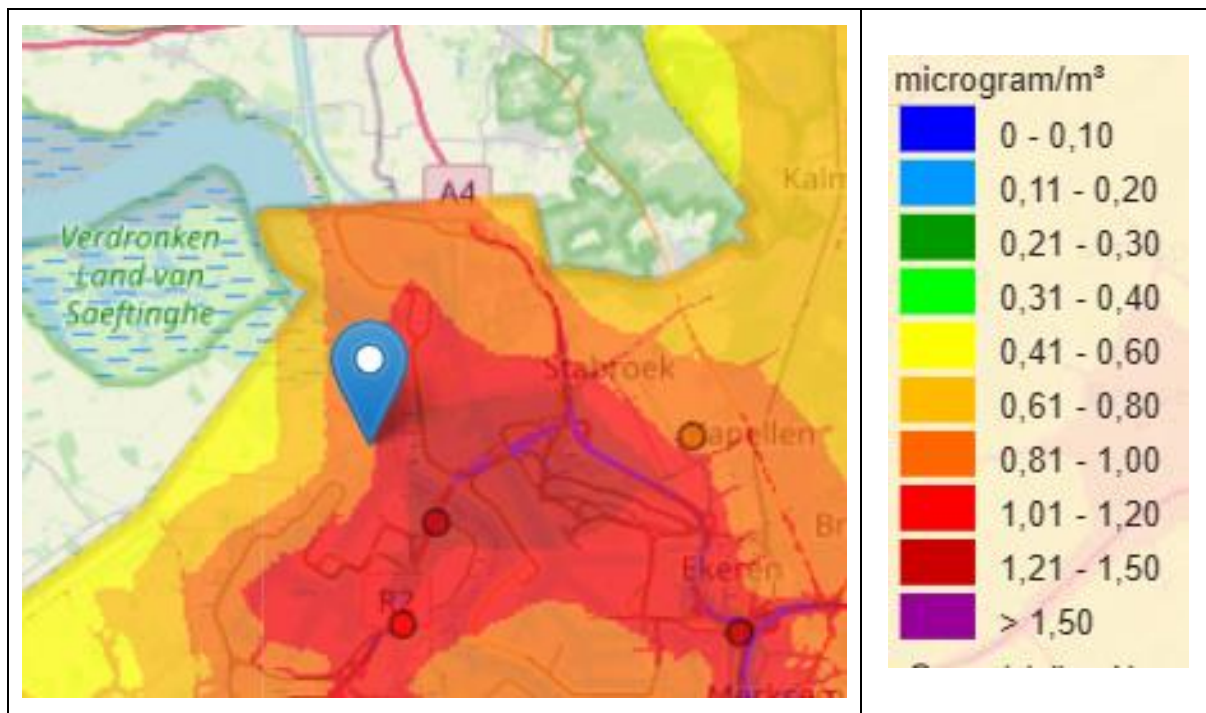


Figure 58 : Concentration moyenne annuelle de CE en 2019 (Source : VMM).

De même, pour le carbone élémentaire (EC) (paramètre qui peut être vu comme une mesure pour le carbone noir (BC : black Carbon) et pour la teneur en suie) une forte variation spatiale est constatée, principalement causée par l'utilisation de combustibles fossiles. En ce qui concerne EC et BC, aucune valeur limite ou cible ne s'applique. De grandes parties de la zone d'étude sont situées dans une zone avec des concentrations de 0,5 à 1 µg C/m³. Des valeurs encore plus élevées sont calculées dans les grandes agglomérations urbaines et dans le port d'Anvers, jusqu'à environ 1,5 µg C/m³. Ces concentrations sont encore plus élevées le long des routes les plus fréquentées.

Conclusions sur la qualité actuelle de l'air

La qualité actuelle de l'air à proximité de la zone du projet a été évaluée. Pour les paramètres pour lesquels aucune donnée de mesure n'est connue dans ou à proximité de la zone d'étude, une estimation de la qualité locale de l'air a été faite sur la base de données de la littérature et/ou de modèles.

Le NO_x/NO₂ est le paramètre le plus important pour les émissions/l'impact des installations et des transports installés en permanence. En ce qui concerne le NO₂, les conclusions suivantes peuvent être formulées pour l'environnement de la zone d'étude :

- Une grande variation spatiale des concentrations de NO₂ est observée, qui est largement déterminée par le trafic routier, la navigation, les émissions industrielles et le chauffage des bâtiments ;
- Les concentrations de NO₂ les plus élevées sont calculées à proximité immédiate des routes et autoroutes les plus fréquentées. Des dépassements de la valeur limite moyenne annuelle de 40 µg/m³ (et de la valeur indicative de l'OMS) se produisent à ces endroits ;
- L'impact du trafic routier diminue assez rapidement avec l'éloignement de la route ;
- Les valeurs de mesure de la VMM indiquent que la valeur limite horaire moyenne (de 200 µg/m³) est respectée, celle-ci pouvant être dépassée 18 fois par année civile ;
- En plus des émissions industrielles dans le port d'Anvers, la navigation semble être une source très importante de l'augmentation globale des concentrations de NO₂ qui y est observée.

Pour les particules fines (PM₁₀ et PM_{2,5}), les valeurs limites légales sont respectées, mais les valeurs recommandées par l'OMS sont dépassées. Les concentrations de particules fines présentent une distribution spatiale beaucoup moins importante.

Les ressources locales importantes ici sont également l'industrie et la navigation.

3.4.3.2 Qualité de l'air dans la situation de référence

Pour la cartographie de la qualité de l'air dans la situation de référence, il est fait référence aux résultats des concentrations de fond basées sur un modèle à un certain nombre de points d'évaluation à proximité de la zone du projet. Les données de 2025 seront utilisées.

Tableau 28: Concentrations en 2025 à un certain nombre de points d'évaluation à proximité de la zone du projet dans les zones résidentielles environnantes, les stations de surveillance VMM et la frontière néerlandaise (résultat du modèle IMPACT).

				AG2025	AG2025	AG2025
				NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}
		X	Y	moyenne	moyenne	moyenne
n°	point d'évaluation	m	m	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
12	Zandvliet	146100	227500	23,5	19,2	12,7
13	Berendrecht-Hoefbladstraat	147100	226200	23,7	19,2	12,6
14	Berendrecht	145540	225450	30,1	20,4	14,1
15	Lillo	144510	221650	34,0	20,4	15,3
16	Fort Liefkenshoek	144160	220390	33,6	20,2	15,2
17	Objet	142710	222380	28,8	19,5	14,4
18	Sattingen	140490	221730	19,1	18,4	12,8
19	Kieldrecht	136300	220400	13,4	18,4	11,7
20	Verrebroek	137500	216100	17,1	17,6	12,1
21	Vrasene	137600	212400	13,1	17,0	11,0
29	Zwijndrecht	147100	212000	23,3	17,8	11,6
30	Burcht	148500	210900	26,0	18,3	11,8
31	L.O.	151000	213300	29,9	18,8	12,2
32	Anvers	152200	211500	32,2	18,8	11,8
45 -MP	Anvers Rive gauche	150865	214046	29,6	18,9	12,3
51 -MP	Zandvliet-Scheldelaan	148139	215578	27,7	19,7	13,1
53 -MP	Berendrecht-Hoefbladstraat	147976	226558	21,1	18,5	11,8
54 -MP	Beveren-Meerminendam	141037	211484	16,2	17,0	11,0
57 -MP	Écluse Kallo	143727	217020	31,8	19,5	14,1
58 -MP	Kapellen Fortstraat	155302	223403	21,3	17,0	10,7
60 -MP	Stabroek Laageind	149541	224212	24,8	19,1	12,3
NI-1	Frontière néerlandaise	137700	222700	15,2	16,8	13,0
NI-2	Frontière néerlandaise	140500	226400	19,8	17,1	13,5
NI-3	Frontière néerlandaise	142800	229500	21,1	18,4	13,1
NI-4	Frontière néerlandaise	147500	229700	16,3	17,2	11,0

Les conclusions pour 2025 sont similaires à celles de la situation actuelle : les valeurs limites légales pour le NO₂, les PM₁₀ et les PM_{2,5} sont respectées. Les limites d'exposition recommandées par la santé sont généralement dépassées.

Plus tard (2030/2035), on peut supposer qu'à l'échelle mondiale, les concentrations de fond diminueront encore davantage en raison des conditions préalables liées aux politiques et du durcissement attendu des normes d'émission.

3.4.4 Description des effets

L'impact non nucléaire sur la qualité de l'air lors de l'exploitation du site est principalement causé par :

- appareils fixes à combustion (émissions guidées) ;
- émissions possibles lors des travaux de maintenance (émissions diffuses et conduites)
- Transport / déplacements des employés (émissions diffuses).

Dans un premier temps, les émissions actuelles sont cartographiées. Ensuite, les émissions attendues après 2025 sont cartographiées et évaluées sur la base de prévisions pour la situation prévue.

3.4.4.1 Émissions actuelles

Installations fixes

Les installations fixes prises en compte sont :

- Appareils à combustion ;
- Machines utilisées pour les travaux de maintenance ;
- Installations de refroidissement ;
- Tour de refroidissement.

L'impact actuel de l'ensemble du site est principalement influencé par la présence d'installations fixes à combustion. Les émissions guidées proviennent de diverses installations à combustion : chaudières à vapeur auxiliaires, générateurs de secours et installations de chauffage. Ces installations sont alimentées au gazole.

Sur la base du statut de licence (licence avec date d'expiration 30 mars 2031I portant la référence M03/46003/46/2/M/4/CW), il s'agit de :

- **71 moteurs fixes** d'une puissance thermique nominale totale de 247,943 MWth, répartis comme suit : • D12 : 75,6 MWth (4 x 6,2 MWth, 2 x 4,3 MWth, 2 X 6,1MWth, 5 X 6,0 MWth) • D3 : 72,3 MWth (4 X 12,6 MWth, 2 x 2,4 MWth, 3 X 5,7 MWth) • D4 : 59,7 MWth (3 X 12,6 MWth, 2 x 2,4 MWth, 3 X 5,7 MWth) • Site : 40,343 MWth (1 X 0,020 MWth, 1 X 0,025 MWth, 1 X 0,033 MWth, 1 X 0,034 MWth, 4X0,044 MWth, 2 X 0,066 MWth, 1 X 0,103 MWth, 2 X 0,125 MWth, 5 X 0,234 MWth, 5 X 0,5 MWth, 4 X 4 MWth, 11 X 1,7 MWth, 3 X 0,4 MWth)

- **2 appareils à combustion pour chaudières à vapeur auxiliaires** d'une puissance thermique de 43,26 MWth chacune et **1 installation de chauffage d'une puissance** thermique de 0,204 MWth (total 86,724 MWth).

La vapeur auxiliaire est normalement fournie par les tranches en service. Si cela s'avère impossible, les 2 chaudières à vapeur auxiliaires peuvent reprendre la fonction.

Les groupes électrogènes de secours fonctionnent au gazole et assurent l'alimentation électrique des installations de sécurité, de secours et auxiliaires en cas d'indisponibilité de l'alimentation électrique extérieure. Dans des circonstances normales, ces installations ne fonctionnent pas. Ils sont testés périodiquement pour vérifier leur disponibilité. De ce fait, les heures de fonctionnement de toutes ces installations sont limitées, tout comme leurs émissions.

Conformément au titre II du VLAREM, aucune valeur limite d'émission ne s'applique aux installations de combustion qui ne fonctionnent pas avec des combustibles solides si le nombre d'heures de fonctionnement est inférieur à 100 par année civile.

Aucun résultat validé de relevé des émissions n'est disponible pour ces installations. L'obligation légale de tels relevés dépend de la puissance des installations individuelles (chacune avec son propre point d'émission, qui n'a pas été indiqué par l'autorité de délivrance des licences comme une combinaison d'installations) et du nombre d'heures de fonctionnement sur une base annuelle. Les valeurs limites d'émission applicables y sont également liées.

Des données de mesure sont disponibles pour la chaudière à vapeur auxiliaire, obtenues lors de la maintenance technique de l'installation. Bien que non réalisées par un laboratoire reconnu, ces données de mesure sont prises en compte dans l'évaluation d'impact, car l'émission calculée à partir de celle-ci peut être considérée comme plus précise par rapport à l'utilisation de facteurs d'émission.

Tableau 29 : Résultats des émissions de la chaudière vapeur auxiliaire lors des essais après ajustement du réglage des brûleurs (procès-verbal Saacke dd. 19/10/2021) avec les deux brûleurs en fonctionnement simultané

Tests Saacke	à actuel O ₂			à 3 % O ₂		temp.
	O ₂	CO	NOx	CO	NOx	
charge	% vol	mg/Nm ³ dr	mg/Nm ³ dr	mg/Nm ³ dr	mg/Nm ³ dr	°C
0%	7.2	0	179	0	233	162
10%	7.3	0	232	0	305	172
20%	6	0	252	0	302	175
30%	6.2	0	241	0	293	176
40%	5.8	8	300	9	355	177
50%	6.4	4	218	5	269	179
60%	6.2	20	211	24	257	181
70%	5.3	34	263	39	302	188
80%	4.7	73	273	80	301	187
85%	4.3	76	274	82	295	185
moyenne	5.9	21	244	24	291	178

La fréquence et la durée des essais des moteurs dépendent de la fonction du générateur diesel (diesel d'appoint, diesel de sécurité, diesel de secours, diesel GUM).

En raison de la présence de plusieurs réacteurs, le temps de fonctionnement des chaudières à vapeur auxiliaires est également limité sur une base annuelle.

L'impact de ces installations se situe presque exclusivement dans le domaine des NO_x/NO₂, et dans une bien moindre mesure également dans le domaine du SO₂, du CO et des poussières.

L'impact actuel est contenu dans la qualité actuelle de l'air telle que cartographiée par la VMM sur la base de relevés et de calculs. Les émissions des installations sont si limitées qu'aucun impact démontrable ne peut être déterminé sur les cartes modèles de la VMM.

Étant donné que la majorité de ces installations ne seront plus en service dans la situation prévue, il n'est pas jugé utile de modéliser l'impact de ces installations sur la base de calculs d'émissions et d'impacts. Cependant, cela sera fait pour la situation dans laquelle le projet sera mis en œuvre.

Outre les installations de combustion, un certain nombre de machines susceptibles d'émettre des émissions et utilisées lors des travaux de maintenance peuvent également être signalées. En principe, il ne s'agit que de petits travaux. Les grands travaux dans le domaine du travail du bois et des métaux sont confiés en sous-traitance.

L'atelier de maintenance est équipé de machines plus petites pour le traitement mécanique des métaux et la production d'objets en métal (forge), telles que cabine de soudage et de grenailage, tour, perceuse, scies. En

principe, les émissions de telles installations sont rejetées de manière diffuse dans l'atelier, à l'exception des fumées de soudage qui sont extraites. Les gros travaux de soudage sont confiés en sous-traitance.

Les ateliers comprennent également des installations de traitement mécanique et de fabrication d'articles en bois (Menuiserie avec, entre autres, des perceuses, des fraiseuses, des machines à panneaux, des machines de découpe, des plaqueuses de chants, etc.). Des émissions diffuses peuvent également se produire à partir de ces installations, qui peuvent être émises via un système d'extraction. La puissance/capacité totale de ces installations est si faible, et leur utilisation si limitée, qu'aucun impact démontrable n'est attendu de ces installations en limite de parcelle, même si les extracteurs n'étaient pas équipés de filtres à poussières.

Aucune valeur de mesure des émissions n'est disponible pour ces installations. Les puissances et les capacités sont si limitées, et leur utilisation est si sporadique, qu'aucune émission ne se produit lors de ces opérations de transformation mécanique du bois et des métaux qui devraient dépasser les seuils au-dessus desquels les valeurs limites d'émission générales Vlare-II deviennent applicables.

Étant donné que ces installations ne fonctionnent que très occasionnellement (dans le cadre de travaux de maintenance), compte tenu de la puissance/capacité très limitée, et compte tenu du fait que les émissions relatives de telles installations sont très limitées, aucun impact démontrable n'est donc attendu de ces installations en dehors des limites de parcelle, même si les extracteurs n'étaient pas équipés de filtres à poussières. D'autant plus que les activités mécaniques produisent majoritairement des poussières plus grossières qui se déposent rapidement dans l'atelier, de sorte que seule une partie limitée peut être émise via la ventilation du bâtiment.

Des émissions peuvent également se produire lors du dégraissage de métaux ou d'objets métalliques au moyen de solvants organiques. Ces émissions se produisent également de manière diffuse dans l'atelier et peuvent être émises par la ventilation du bâtiment. La consommation totale en solvants organiques est si limitée qu'aucun impact démontrable n'est attendu en dehors des limites de la parcelle.

Le dégraissage des gros appareils se fait en externe. Du matériel de dégraissage local à base de biocircle L et biocircle L ultra CMS 34627 est disponible dans les ateliers dont 2 * 200 l ont été achetés en 2022. Ces produits ne contiennent que des quantités relativement limitées de substances organiques, même avec une pression de vapeur limitée, de sorte que la quantité de substances organiques volatiles (COV) qui se retrouvent dans l'air peut être considérée comme négligeable.

Il y a aussi un atelier de réparation de véhicules à moteur (y compris la carrosserie). Des émissions de poussières et de solvants organiques volatils sont possibles lors de telles réparations. Cependant, l'utilisation de ces installations est si limitée qu'aucun impact démontrable n'est attendu aux limites de la parcelle.

Des émissions de fuites accidentelles peuvent également provenir d'installations de refroidissement. Les émissions de fuites peuvent être estimées sur la base des obligations légales d'enregistrement des recharges de réfrigérants.

Tableau 30 : Aperçu des pertes de fuite.

Date d'appoint	Code PKD appareil	type de gaz réfrigérant	kg appoint en période 2020-2022	En service jusqu'au
15/01/2020	Scaldis CIAT à droite côté B	R410A	88,4 kg	2038
1/04/2020	D3/CF-ML0029	R134A	1,2 kg	2025
2/04/2020	D3/CF-ML1020	R134A	33 kg	2025
1/04/2020	D0/OVE-FA4	R407C	15kg	2029
23/06/20	D4/CF-ML0026	R134A	4,9kg	2038
17/09/2020	D3/CF-ML0018	R134A	14,12 kg	2025
30/07/2020	D3/CF-ML0019	R134A	13,7 kg	2025
5/11/2020	D4/VK-PP0090	R134A	2 kg	2038
20/01/2020	D4/CF-ML0029	R134A	13,59 kg	2038

Date d'appoint	Code PKD appareil	type de gaz réfrigérant	kg appoint en période 2020-2022	En service jusqu'au
29/10/2020	D4/CF-ML0029	R134A	5,5 kg	2038
5/06/2020	CGB - refroidissement cuisine	R410A	11kg	2038
14/07/2020	MAG - garage pompiers	R410A	0,6kg	2025
17/12/20	D4/CF-ML1010	R134A	15,4 kg	2038
20/05/20	MAG - 034	R410A	1,7 kg	2025
18/01/21	D3/CF-ML0027	R134A	19,4 kg	2025
27/01/21	D4/CF-ML0026	R134A	4,51 kg	2038
02/03/21	D3/CF-ML0018	R134A	2,8 kg	2025
16/02/21	D3/CF-ML0019	R134A	1,9 kg	2025
12/04/21	D4/CF-ML0019	R134A	6,5 kg	2038
06/05/21	D3/CF-ML0019	R134A	9,71 kg	2025
17/03/21	D4/CF-ML1010	R134A	50,5kg	2038
04/11/21	WPG - 135 (Vinçotte) (DS/VOG006)	R410A	2,9 kg	2025
03/01/21	D0/OVE-FA4	R407C	10 kg	2029
16/12/21	D3/CF-ML1020	R134A	1,8 kg	2025
11/01/22	DS/VAG-ML0825	R410A	1,8 kg	2038
11/04/2022	D3/CF-ML0026	R134A	3,12 kg	2025
9/04/2022	D4/CF-ML0023	R134A	3,4 kg	2038
9/05/2022	D3/CF-ML0019	R134A	3,7 kg	2025
16/05/22	SOC-103	R410A	3,5 kg	2038
02/06/22	D4/CF-ML0018	R134A	5,93 kg	2038
26/07/2022	D4/CF-ML0018	R134A	1,42 kg	2038
25/07/2022	D3/CF-ML0018	R134A	20 kg	2025
15/06/22	Réfrigérateur cuisine	R134A	0,25 kg	2038
22/08/22	D4/CF-ML1020	R134A	23,92 kg	2038
08/09/22	D4/CF-ML0019	R134A	20,06 kg	2038
17/10/2022	DT/CFV-ML0003	R410A	21,3 kg	2038
24/10/2022	D0/CF0E87B	R134A	107,75 kg	2029
10/11/2022	D3/AF-ML0100	R410A	18,17 kg	2025
16/11/2022	D0/OVE-FA3	R407C	26,9 kg	2029
8/12/2022	DT/CFV-ML0003	R410A	21,3 kg	2038
06/12/22	WDG salle de serveur	R410A	0,46 kg	2038

Aucun impact provenant des émissions enregistrées au sein du site étudié n'est attendu.

L'hydrazine est également utilisée sur le site. Ses émissions pourraient provoquer un impact olfactif (odeur de type NH_3 , compte tenu du seuil olfactif relativement bas (environ 2 à 3 ppm). La livraison s'effectue selon une procédure bien définie qui garantit toujours que la concentration stockée ne dépasse pas 5 % (première eau puis 15 % de livraison). Des joints hydrauliques sont également présents sur les contenants qui captent les vapeurs s'échappant des réservoirs. Ces joints hydrauliques sont rafraîchis à des périodes précises, afin que la concentration en eux ne devienne pas trop élevée. L'utilisation de N_2H_2 est limitée à une légère surconcentration. En présence d'air, le produit se désagrège en azote et en eau. Les plus petits résidus réagissent également dans les eaux usées. Des concentrations plus élevées sont utilisées lors du conditionnement des générateurs de vapeur à l'arrêt. Des résidus

de ces rejets peuvent se retrouver dans les eaux usées. En plus de l'hydrazine, l'ammoniac est également dosé. Les concentrations sont également faibles. Compte tenu des mesures prises et de la nature de la consommation, une éventuelle émission d'hydrazine et de NH₃ dans l'air peut être considérée comme négligeable. Aucun impact (d'odeur) n'est donc attendu en dehors des limites de la parcelle.

La consommation très limitée d'autres substances telles que le H₂SO₄ (par exemple dans l'épuration de l'eau) ne devrait pas non plus avoir d'impact démontrable sur la qualité de l'air.

Une source d'émission ayant un impact potentiel sur la qualité de l'air est la tour de refroidissement et les éventuelles émissions d'aérosols salins qui peuvent l'accompagner.

Les circuits de refroidissement des tranches Doel 3 et 4 sont des circuits de refroidissement partiellement fermés, ce qui signifie que l'eau de refroidissement circule entre la tour de refroidissement et le condenseur. Il y a également un réapprovisionnement (et un refroidissement supplémentaire) par l'alimentation (et le rejet) continue de l'eau de l'Escaut. Une partie de l'eau de refroidissement s'évapore dans la tour de refroidissement. Avec cette évaporation et cette atomisation, les aérosols se retrouvent également dans l'air. Ces aérosols contiennent également des concentrations de sel provenant de l'eau saumâtre de l'Escaut maritime. L'impact éventuel de ces aérosols salins va en effet se propager dans l'air ambiant et entraîner éventuellement une augmentation locale des concentrations de sel. Cependant, du fait de la hauteur d'émission très importante (plus de 140 m), ces aérosols salins seront très fortement dilués avant qu'une partie d'entre eux n'atteigne le niveau du sol. En raison de la dispersion aux abords immédiats, on ne s'attend à aucune concentration annuelle moyenne supérieure aux concentrations de sel lié aux particules telles qu'elles se produisent sur La Côte. Sur le littoral, la proportion de PM₁₀ provenant des sels est d'environ 4 à 6 µg/m³. Cette concentration diminue systématiquement à l'intérieur des terres. Sur la base d'études antérieures, qui sont également citées dans le RIE d'Arcadis (2021), il y a donc un impact acceptable.

Par ailleurs, le RIE d'Arcadis suppose une teneur en sel de l'eau de circulation dans les tours de refroidissement (qui est pompée à partir de l'Escaut) de 20 g/l, ce qui est une moyenne annuelle estimée pessimiste, étant donné que les relevés sur la période 2010-2019 indiquent une teneur maximale en sel de l'eau de l'Escaut pompée d'environ 10,8 g/l (Arcadis, 2021). Une valeur moyenne de 10 g/l pourrait donc être considérée comme plus réaliste.

L'impact réel du trafic à destination et en provenance du site

Au total, le nombre de transports par camion est estimé à 2370/an. En moyenne par jour calendaire, cela signifie au maximum 14 mouvements de transport. Même s'il s'agissait de poids lourds et qu'ils suivaient tous le même itinéraire, aucun impact démontrable sur la qualité de l'air n'est attendu de ce nombre de transports.

Le nombre d'employés propres au site de la centrale nucléaire d'Electrabel SA présent à Doel est d'environ 1000. Il y a également 1000 contractuels permanents.

Il s'agit de personnes qui travaillent pendant la journée et dans un système d'équipes continus. Lors des travaux de révision, le nombre de télétravailleurs peut atteindre 2.000 personnes.

Le transport collectif est organisé via des bus qui récupèrent leurs propres employés lors de tournées de collecte. L'utilisation du vélo est encouragée. Les employés externes voyagent généralement avec des transports collectifs organisés par leur employeur.

Tous ces mouvements ont tout au plus un impact limité temporaire sur la qualité de l'air à proximité immédiate de la route en provenance et à destination du site lui-même (le long des tronçons routiers par lesquels passe tout le trafic). Dès que ce trafic se répartit dans différentes directions, on ne s'attend plus à ce qu'il ait un impact démontrable sur la qualité de l'air.

3.4.4.2 Émissions et impact dans la situation prévue

L'horizon temporel de la situation prévue sera initialement 2025.

Les bâtiments sont chauffés avec de la vapeur auxiliaire, générée par les centrales en service (ou par des chaudières à vapeur auxiliaires si aucune n'est en service). Dans le cadre du programme DECOM (pas du programme LTO), de

nouvelles manières de chauffer les bâtiments sont prévues. Comme aucune donnée n'est encore disponible à ce sujet, il ne sera pas inclus dans ce rapport.

L'inventaire des émissions dans la situation prévue prend en compte non seulement les installations liées à l'exploitation de Doel 4, mais aussi toutes les autres installations qui seront encore opérationnelles sur le site. En ce sens, l'impact cumulé total lié à l'arrêt des autres centrales est évalué, et pas seulement l'impact spécifique de Doel 4. En fait, on peut même supposer que si Doel 4 est arrêté, la plupart des émissions calculées pour la situation prévue se produiront encore à ce moment-là, étant donné que de nombreuses installations existantes doivent demeurer opérationnelles, et donc aussi être testé périodiquement, comme c'est le cas après l'arrêt de Doel 3, et l'arrêt prévu de Doel 1-2 pour les installations qui leur sont liées (voir aperçu des prévisions de fonctionnement des différentes installations). Le maintien temporaire en service de Doel 4 entraînera donc (beaucoup) moins d'émissions supplémentaires jusqu'en 2035/2037 environ que les émissions répertoriées pour la situation prévue. L'impact calculé sur la base des émissions dans la situation prévue n'est donc pas seulement le résultat du maintien de Doel 4 ouvert.

Impact des installations fixes dans la situation prévue

Dans la situation prévue, seul un nombre limité d'installations resteront en service.

En ce qui concerne les groupes de secours, on peut supposer qu'ils seront en service à une fréquence et une durée similaires.

Les chaudières à vapeur auxiliaires, en revanche, devraient être en service plus fréquemment et plus longtemps que dans la situation actuelle (lors de la révision de Doel 4, dont la fréquence est d'une fois par an). Les émissions relatives des chaudières à vapeur auxiliaires sont considérablement inférieures aux émissions des moteurs à combustion interne.

À court terme, il n'est pas prévu qu'une ou plusieurs des installations qui resteront en service soient remplacées par de nouvelles. Lors de la cartographie des émissions, il est donc possible de supposer les caractéristiques d'émission telles qu'elles étaient utilisées dans le passé.

À défaut de résultats de relevé des émissions, l'impact est évalué sur la base de la consommation de carburant et des facteurs d'émission. Pour les facteurs d'émission, les facteurs d'émission seront utilisés tels qu'ils étaient déjà appliqués dans le RIE précédent (Arcadis, 2021 : RIE centrale nucléaire Doel dans le but de prolonger la durée de vie de Doel 1 et 2).

Comme décrit précédemment, afin de fournir la certitude nécessaire qu'aucune sous-estimation n'est obtenue, il est supposé que les moteurs diesel fonctionneront pendant un nombre d'heures un peu plus élevé par rapport à la situation en 2022.

Tableau 31 : Aperçu des installations de combustion en situation planifiée (à partir de 2025).

Évolution des installations en service (v = installation en service cette année-là)																				
Élément fonctionnel	Description	Puissance [MWth]	Type	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	
Doel 1 / 2	PKD-D1/DG11	GROUPE D'ALTERNATEURS DIESEL 11 (CONTAINER DG)	4.3	moteur diesel	v	v	v	v	v	v										
	PKD-D2/ED22	GROUPE D'ALTERNATEURS DIESEL 21 (CONTAINER DG)	6.1	moteur diesel	v	v	v	v												
	PKD-D2/DG21	DIESEL DE SECOURS 12 D1/GNS	4.3	moteur diesel	v	v	v	v	v	v										
	PKD-D1/ED12	DIESEL DE SECOURS 22 D2/GNS	6.1	moteur diesel	v	v	v	v												
	PKD-D0/DGS12	PACKAGE GROUPE DIESEL DGG POLARI 12	6.79	moteur diesel	v	v	v	v												
	PKD-D0/DGS22	PACKAGE GROUPE DIESEL DGG POLARI 22	6.79	moteur diesel	v	v	v	v												
	PKD-D0/DGS24	PACKAGE GROUPE DIESEL DGG POLARI 24	6.79	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D0/DGS99	PACKAGE GROUPE DIESEL DGG POL 99(PHI)	6.79	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Doel 3	PKD-D3/ES-DG0012	DIESEL AUXILIAIRE GMH	2.4	moteur diesel	v	v	v	v	v	v										
	PKD-D3/ES-DG0022	DIESEL AUXILIAIRE GMH	2.4	moteur diesel	v	v	v	v	v	v										
	PKD-D3/ES-DG0001	DIESEL DE SÉCURITÉ R	12.6	moteur diesel	v	v	v													
	PKD-D3/ES-DG0004	DIESEL DE SÉCURITÉ PHI	12.6	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v					
	PKD-D3/KE-DG0001	DIESEL BUNKER R	5.7	moteur diesel	v	v	v													
	PKD-D3/KE-DG0003	DIESEL BUNKER B	5.7	moteur diesel	v	v	v													
Doel 4	PKD-D4/ES-DG0022	DIESEL AUXILIAIRE GMH	2.4	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D4/ES-DG0012	DIESEL AUXILIAIRE GMH	2.4	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D4/ES-DG0001	DIESEL DE SÉCURITÉ R	12.6	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D4/ES-DG0002	DIESEL DE SÉCURITÉ G	12.6	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v				
	PKD-D4/ES-DG0003	DIESEL DE SÉCURITÉ B	12.5	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v				
	PKD-D4/KE-DG0001	DIESEL BUNKER R	5.7	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D4/KE-DG0002	DIESEL BUNKER G	5.7	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v				
	PKD-D4/KE-DG0003	DIESEL BUNKER B	5.7	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
TED	PKD-DT/ABN	Chaudière à vapeur auxiliaire	43.126	chaudière à vapeur	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-DT/ABZ	Chaudière à vapeur auxiliaire	43.126	chaudière à vapeur	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
Divers	PKD-DS/FU-ML0010	BRÛLEUR CHAUFFAGE MAI	0.204	chaudière à combustion	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D0/FE0P2	POMPE DIESEL À INCENDIE	0.125	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D0/FE0P12004	POMPE DIESEL À INCENDIE FEG202	0.400	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D0/FE0P12005	POMPE DIESEL À INCENDIE FEG203	0.400	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D0/FE0P12006	POMPE DIESEL À INCENDIE FEG204	0.400	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	-	-	-	-																
	PKD-DS/SIT-PP0002	POMP. MOB. COMPLÉMENT PISCINES BAN ET RWST D12	0.044	moteur diesel	v	v	v	v												
PKD-DS/SIT-PP0031	POMP. MOB. COMPLÉMENT CIRCUIT PRIM. ET SP DOEL3	0.234	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v					

Évolution des installations en service (v = installation en service cette année-là)																				
Élément fonctionnel	Description	Puissance [MWth]	Type																	
				2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	
PKD-DS/SIT-PP0041	POMP. MOB. COMPLÉMENT CIRCUIT PRIM. ET SP DOEL4	0.234	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			
PKD-DS/SIT-PP0044	POMP. MOB. COMPLÉMENT GÉNÉRATEURS DE VAPEUR DOEL4	0.234	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			
PKD-DS/SIT-PP0051	RÉSERVE POMPE MOB. COMPLÉMENT 200 M³/H	0.044	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
PKD-DS/SIT-PP0052	RÉSERVE POMPE MOB. COMPLÉMENT 130 M³/H	0.234	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
PKD-DS/SIT-DG0031	BEST GROUPE DIESEL D34 GEH-BKR 500 kVA	1.700	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
PKD-DS/SIT-DG0032	BEST GROUPE DIESEL D34 GEH-BKR 500 kVA	1.700	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
PKD-DS/SIT-DG0041	BEST GROUPE DIESEL D34 GEH-BKR 500 kVA	1.700	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
PKD-DS/SIT-DG0042	BEST GROUPE DIESEL D34 GEH-BKR 500 kVA	1.700	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
PKD-DS/SIT-DG0050	BEST GROUPE DIESEL D34 GEH-BKR 500 kVA	1.700	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
PKD-DS/SIT-DG0006	BEST DIESEL NPK-OTSC 400 kVA	0.500	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
PKD-DS/SIT-DG0007	BEST DIESEL NPK-OTSC 400 kVA	0.500	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
PKD-DS/SIT-DG0008	BEST RÉSERVE GROUPE DIESEL 400 kVA	0.500	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
PKD-DS/NPD-PK0002	GROUPE DIESEL DE SECOURS V DS/B-LVS-LVG0004	0.103	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
PKD-DS/SIT-DG0001	BEST GROUPE DIESEL D12 GNS 500 kVA	1.700	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
PKD-DS/SIT-DG0011	BEST GROUPE DIESEL D12 GEH 500 kVA	1.700	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
PKD-DS/SIT-DG0021	BEST GROUPE DIESEL D12 GEH 500 kVA	1.700	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
PKD-DS/SIT-DG0002	BEST DIESEL LOCAL INFORMATIQUE ADG032 10 kVA	0.010	moteur diesel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v

Évolution des installations en service (v = installation en service cette année-là)																						
Élément fonctionnel	Description	Puissance [MWth]	Type																			
				2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040			
Doel 1 / 2	PKD-D1/DG11	GROUPE D'ALTERNATEURS DIESEL 11 (CONTAINER DG)	4,3	moteur diesel			v	v	v	v	v	v										
	PKD-D2/ED22	GROUPE D'ALTERNATEURS DIESEL 21 (CONTAINER DG)	6,1	moteur diesel			v	v	v	v												
	PKD-D2/DG21	DIESEL DE SECOURS 12 D1/GNS	4,3	moteur diesel			v	v	v	v	v											
	PKD-D1/ED12	DIESEL DE SECOURS 22 D2/GNS	6,1	moteur diesel			v	v	v	v												
	PKD-D0/DGS12	PACKAGE GROUPE DIESEL DGG POLARI 12	6,79	moteur diesel			v	v	v	v												
	PKD-D0/DGS14	PACKAGE GROUPE DIESEL DGG POLARI 14	6,79	moteur diesel			v															
	PKD-D0/DGS22	PACKAGE GROUPE DIESEL DGG POLARI 22	6,79	moteur diesel			v	v	v	v												
	PKD-D0/DGS24	PACKAGE GROUPE DIESEL DGG POLARI 24	6,79	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D0/DGS99	PACKAGE GROUPE DIESEL DGG POL 99(PHI)	6,79	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
Doel 3	PKD-D3/ES-DG0012	DIESEL AUXILIAIRE GMH	2,4	moteur diesel			v	v	v	v	v	v										
	PKD-D3/ES-DG0022	DIESEL AUXILIAIRE GMH	2,4	moteur diesel			v	v	v	v	v	v										
	PKD-D3/ES-DG0001	DIESEL DE SÉCURITÉ R	12,6	moteur diesel			v	v	v													
	PKD-D3/ES-DG0004	DIESEL DE SÉCURITÉ PHI	12,6	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v				
	PKD-D3/KE-DG0001	DIESEL BUNKER R	5,7	moteur diesel			v	v	v													
	PKD-D3/KE-DG0003	DIESEL BUNKER B	5,7	moteur diesel			v	v	v													
Doel 4	PKD-D4/ES-DG0022	DIESEL AUXILIAIRE GMH	2,4	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D4/ES-DG0012	DIESEL AUXILIAIRE GMH	2,4	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D4/ES-DG0001	DIESEL DE SÉCURITÉ R	12,6	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D4/ES-DG0002	DIESEL DE SÉCURITÉ G	12,6	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			
	PKD-D4/ES-DG0003	DIESEL DE SÉCURITÉ B	12,5	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			

Évolution des installations en service (v = installation en service cette année-là)																						
	Élément fonctionnel	Description	Puissance [MWth]	Type	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040		
	PKD-D4/KE-DG0001	DIESEL BUNKER R	5,7	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D4/KE-DG0002	DIESEL BUNKER G	5,7	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-D4/KE-DG0003	DIESEL BUNKER B	5,7	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
TED	PKD-DT/ABN	Chaudière à vapeur auxiliaire	43,126	chaudière à vapeur			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DT/ABZ	Chaudière à vapeur auxiliaire	43,126	chaudière à vapeur			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Divers	PKD-DS/FU-ML0010	BRÛLEUR CHAUFFAGE MAI	0,204	chaudière à combustion			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D0/FE0P2	POMPE DIESEL À INCENDIE	0,125	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D0/FE0P12004	POMPE DIESEL À INCENDIE FEG202	0,400	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D0/FE0P12005	POMPE DIESEL À INCENDIE FEG203	0,400	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D0/FE0P12006	POMPE DIESEL À INCENDIE FEG204	0,400	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-PP0002	POMP. MOB. COMPLÉMENT PISCINES BAN ET RWST D12	0,044	moteur diesel			v	v	v	v												
	PKD-DS/SIT-PP0004	POMP. MOB. COMPLÉMENT AFW ET GÉNÉRATEUR DE VAPEUR D12	0,066	moteur diesel			v															
	PKD-DS/SIT-PP0031	POMP. MOB. COMPLÉMENT CIRCUIT PRIM. ET SP DOEL3	0,234	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			
	PKD-DS/SIT-PP0032	POMP. MOB. COMPLÉMENT PISCINES SPG DOEL 3	0,044	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-PP0034	POMP. MOB. COMPLÉMENT GÉNÉRATEURS DE VAPEUR DOEL3	0,234	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-PP0041	POMP. MOB. COMPLÉMENT CIRCUIT PRIM. ET SP DOEL4	0,234	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			
	PKD-DS/SIT-PP0042	POMP. MOB. COMPLÉMENT PISCINES SPG DOEL 4	0,044	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-PP0044	POMP. MOB. COMPLÉMENT GÉNÉRATEURS DE VAPEUR DOEL4	0,234	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			
	PKD-DS/SIT-PP0051	RÉSERVE POMPE MOB. COMPLÉMENT 200 M³/H	0,044	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-PP0052	RÉSERVE POMPE MOB. COMPLÉMENT 130 M³/H	0,234	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0031	BEST GROUPE DIESEL D34 GEH-BKR 500 kVA	1,700	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0032	BEST GROUPE DIESEL D34 GEH-BKR 500 kVA	1,700	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0041	BEST GROUPE DIESEL D34 GEH-BKR 500 kVA	1,700	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0042	BEST GROUPE DIESEL D34 GEH-BKR 500 kVA	1,700	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0050	BEST GROUPE DIESEL D34 GEH-BKR 500 kVA	1,700	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0006	BEST DIESEL NPK-OTSC 400 kVA	0,500	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0007	BEST DIESEL NPK-OTSC 400 kVA	0,500	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0008	BEST RÉSERVE GROUPE DIESEL 400 kVA	0,500	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/NPD-PK0002	GROUPE DIESEL DE SECOURS V DS/B-LVS-LVG0004	0,103	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0001	BEST GROUPE DIESEL D12 GNS 500 kVA	1,700	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0011	BEST GROUPE DIESEL D12 GEH 500 kVA	1,700	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0021	BEST GROUPE DIESEL D12 GEH 500 kVA	1,700	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0002	BEST DIESEL LOCAL INFORMATIQUE ADG032 10 kVA	0,010	moteur diesel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v

Tableau 32 : Heures de fonctionnement et consommation de carburant prévues en 2022 et extrapolation à la situation prévue en 2025.

	Élément fonctionnel	Heures de service [h] 2022	Heures de service [h] max. prévues	consommation gazole [m ³] 2022	consommation gazole m ³ max.prévue
Doel 1 / 2	PKD-D1/DG11	4.0	5	0.91	1.1
	PKD-D2/ED22	1.1	2	0.33	0.6
	PKD-D2/DG21	7.4	10	1.69	2.3
	PKD-D1/ED12	54.0	65	16.98	20.5
	PKD-D0/DGS12	33.3	40	11.67	14.0
	PKD-D0/DGS22	23.3	30	8.16	10.5
	PKD-D0/DGS24	25.6	30	9.00	10.5
	PKD-D0/DGS99	25.0	30	8.77	10.5
	Doel 3	PKD-D3/ES-DG0012	18.4	25	1.75
PKD-D3/ES-DG0022		176.7	210	16.80	20.0
PKD-D3/ES-DG0001		31.7	40	22.15	28.0
PKD-D3/ES-DG0004		79.9	100	55.91	70.0
PKD-D3/KE-DG0001		66.0	80	18.75	22.7
PKD-D3/KE-DG0003		35.4	45	10.07	12.8
Doel 4	PKD-D4/ES-DG0022	17.0	20	1.62	1.9
	PKD-D4/ES-DG0012	17.0	20	1.62	1.9
	PKD-D4/ES-DG0001	39.2	50	27.43	35.0
	PKD-D4/ES-DG0002	33.4	40	23.37	28.0
	PKD-D4/ES-DG0003	87.3	105	61.08	73.5
	PKD-D4/KE-DG0001	86.4	105	24.56	29.8
	PKD-D4/KE-DG0002	1.1	2	0.31	0.6
	PKD-D4/KE-DG0003	102.0	120	29.00	34.1
TED	PKD-DT/ABN	0.0	0	0.00	0.0
	PKD-DT/ABZ	79.5	156	179.96	353.1
Divers	PKD-DS/FU-ML0010	s/o		1.61	1.9
	PKD-D0/FE0P2	10.0	15	0.20	0.3
	PKD-D0/FE0P12004	119.2	145	3.55	4.3
	PKD-D0/FE0P12005	7.0	10	0.21	0.3
	PKD-D0/FE0P12006	8.1	10	0.24	0.3
	PKD-DS/SIT-PP0002	1.3	2	0.01	0.01
	PKD-DS/SIT-PP0031	1.4	2	0.04	0.1
	PKD-DS/SIT-PP0041	5.4	10	0.17	0.3
	PKD-DS/SIT-PP0044	1.7	2	0.05	0.1
	PKD-DS/SIT-PP0051	1.3	2	0.01	0.01
	PKD-DS/SIT-PP0052	1.1	2	0.03	0.1
	PKD-DS/SIT-DG0031	2.0	5	0.14	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0032	2.0	5	0.14	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0041	3.0	5	0.20	0.3

	Élément fonctionnel	Heures de service [h] 2022	Heures de service [h] max. prévues	consommation gazole [m ³] 2022	consommation gazole m ³ max.prévue
	PKD-DS/SIT-DG0042	3.0	5	0.20	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0050	3.0	5	0.20	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0006	3.0	5	0.16	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0007	3.0	5	0.16	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0008	3.0	5	0.16	0.3
	PKD-DS/NPD-PK0002	0.6	2	0.01	0.03
	PKD-DS/SIT-DG0001	3.0	5	0.20	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0011	3.0	5	0.20	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0021	4.0	5	0.27	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0002	0.0	2	0.00	0.003

Les émissions sont calculées à l'aide des facteurs d'émission inclus dans le RIE précédent d'Arcadis et NRG concernant le report de la mise hors service de Doel 1 et Doel 2 (2021).

Étant donné qu'il n'existe aucune indication permettant de savoir si les émissions des installations les plus récentes respectent ou non les facteurs d'émission plus stricts utilisés dans le RIE d'Arcadis, les émissions de tous les générateurs de secours et groupes diesel sont calculées avec les facteurs d'émission utilisés pour les installations les plus anciennes.

Un argument complémentaire en faveur de l'utilisation d'un seul ensemble de chiffres clés est en fait également contenu dans le fait que les émissions réelles pendant les essais du moteur s'écartent considérablement des émissions pendant le fonctionnement normal et à long terme. La température de combustion est ici un facteur important. Au démarrage de ces installations, notamment, il faut toujours prendre en compte des émissions de PM et de CO considérablement plus élevées, et avec des émissions de NO_x plus faibles par rapport aux émissions en fonctionnement normal. Avec la hausse de la température, les émissions de NO_x augmentent systématiquement et les émissions de PM et de CO diminuent systématiquement.

Étant donné que les émissions de ces installations sont presque exclusivement liées aux phases de test, on peut supposer que les émissions réelles de NO_x peuvent très probablement être significativement inférieures aux hypothèses utilisées.

De même, l'impact sur le NO₂ et sur les dépôts acidifiants et eutrophisants sera donc très probablement surestimé.

Ce n'est que sur la base des relevés d'émissions qu'il est possible d'obtenir une image plus claire des émissions réelles. Les émissions répertoriées ne peuvent donc être considérées que comme des valeurs indicatives.

Tableau 33 : Facteurs d'émission utilisés pour la cartographie (indicative) des émissions des moteurs diesel installés en permanence (source : Arcadis/NRG 2021)

Polluant	Dieselmotoren	
	Bouwjaar	Eenheid
	1982, 1984 ¹³	
CO	12,2	kg/m ³ diesel
NO _x	56,2	kg/m ³ diesel
SO _x	3,74	kg/m ³ diesel
PM ₁₀	4,01	kg/m ³ diesel
PM _{2,5}	4,01	kg/m ³ diesel

Cependant, le facteur d'émission mentionné ci-dessus n'est pas utilisé pour le SO₂, car il est toujours basé sur l'utilisation de gazole ayant une teneur en S plus élevée. Les émissions sont répertoriées sur la base de la teneur maximale en S présent dans le carburant, qui peut donc être considérée comme une estimation du pire cas.

En effet, une partie du S ne sera pas convertie en SO₂, mais peut notamment se retrouver dans l'émission de poussière sous forme de SO₄. Dans la mesure où du gazole à faible teneur en S est utilisé, les émissions de SO₂ seront nettement inférieures.

Les émissions des chaudières à vapeur (auxiliaires) sont calculées sur la base des données de mesure reprises ci-dessus, obtenues lors de la maintenance technique de l'installation.

Pour l'horizon ultérieur (après 2025), une diminution des émissions due à la poursuite systématique du déclassement des centrales est prise en compte. Les résultats des calculs sont présentés dans les tableaux 34 à 36.

Par rapport à la situation actuelle, afin de renforcer la certitude que les émissions ne sont pas sous-estimées, on suppose un nombre accru d'heures de fonctionnement que celui enregistré pour 2022. Ceci est appliqué, car le nombre d'heures de fonctionnement était également sujet à des fluctuations dans le passé.

Pour les chaudières à vapeur auxiliaires, on suppose que le nombre d'heures de fonctionnement doublera presque par rapport à 2022. En raison de l'arrêt de Doel 1, 2 et 3, on s'attend à ce qu'elles fonctionnent un peu plus fréquemment.

Les émissions totales en 2025 et 2026 peuvent être considérées comme très limitées.

Par rapport aux obligations de déclaration applicables en Flandre (IMJV), seul le NO_x semble avoir une émission quelque peu pertinente d'un peu plus de 50 % du seuil. Même si les émissions réelles de CO et de PM étaient deux fois plus élevées que celles estimées (en raison des émissions plus élevées qui se produisent à chaque démarrage de l'installation), ces émissions peuvent difficilement être qualifiées de pertinentes.

En 2026, seules des émissions légèrement inférieures sont calculées par rapport à 2025.

Au fil du temps, les émissions diminueront davantage. Si certains moteurs devaient être remplacés par de nouveaux, les émissions diminueraient encore davantage.

Tableau 34 : Estimation des émissions attendues de gaz de combustion des installations installées en permanence pour 2026

2026	CO	NOx	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}
chaudières à vapeur auxiliaires	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an
	0.1	1.02	0.025	0.018	0.018
<i>générateurs</i>	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an
Doel 1 / 2	0.86	3.94	0.01	0.28	0.28
Doel 3	1.90	8.76	0.01	0.62	0.62
Doel 4	2.50	11.51	0.02	0.82	0.82
divers	0.11	0.53	0.00	0.04	0.04
total générateurs	5.4	24.7	0.04	1.8	1.8
Total	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an
total	5.5	25.8	0.1	1.8	1.8
seuil IMJV	200	50	100	20	10
Proportion au seuil IMJV	%	%	%	%	%
	2.7	51.5	0.1	8.9	17.8

Tableau 35 : Estimation des émissions attendues de gaz de combustion des installations installées en permanence pour 2030

2030	CO	NOx	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}
chaudières à vapeur auxiliaires	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an
	0.1	1.02	0.025	0.018	0.018
<i>générateurs</i>	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an
Doel 1 / 2	0.43	1.97	0.00	0.14	0.14
Doel 3	1.13	5.19	0.01	0.37	0.37
Doel 4	2.50	11.51	0.02	0.82	0.82
divers	0.11	0.53	0.00	0.04	0.04
total générateurs	4.2	19.2	0.0	1.4	1.4
Total	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an
	4.3	20.2	0.1	1.4	1.4
seuil IMJV	200	50	100	20	10
Proportion au seuil IMJV	%	%	%	%	%
	2.1	40.4	0.1	6.9	13.9

Tableau 36 : Estimation des émissions attendues de gaz de combustion des installations installées en permanence pour 2035

2035	CO	NOx	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}
chaudières à vapeur auxiliaires	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an
	0.1	1.02	0.025	0.018	0.018
<i>générateurs</i>	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an
Doel 1 / 2	0.26	1.18	0.00	0.08	0.08
Doel 3	0.85	3.93	0.01	0.28	0.28
Doel 4	2.50	11.51	0.02	0.82	0.82

divers	0.11	0.53	0.00	0.04	0.04
total générateurs	3.7	17.2	0.0	1.2	1.2
Total	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an
	3.8	18.2	0.1	1.2	1.2
seuil IMJV	200	50	100	20	10
Proportion au seuil IMJV	%	%	%	%	%
	1.9	36.3	0.1	6.2	12.4

D'ici 2035, par rapport à 2025, une diminution des émissions de NOx, CO et PM de plus de 30 % est attendue, en raison du démantèlement systématique de divers moteurs diesel.

L'impact des incinérateurs fixes est calculé pour 2026 à l'aide du modèle de dispersion IMPACT du Gouvernement flamand. Les calculs d'impact tiennent compte des concentrations de fond modélisées de 2025.

Étant donné que les caractéristiques des cheminées de toutes les installations ne sont pas connues, et qu'il est impossible de saisir chaque installation comme une source distincte dans le modèle (en raison du nombre très limité d'heures de fonctionnement par installation), le calcul du modèle est basé sur des configurations simplifiées de la source (en termes d'emplacement, de hauteur,...). Lors du relevé de la hauteur d'émission basée sur le modèle, il est également tenu compte du fait que le site de KC Doel surplombe ses abords d'environ 6 m.

Des hypothèses ont également été faites concernant la température des gaz résiduaux, c'est-à-dire 178°C pour les chaudières à vapeur, sur la base des données de mesure de Saacke après maintenance), et 350°C pour les moteurs diesel. (dans le cas d'un fonctionnement prolongé de ces installations, on peut supposer des températures plus élevées, mais étant donné que les installations ne sont presque efficaces que pendant les essais, il faut supposer une température moyenne plus faible).

En outre, une répartition hypothétique des heures de fonctionnement effectives sur l'année est utilisée pour les sources d'émission, car les périodes d'émission réelles ne sont pas connues. Par conséquent, on estime impossible de calculer l'impact sur les valeurs de percentiles supérieures de manière responsable. L'impact n'est donc évalué que sur la base de l'impact moyen annuel. Ceci est calculé au niveau d'un certain nombre de points d'évaluation sélectionnés aux abords de la zone du projet (zones résidentielles, stations de mesure de la VMM et points d'évaluation à la frontière néerlandaise).

Les dépôts sont également calculés au profit de la discipline Biodiversité. Ce sujet est abordé au chapitre Biodiversité.

Les dépôts sont également calculés au profit de la discipline Biodiversité. Ce sujet est abordé au chapitre Biodiversité.

Tableau 37 : Caractéristiques du modèle utilisées dans les calculs d'impact et de dépôt

	X	Y	h	Équivalent diamètre	Temp.	Modèle heures
	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	°C	<i>nombre/an</i>
Doel 1 / 2	142447	223502	27	0.5	350	261
Doel 3	142311	223866	40	0.5	350	521
Doel 4	142247	224048	37	0.6	350	521
divers 1	142430	223600	20	0.15	350	261
divers 2	142200	224150	20	0.15	350	261
Chaudière à vapeur auxiliaire	142048	223916	46	1.2	178	156

L'impact le plus important se produit dans la direction NE, en raison des vents prédominants O-SO.

Aucun impact démontrable/pertinent n'est attendu près de la frontière néerlandaise. L'impact sur la qualité de l'air peut également être considéré comme négligeable sur les autres points d'évaluation (moins de 1 % de la valeur limite ou test utilisée dans l'évaluation d'impact).

Il convient de noter que dans les calculs d'impact du NO₂, qui tiennent compte de la conversion chimique du NO en NO₂, et où l'impact du NO₂ est calculé sur la base de la différence entre l'impact calculé dans la situation prévue, moins l'impact dans la situation de référence, des incertitudes de modèle accrues se produisent par rapport, par exemple, au calcul de l'impact des NO_x (somme NO + NO₂ exprimée en NO₂). Ceci explique l'impact négatif négligeable calculé au niveau de quelques points d'évaluation.

Tableau 38 : Calcul de l'impact dans la situation prévue sur la base des émissions estimées pour 2026

				AG2025	AG2025	AG2025	projet	projet	projet	projet	projet	projet	projet	projet
				NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	+AG2025	+AG2025	+AG2025	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	SO ₂
		X	Y	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	P99.9	moyenne
n°	point d'évaluation	m	m	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
1	Putte-1	152100	227500	13.0	13.8	9.6	13.0	13.8	9.6	0.0	0.000	0.000	0	0.000
3	Kalmthout	157200	231300	14.4	15.3	9.9	14.4	15.3	9.9	0.0	0.000	0.000	0	0.000
4	Maria Ter Heide	160600	223700	17.8	15.8	10.0	17.8	15.8	10.0	0.0	0.000	0.000	0	0.000
5	Kapellen-1	154500	221100	24.2	18.0	11.1	24.1	18.0	11.1	-0.1	0.000	0.000	0	0.000
7	Stabroek-1	149800	224700	23.3	18.6	11.9	23.1	18.6	11.9	-0.2	0.000	0.000	0	0.000
9	Hoevenen-1	152700	221900	25.2	18.0	11.3	25.1	18.0	11.3	-0.1	0.000	0.000	0	0.000
11	Ekeren	153280	219290	30.2	19.4	11.9	30.1	19.4	11.9	-0.1	0.000	0.000	0	0.000
12	Zandvliet	146100	227500	23.5	19.2	12.7	23.4	19.2	12.7	-0.1	0.002	0.002	2	0.000
14	Berendrecht	145540	225450	30.1	20.4	14.1	29.9	20.4	14.1	-0.1	0.001	0.001	2	0.000
15	Lillo	144510	221650	34.0	20.4	15.3	33.8	20.4	15.3	-0.1	0.001	0.001	3	0.000
16	Fort Liefkenshoek	144160	220390	33.6	20.2	15.2	33.5	20.2	15.2	-0.1	0.001	0.001	2	0.000
17	Objet	142710	222380	28.8	19.5	14.4	28.8	19.5	14.4	0.0	0.003	0.003	5	0.000
18	Sattingen	140490	221730	19.1	18.4	12.8	19.1	18.4	12.8	0.0	0.001	0.001	3	0.000
19	Kieldrecht	136300	220400	13.4	18.4	11.7	13.4	18.4	11.7	0.0	0.001	0.001	1	0.000
20	Verrebroek	137500	216100	17.1	17.6	12.1	17.2	17.6	12.2	0.1	0.000	0.000	0	0.000
21	Vrasene	137600	212400	13.1	17.0	11.0	13.1	17.0	11.0	0.1	0.000	0.000	0	0.000
22	Beveren	142300	211500	15.7	17.1	10.9	15.8	17.1	10.9	0.1	0.000	0.000	0	0.000
23	Kallo-1-centre	143700	215900	27.9	19.0	13.3	28.2	19.0	13.3	0.3	0.000	0.000	0	0.000
29	Zwijndrecht	147100	212000	23.3	17.8	11.6	23.5	17.8	11.6	0.2	0.000	0.000	0	0.000
30	Burcht	148500	210900	26.0	18.3	11.8	26.2	18.3	11.8	0.2	0.000	0.000	0	0.000
31	L.O.	151000	213300	29.9	18.8	12.2	30.3	18.8	12.2	0.3	0.000	0.000	0	0.000
32	Anvers	152200	211500	32.2	18.8	11.8	32.4	18.8	11.8	0.2	0.000	0.000	0	0.000
43 -MP	Ekeren-Ekersedijk	151187	219057	33.1	21.0	13.1	33.1	21.0	13.1	0.0	0.000	0.000	0	0.000
45 -MP	Anvers Rive gauche	150865	214046	29.6	18.9	12.3	29.6	18.9	12.3	0.0	0.000	0.000	0	0.000
51 -MP	Zandvliet-Scheldelaan	148139	215578	27.7	19.7	13.1	27.7	19.7	13.1	0.0	0.000	0.000	0	0.000

				AG2025	AG2025	AG2025	projet +AG2025	projet +AG2025	projet +AG2025	projet	projet	projet	projet	projet
				NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	SO ₂
		X	Y	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	P99.9	moyenne
n°	point d'évaluation	m	m	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
53 -MP	Berendrecht-Hoefbladstraat	147976	226558	21.1	18.5	11.8	21.1	18.5	11.8	0.0	0.001	0.001	1	0.000
54 -MP	Beveren-Meerminendam	141037	211484	16.2	17.0	11.0	16.2	17.0	11.0	0.0	0.000	0.000	0	0.000
57 -MP	Écluse Kallo	143727	217020	31.8	19.5	14.1	31.8	19.5	14.1	0.0	0.000	0.000	0	0.000
58 -MP	Kapellen Fortstraat	155302	223403	21.3	17.0	10.7	21.3	17.0	10.7	0.0	0.000	0.000	0	0.000
60 -MP	Stabroek Laageind	149541	224212	24.8	19.1	12.3	24.8	19.1	12.3	0.0	0.000	0.000	1	0.000
NI-1	Frontière néerlandaise	137700	222700	15.2	16.8	13.0	15.3	16.8	13.0	0.0	0.000	0.000	1	0.000
NI-2	Frontière néerlandaise	140500	226400	19.8	17.1	13.5	19.8	17.1	13.5	0.0	0.001	0.001	3	0.000
NI-3	Frontière néerlandaise	142800	229500	21.1	18.4	13.1	21.1	18.4	13.1	0.0	0.001	0.001	1	0.000
NI-4	Frontière néerlandaise	147500	229700	16.3	17.2	11.0	16.3	17.2	11.0	0.0	0.001	0.001	1	0.000
	maximum calculé ahd BP			35.2	22.2	15.3	35.2	22.2	15.3	0.3	0.003	0.003	5	0.000
	GW/TW			40.0	40.0	20.0	40	40.0	20.0	40.0	40.0	20.0	10000	50.0

Tableau 39 : Impact relatif dans la situation prévue sur la base des émissions estimées pour 2026 calculées en pourcentage de contribution aux valeurs limites ou d'essai

				AG2020	AG2020	AG2020	projet +AG2020	projet +AG2020	projet +AG2020	projet	projet	projet	projet	projet
				NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂	SO ₂
				moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne
	Impact relatif p, r, à GW/TW			% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW
1	Putte-1	152100	227500	32	34.4	48.1	32	34.4	48.1	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
3	Kalmthout	157200	231300	36	38.3	49.7	36	38.3	49.7	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
4	Maria Ter Heide	160600	223700	44	39.6	49.9	44	39.6	49.9	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
5	Kapellen-1	154500	221100	61	44.9	55.5	60	44.9	55.5	-0.2	0.0	0.0	0.00	0.0
7	Stabroek-1	149800	224700	58	46.4	59.5	58	46.4	59.5	-0.5	0.0	0.0	0.00	0.0
9	Hoevenen-1	152700	221900	63	45.1	56.5	63	45.1	56.5	-0.3	0.0	0.0	0.00	0.0
11	Ekeren	153280	219290	75	48.4	59.7	75	48.4	59.7	-0.3	0.0	0.0	0.00	0.0
12	Zandvliet	146100	227500	59	48.1	63.6	59	48.1	63.6	-0.3	0.0	0.0	0.02	0.0
14	Berendrecht	145540	225450	75	51.0	70.6	75	51.0	70.6	-0.4	0.0	0.0	0.02	0.0
15	Lillo	144510	221650	85	51.1	76.4	85	51.1	76.4	-0.3	0.0	0.0	0.03	0.0
16	Fort Liefkenshoek	144160	220390	84	50.6	75.8	84	50.6	75.8	-0.2	0.0	0.0	0.02	0.0
17	Objet	142710	222380	72	48.8	71.9	72	48.8	71.9	0.0	0.0	0.0	0.05	0.0
18	Sattingen	140490	221730	48	45.9	64.0	48	46.0	64.0	0.0	0.0	0.0	0.03	0.0
19	Kieldrecht	136300	220400	33	46.0	58.4	34	46.0	58.5	0.1	0.0	0.0	0.01	0.0
20	Verrebroek	137500	216100	43	43.9	60.7	43	43.9	60.8	0.3	0.0	0.0	0.00	0.0
21	Vrasene	137600	212400	33	42.4	54.8	33	42.4	54.8	0.2	0.0	0.0	0.00	0.0
22	Beveren	142300	211500	39	42.6	54.4	40	42.6	54.4	0.3	0.0	0.0	0.00	0.0
23	Kallo-1-centre	143700	215900	70	47.4	66.4	70	47.4	66.4	0.6	0.0	0.0	0.00	0.0
29	Zwijndrecht	147100	212000	58	44.6	58.2	59	44.6	58.2	0.4	0.0	0.0	0.00	0.0
30	Burcht	148500	210900	65	45.9	58.8	66	45.9	58.8	0.6	0.0	0.0	0.00	0.0
31	L.O.	151000	213300	75	47.1	60.8	76	47.1	60.8	0.9	0.0	0.0	0.00	0.0
32	Anvers	152200	211500	80	46.9	59.1	81	46.9	59.1	0.5	0.0	0.0	0.00	0.0
43 -MP	Ekeren-Ekersedijk	151187	219057	83	52.4	65.5	83	52.4	65.5	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
45 -MP	Anvers Rive gauche	150865	214046	74	47.1	61.4	74	47.1	61.4	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
46 -MP	Anvers-Luchtbal	153884	216790	77	48.6	59.4	77	48.6	59.4	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0

				AG2020	AG2020	AG2020	projet +AG2020	projet +AG2020	projet +AG2020	projet	projet	projet	projet	projet
				NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	SO ₂
				moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne
	Impact relatif p, r, à GW/TW			% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW	% GW/ TW
51 -MP	Zandvliet-Scheldelaan	148139	215578	69	49.3	65.5	69	49.3	65.5	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
53 -MP	Berendrecht-Hoefbladstraat	147976	226558	53	46.2	58.8	53	46.2	58.8	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0
54 -MP	Beveren-Meerminendam	141037	211484	40	42.5	54.9	40	42.5	54.9	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
57 -MP	Écluse Kallo	143727	217020	79	48.8	70.7	79	48.8	70.7	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
58 -MP	Kapellen Fortstraat	155302	223403	53	42.5	53.6	53	42.5	53.6	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
60 -MP	Stabroek Laageind	149541	224212	62	47.8	61.4	62	47.8	61.4	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0
NI-1	Frontière néerlandaise	137700	222700	38	42.0	64.9	38	42.0	64.9	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0
NI-2	Frontière néerlandaise	140500	226400	49	42.8	67.7	49	42.8	67.7	0.0	0.0	0.0	0.03	0.0
NI-3	Frontière néerlandaise	142800	229500	53	46.1	65.7	53	46.1	65.7	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0
NI-4	Frontière néerlandaise	147500	229700	41	42.9	55.1	41	42.9	55.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0
	maximum calculé ahd BP			88	55.5	76.4	88	55.5	76.4	0.9	0.0	0.0	0.05	0.0

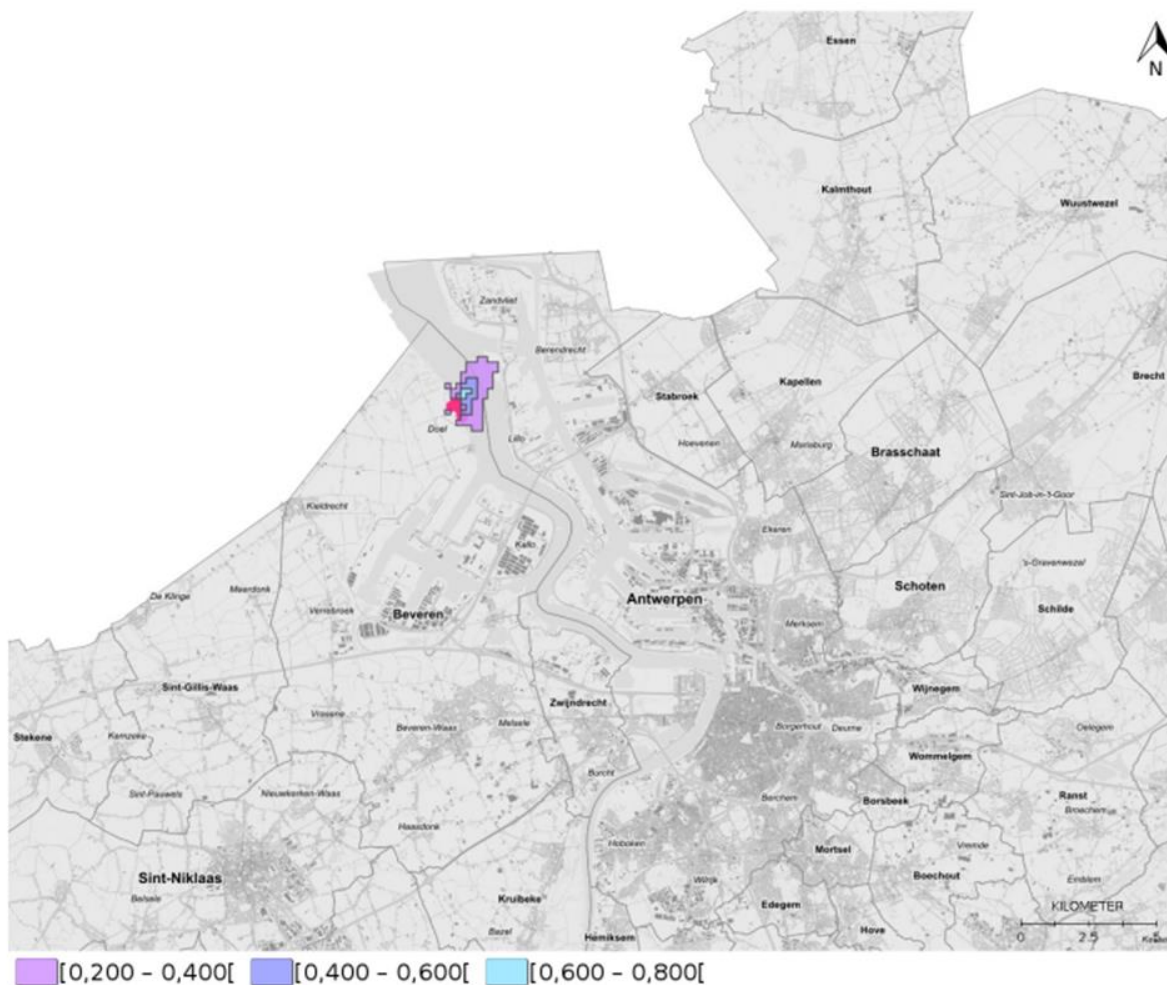


Figure 59 : Présentation de l'impact calculé (moyenne annuelle) par rapport aux équivalents NO_x (µg/m³) dans la situation prévue en 2026 (équivalents NO_x = somme NO + NO₂ exprimée en NO₂).

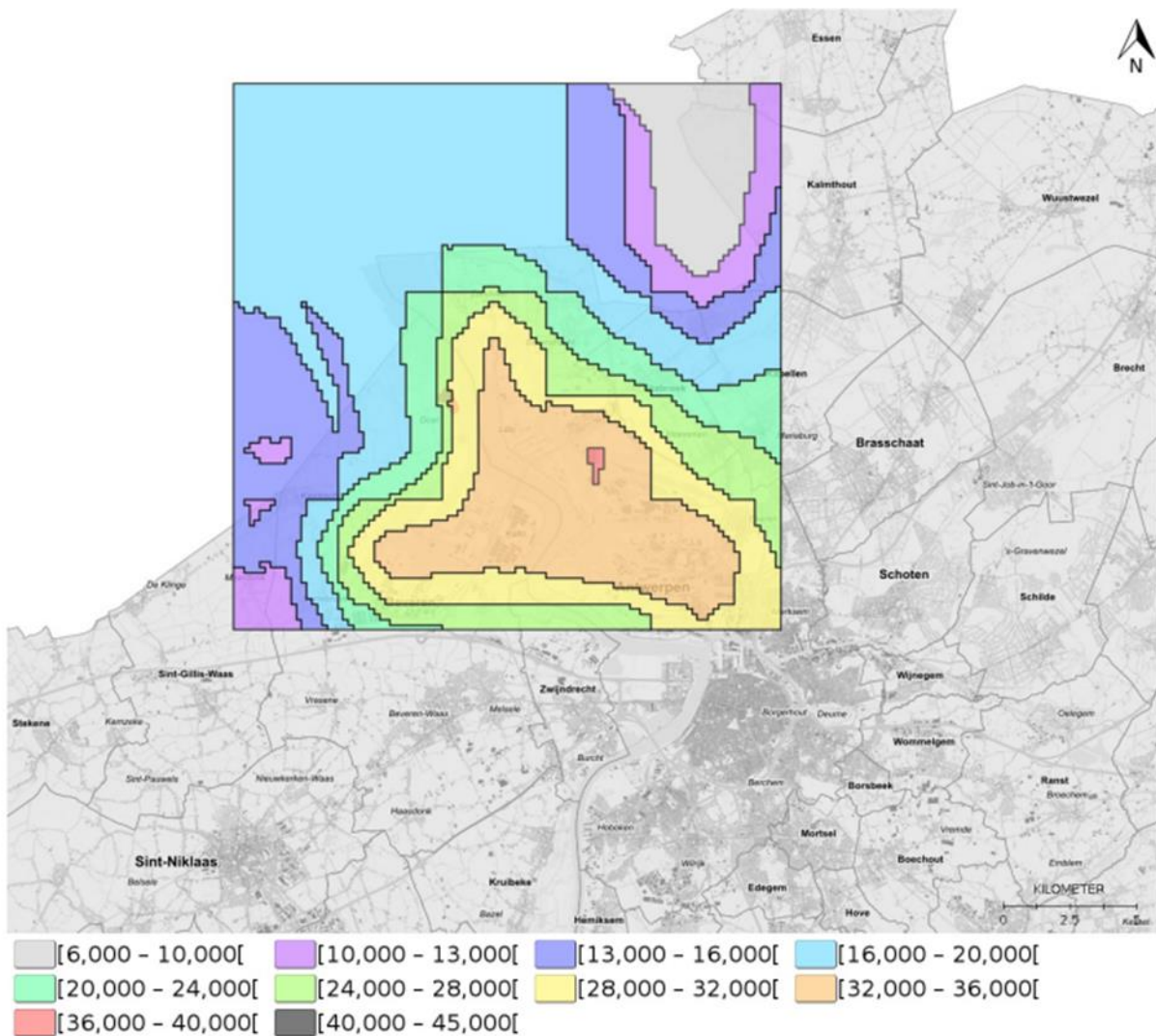


Figure 60 : Concentration moyenne annuelle de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en situation planifiée (impact 2026 + concentrations de fond 2025).

Il peut être déduit des installations présentes dans **l'atelier de maintenance** qu'aucun changement pertinent n'est attendu après 2025 par rapport à la situation actuelle. L'impact d'éventuelles émissions en dehors des limites de la parcelle est évalué comme négligeable et ne sera donc pas davantage abordé.

En ce qui concerne les **installations de refroidissement** et les pertes de fuites possibles, le pronostic des émissions possibles peut être établi sur la base des enregistrements de 2022. Avec un entretien approprié, il n'est pas prévu que les émissions de fuites puissent augmenter de manière significative après 2025. L'impact en dehors des limites de la parcelle de ces émissions peut également être évalué comme négligeable, et ne sera donc pas abordé (sous réserve de l'aperçu ci-dessous de l'estimation des émissions sur la base des données de la période 2020-2022).

Tableau 40 : Aperçu des pertes de fuite possibles après 2025.

Date d'appoint	Code PKD appareil	type de gaz réfrigérant	complément kg en 2020-2022	En service jusqu'au
15/01/2020	Scaldis CIAT à droite côté B	R410A	88,4 kg	2038
1/04/2020	D0/0VE-FA4	R407C	15kg	2029
23/06/20	D4/CF-ML0026	R134A	4,9kg	2038
5/11/2020	D4/VK-PP0090	R134A	2 kg	2038
20/01/2020	D4/CF-ML0029	R134A	13,59 kg	2038
29/10/2020	D4/CF-ML0029	R134A	5,5 kg	2038
5/06/2020	CGB - refroidissement cuisine	R410A	11kg	2038
17/12/20	D4/CF-ML1010	R134A	15,4 kg	2038
27/01/21	D4/CF-ML0026	R134A	4,51 kg	2038
12/04/21	D4/CF-ML0019	R134A	6,5 kg	2038
17/03/21	D4/CF-ML1010	R134A	50,5kg	2038
03/01/21	D0/0VE-FA4	R407C	10 kg	2029
11/01/22	DS/VAG-ML0825	R410A	1,8 kg	2038
9/04/2022	D4/CF-ML0023	R134A	3,4 kg	2038
16/05/22	SOC-103	R410A	3,5 kg	2038
02/06/22	D4/CF-ML0018	R134A	5,93 kg	2038
26/07/2022	D4/CF-ML0018	R134A	1,42 kg	2038
15/06/22	Réfrigérateur cuisine	R134A	0,25 kg	2038
22/08/22	D4/CF-ML1020	R134A	23,92 kg	2038
08/09/22	D4/CF-ML0019	R134A	20,06 kg	2038
17/10/2022	DT/CFV-ML0003	R410A	21,3 kg	2038
24/10/2022	D0/CF0E87B	R134A	107,75 kg	2029
16/11/2022	D0/0VE-FA3	R407C	26,9 kg	2029
8/12/2022	DT/CFV-ML0003	R410A	21,3 kg	2038
06/12/22	WDG salle de serveur	R410A	0,46 kg	2038

Aucun impact démontrable n'est attendu des émissions de fuites attendues aux limites de la parcelle.

Une source d'émission ayant un impact possible sur la qualité de l'air est liée à la tour de refroidissement et aux émissions possibles d'aérosols salins. Étant donné que dans le passé, des émissions d'aérosols salins se produisaient également lorsque Doel 3 était en service via la tour de refroidissement, l'impact dans la situation prévue sera de toute façon (considérablement) plus faible qu'auparavant. Étant donné que l'impact a été précédemment évalué comme acceptable, ce sera bien entendu également le cas dans la situation prévue.

Impact du trafic en provenance et à destination du site dans la situation prévue

Au total, le nombre de transports par camion est estimé à 970/an. En moyenne par jour calendaire, cela signifie au maximum 6 mouvements de transport. Même s'il s'agissait de poids lourds et qu'ils suivaient tous le même itinéraire, aucun impact démontrable sur la qualité de l'air n'est attendu de ce nombre de transports.

Le nombre d'employés sur le site de la centrale nucléaire d'Electrabel SA à Doel sera inférieur à la situation actuelle si seul Doel 4 est maintenu en service. Pour l'exploitation de Doel 4, nous supposons qu'il y a environ 370 employés internes et environ 160 contractants permanents.

Pour la mise hors service progressive et le démantèlement des autres tranches, il y aura bien entendu également des employés propres à la centrale et des sous-traitants supplémentaires. Cependant, ce nombre ne peut pas être estimé à l'heure actuelle, de sorte qu'on estime impossible d'évaluer l'impact cumulatif.

Étant donné que l'on peut supposer que les émissions des véhicules diminueront encore de manière significative à l'avenir (également en raison de l'élimination accélérée des combustibles fossiles), les déplacements domicile-travail ne devraient pas avoir d'impact significatif sur la qualité de l'air le long des routes vers et du site, pas même sur les segments routiers par lesquels tout le trafic doit passer.

3.4.5 Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques

Les émissions qui se produisent, tant les émissions actuelles que les émissions inférieures dans la situation prévue, sont si faibles qu'elles ne peuvent certainement pas compromettre la faisabilité des objectifs d'émissions de 2030. Toutefois, avec seulement Doel 4 en service, on peut s'attendre à une réduction systématique des émissions à l'avenir.

Comme déjà mentionné ci-dessus, une nouvelle diminution des émissions est attendue d'ici 2035 d'environ 30 % par rapport aux émissions estimées pour 2025.

Dans la mesure où l'électricité doit être fournie par la combustion (partielle) de combustibles fossiles ou de biocarburants lorsqu'ils ne sont pas utilisés par Doel 4, cela entraînera des émissions plusieurs fois supérieures aux émissions émises par le site de Doel lorsque Doel 4 est en fonctionnement.

Afin d'estimer l'ampleur des **émissions évitées**, une comparaison est faite avec les émissions qui se produiraient si les derniers types de centrales TVG au gaz naturel étaient utilisés, tels que ceux pour lesquels des rapports de RIE ont été établis dans le cadre du CRM en Région flamande (pour les sites de Vilvorde et Tessenderlo). Ces calculs prennent initialement en compte les émissions qui se produiraient si le réseau respectait les valeurs limites d'émission (VLE) sectorielles telles qu'elles s'appliquent en Région flamande. En raison des émissions très importantes, au cours des parcours de RIE et d'autorisation pour les deux dossiers, il a été examiné jusqu'à quel niveau ces émissions peuvent encore être réduites de manière rentable. Une estimation des émissions évitées est également faite pour cette situation (après atténuation : MM). Ce calcul est également basé sur une hypothèse de production annuelle moyenne d'électricité qui doit ensuite être absorbée par les centrales de la TVG. Cette quantité est estimée sur la base de la production moyenne de Doel 4 ces dernières années.

Tableau 41 : Production d'électricité historique Doel 4

Année	GWh	Facteur de charge
2012	7.819	89%
2013	8.477	97%
2014	4.887	56%
2015	7.744	88%
2016	8.782	100%
2017	7.461	85%
2018	5.514	63%
2019	8.730	100%
2020	7.270	83%
2021	7.953	91%
Moy.	7.464	85%

Tableau 42 : Estimation des émissions évitées par rapport à l'utilisation de centrales TVG au gaz naturel de dernière génération

Type	EF	NOx	NH ₃	SO ₂
TVG--VLE (1)	kg NOX/GWhe	140	46	1.5
TVG-MM (2)	kg NOX/GWhe	50	5	1.5
	MWh/an	tonne/an	tonne/an	tonne/an
TVG--VLE(1)	7 500 000	1050	345	11
TVG-MM (2)	7 500 000	375	38	11

(1) : respect des valeurs limites d'émission sur la base du réseau

(2) : en supposant des niveaux d'émission atteignables pertinents inférieurs aux valeurs limites sectorielles

Sur la base de l'estimation effectuée, on peut donc conclure que les émissions évitées sont nettement supérieures aux émissions associées au maintien de Doel 4 ouvert plus longtemps.

Dans la mesure où une partie de l'électricité ne serait pas fournie par des centrales au gaz, mais par des alternatives sans émissions d'incinération, les émissions évitées seront bien entendu inférieures dans la même mesure. Mais même dans ce cas, celles-ci restent nettement supérieures aux émissions si Doel 4 reste ouvert plus longtemps.

3.4.6 Résumé des principales conclusions

Les principales sources ayant un impact possible sur la qualité de l'air sont les chaudières à vapeur et les moteurs diesel. Cependant, ces installations fixes n'ont qu'un fonctionnement très limité.

Si seul Doel 4 est utilisé, le nombre d'heures de fonctionnement des chaudières à vapeur augmentera considérablement (presque le double), mais même dans ce cas, le nombre total d'heures de fonctionnement effectives restera limité.

Sur la base de diverses hypothèses et d'une augmentation du nombre d'heures de fonctionnement à partir de 2022, les émissions sont estimées dans la situation prévue. Les émissions calculées peuvent être estimées comme (très) limitées.

Les émissions calculées les plus élevées (pour 2026) sont utilisées comme données d'entrée du modèle pour calculer l'impact sur la qualité de l'air. En raison de l'indisponibilité des caractéristiques du modèle de toutes les installations, on recourt à un certain nombre d'hypothèses dans ces calculs. Les calculs d'impact montrent que l'impact sur la qualité de l'air aux abords est négligeable (moins de 1% des valeurs limites ou test retenues). Les dépassements des valeurs limites ne sont pas non plus calculés en tenant compte des concentrations de fond attendues. Il n'est donc pas nécessaire de mener des recherches sur les mesures d'atténuation.

Dans la mesure où l'électricité doit être fournie par la combustion (partielle) de combustibles fossiles ou de biocarburants lorsqu'ils ne sont pas utilisés par Doel 4, cela entraînera des émissions plusieurs fois supérieures aux émissions émises par le site de Doel lorsque Doel 4 est en fonctionnement.

Dans la mesure où l'électricité doit être fournie par la combustion (partielle) de combustibles fossiles ou de biocarburants lorsqu'ils ne sont pas utilisés par Doel 4, cela entraînera des émissions plusieurs fois supérieures aux émissions émises par le site de Doel lorsque Doel 4 est en fonctionnement. Cependant, aucun impact pertinent n'est attendu de l'une ou l'autre de ces sources.

Les transports et la circulation en provenance et à destination du site ne devraient pas non plus avoir d'impact significatif sur la qualité de l'air le long des routes concernées.

Globalement, il y a donc un impact négligeable sur la qualité de l'air.

3.4.7 Mesures d'atténuation

Aucune mesure d'atténuation n'est jugée nécessaire.

3.4.8 Lacunes dans les connaissances et surveillance

Les principales lacunes dans les connaissances sont liées aux émissions des installations de combustion, car ni les valeurs mesurées ni les caractéristiques du modèle ne sont connues. Ces lacunes sont comblées en utilisant des facteurs d'émission tirés de la littérature et des hypothèses. Cependant, cela conduit à une incertitude accrue quant aux résultats des calculs d'impact. Mais même en tenant compte de cela, l'impact peut être évalué comme négligeable.

3.5 Discipline Climat

3.5.1 Objectifs politiques pertinents

En ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre, on distingue en Europe les émissions couvertes par le système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne (SEQE) et les autres émissions (hors SEQE).

En 2016, l'Union européenne s'est engagée, dans le cadre de sa Nationally Determined Contribution (NDC), à réduire d'au moins 40 % ses émissions totales de gaz à effet de serre d'ici 2030, par rapport aux émissions de l'année 1990⁶⁷. Pour atteindre cet objectif, une réduction de 43 % dans le secteur du SEQE et de 30 % dans le secteur hors SEQE a été supposée, toutes deux par rapport à l'année 2005.

Au niveau des États membres, seules les émissions *hors SEQE* (transports, bâtiments, déchets et agriculture) sont soumises à des objectifs. Via de Effort Sharing Regulation werd de EU-doelstelling van 30 % reductie voor België vertaald naar een reductie van 35 % (in 2030, t.o.v. 2005). Ce pourcentage a été repris par la Flandre dans le Vlaamse Energie-en Klimaatplan (VEKP) 2021-2030⁶⁸.

Toutefois, dans le cadre du "Green Deal" européen, l'Union européenne a récemment revu à la hausse ses ambitions de réduction des émissions de gaz à effet de serre de 55 % d'ici à 2030, la neutralité climatique devant être atteinte d'ici à 2050. L'augmentation de l'objectif européen de réduction pour 2030 de 40 à (au moins) 55 % a naturellement aussi des conséquences sur les objectifs des États membres. En juillet 2021, la Commission a publié une proposition de modification du Règlement sur la répartition de l'effort (« Effort Sharing Regulation ») proposant de nouveaux objectifs de réduction pour les différents États membres. Pour la Belgique, cela signifie une augmentation de l'objectif initial de 35 % à 47 % de réduction (en 2030 par rapport à 2005).

Cependant, le présent projet n'est pas couvert par l'objectif de réduction de 35 % repris dans le VEKP (ou par un autre objectif de réduction basé sur l'Effort Sharing Regulation), car ceux-ci ne concernent que le secteur hors SEQE.

Le système *SEQE* est régi par la directive 2003/87/CE établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dans la Communauté, initialement publiée le 13 octobre 2003, mais régulièrement modifiée depuis son adoption. Le SEQE s'applique notamment aux « Installations de combustion d'une puissance calorifique de combustion supérieure à 20 MW » (cf. Annexe I de la directive 2003/87/CE), donc également au présent projet. La mise en œuvre concrète de cette Directive est régie par divers décrets et règlements (européens). Ceux-ci ont également été (partiellement) transposés dans la législation flamande, par exemple dans le Vlarem, le DABM et l'Omgevingsvergunningdecreet. En Flandre, le Departement Omgeving (département de l'environnement) a été désigné comme l'autorité compétente dans le cadre du SEQE de l'UE.

⁶⁷ Voir le Cadre d'action européen en matière de climat et d'énergie à l'horizon 2030.

⁶⁸ La rédaction du VEKP s'inscrit dans le cadre de l'article 3 du Règlement (UE) 2018/1999 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2018 sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat, qui exige que chaque État membre soumette à la Commission un plan national intégré en matière d'énergie et de climat avant le 31 décembre 2019, couvrant la période de 2021 à 2030 inclus.

Depuis 2005, le système européen d'échange de quotas d'émission est la pierre angulaire de la stratégie de l'UE visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant de l'industrie et de la production d'électricité et de chaleur. Environ 45 % de toutes les émissions de gaz à effet de serre dans l'UE sont actuellement couvertes par ce système. Le système repose sur l'hypothèse que, sous un certain « cap » (plafond d'émissions) de droits, les forces du marché (avec l'utilisation de droits d'émission négociables) peuvent réduire les émissions de gaz à effet de serre des installations concernées de la manière la plus efficace. En créant progressivement une plus grande « rareté » sur le marché des droits d'émission (par la suppression progressive du « cap »), ils prennent de la valeur et incitent à rechercher le moyen le plus rentable de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les droits d'émission sont principalement distribués par le biais d'enchères, mais aussi en partie via l'allocation gratuite, cette dernière visant principalement à éviter les « fuites de carbone » (carbon leakage). Cependant, l'allocation gratuite ne s'applique plus au secteur de l'électricité depuis 2013.

Comme indiqué ci-dessus, le cadre d'action européen en matière de climat et d'énergie 2030 visait une réduction de 43 % pour le secteur SEQE d'ici 2030 (par rapport aux émissions de 2005), et ce pour l'ensemble de l'Union. Il n'existe donc pas d'objectifs spécifiques au niveau des États membres pour les secteurs SEQE. L'objectif est d'encourager les secteurs SEQE à réduire les émissions de gaz à effet de serre dans des conditions équitables au niveau de l'UE. Une récente révision majeure de la directive 2003/87/CE (via la directive (UE) 2018/410), applicable pour la période 2021-2030 (quatrième période d'échanges), vise à atteindre cet objectif SEQE. Cela comprend notamment une trajectoire de réduction plus stricte, selon laquelle, à partir de 2021, le nombre de quotas d'émission est réduit de 2,2 % par an (au cours de la troisième période d'échanges, ce chiffre était de 1,74 %).

Le 11 décembre 2019, la Commission européenne a annoncé son « Green Deal », qui comprend l'ambition de porter l'objectif de réduction de 40 % (voir ci-dessus) à au moins 55 % et d'être neutre sur le plan climatique d'ici 2050. Une réduction de cet ordre est également nécessaire (au niveau mondial) si l'on veut limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C au-dessus des niveaux de la période préindustrielle. Le Parlement européen a exprimé son soutien aux propositions de la Commission le 15 janvier 2020. Le 11 décembre 2020, le Conseil européen a également approuvé un objectif contraignant de réduction nette d'au moins 55 % des émissions de gaz à effet de serre dans l'UE d'ici 2030, par rapport à 1990.

Il est évident que si ces ambitions politiques sont traduites en réglementations, cela aura également des conséquences sur les objectifs du système SEQE. Les ambitions dans ce domaine ont été fixées dans une proposition du PE et du Conseil modifiant la 2003/87/CE. Cette proposition comprend une nouvelle augmentation du facteur de réduction linéaire annuel (à 5,1 % à partir de 2024 et à 5,38 % à partir de 2028) et une extension du système aux secteurs des transports et des bâtiments. Il est prévu que ce système SEQE adapté démarre en 2027.

Outre la politique relative aux émissions de gaz à effet de serre, il faut également tenir compte de la nécessité d'une adaptation climatique. Au niveau européen, il n'existe pas d'objectifs opérationnels généralement applicables à cet égard, ce qui n'est pas surprenant étant donné que les besoins d'adaptation doivent être définis à un niveau essentiellement local. La Flandre dispose d'un plan d'adaptation pour la période 2021-2030 qui a été récemment approuvé par le Gouvernement flamand.

La directive EIE 2011/92/UE telle que modifiée par la directive 2014/52/UE est également pertinente. Comme nous l'avons déjà indiqué, l'Annexe IV de cette directive (modifiée) stipule qu'une évaluation de l'impact environnemental doit comprendre, outre une description de l'effet du projet sur le climat, une évaluation de *la vulnérabilité du projet au changement climatique*.

En résumé, dans le cadre de la présente EIE au sein de la discipline Climat, une évaluation est faite par rapport aux critères suivants :

- La mesure dans laquelle les émissions de gaz à effet de serre sont réduites grâce au projet ;
- La mesure dans laquelle le projet a des conséquences sur la résilience de l'environnement aux conséquences du changement climatique ;
- La mesure dans laquelle le projet lui-même est robuste dans un contexte de changement climatique.

3.5.2 Effets pertinents et relations de cause à effet

Le Projet qui fait l'objet de l'évaluation environnementale présente un certain nombre de relations potentielles avec la réalisation ou non des objectifs politiques résumés ci-dessus.

Il s'agit en bref des relations suivantes :

1. Le site de Doel comprend un certain nombre d'installations qui sont la source d'émissions de gaz à effet de serre. Il s'agit principalement de pompes et de générateurs diesel de secours. Ils ne sont pas opérationnels dans des circonstances normales, mais leur fonctionnement est régulièrement testé. Du CO₂ est généré lors de ces essais. Certaines de ces installations peuvent être spécifiquement affectées à Doel 4.
2. Outre ces émissions, il faut également tenir compte des émissions de gaz à effet de serre évitées en reportant la désactivation, en ce sens que si la désactivation ne serait pas reportée, la capacité de production devrait être remplacée par d'autres sources (qui auraient été au moins partiellement fossiles).
3. En raison de sa surface considérable, la centrale peut avoir un impact sur la résilience de son environnement aux effets du changement climatique, en termes, par exemple, de phénomènes de chaleur ou de fortes précipitations.
4. La centrale elle-même peut être sensible aux effets du changement climatique tels que les inondations, les crues ou la chaleur.

Les points 1 et 2 se rapportent à l'objectif politique « réduction des émissions de gaz à effet de serre », le point 3 à l'objectif politique « accroître la résilience de l'environnement » et le point 4 à l'objectif politique « réduire la vulnérabilité du projet ».

Chacun de ces points est examiné plus en détail dans les pages suivantes.

3.5.3 Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence

La zone du projet correspond à la somme de tous les lieux où des interventions ont lieu si des situations sont modifiées ou perpétuées. Dans cette zone de projet, on vérifie si la sensibilité de l'environnement aux effets du changement climatique est modifiée et si des changements se produisent dans les émissions (ou la capture) de CO₂ et, le cas échéant, d'autres gaz à effet de serre. L'accent est mis principalement sur les émissions des installations situées dans le périmètre du site de Doel. Les émissions dues par exemple au trafic à destination et en provenance de la centrale électrique ne sont pas prises en compte à ce niveau stratégique. Dans la zone du projet, la vulnérabilité aux effets du changement climatique est également évaluée.

En ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre, aucune zone d'étude n'est définie en termes de récepteurs d'impact, car le changement climatique causé par les émissions de gaz à effet de serre est un phénomène mondial et son impact se fait également sentir à l'échelle planétaire.

Les émissions de gaz à effet de serre évitées peuvent en principe avoir lieu partout en Belgique ou, dans le cas des importations d'électricité, même à l'étranger. L'impact de ces émissions n'étant pas déterminé par le lieu où elles sont produites, cela n'est pas pertinent pour l'analyse de l'impact.

3.5.4 Description des effets

3.5.4.1 Émissions de la centrale

Comme mentionné ci-dessus, les émissions de gaz à effet de serre de la centrale proviennent principalement du fonctionnement d'un certain nombre de moteurs diesel (qui alimentent les pompes et les générateurs de secours) et de chaudières à vapeur et à combustible. De plus, la libération de divers gaz réfrigérants via des fuites doit également être prise en compte ; ces gaz réfrigérants sont aussi des gaz à effet de serre.

L'inventaire des émissions de gaz à effet de serre de la centrale nucléaire de Doel distingue 59 moteurs diesel et installations de combustion pour une puissance thermique installée totale de 316 MW. Le nombre d'heures de

fonctionnement de ces installations est toutefois (très) limité ; en 2022, il a fluctué (selon les installations) entre 0 et 120 heures, avec une moyenne d'environ 52 h par installation.

L'inventaire distingue les différents réacteurs du site, ce qui permet d'estimer les émissions de gaz à effet de serre liées à Doel 4 séparément. Il s'agit notamment de 8 moteurs diesel d'une puissance installée totale de près de 60 MW (voir Tableau 43).

Tableau 43 : Moteurs à combustible fossile clairement attribuables au fonctionnement de Doel 4.

Nom	Puissance (MWth)	Fonction
PKD-D4/ES-DG0022	2,4	DIESEL AUXILIAIRE GMH
PKD-D4/ES-DG0012	2,4	DIESEL AUXILIAIRE GMH
PKD-D4/ES-DG0001	12,6	DIESEL DE SÉCURITÉ R
PKD-D4/ES-DG0002	12,6	DIESEL DE SÉCURITÉ G
PKD-D4/ES-DG0003	12,5	DIESEL DE SÉCURITÉ B
PKD-D4/KE-DG0001	5,7	DIESEL BUNKER R
PKD-D4/KE-DG0002	5,7	DIESEL BUNKER G
PKD-D4/KE-DG0003	5,7	DIESEL BUNKER B

Ensemble, ces installations ont fonctionné environ 383 heures en 2022.

Outre les installations qui peuvent être attribuées sans ambiguïté à Doel 1 et 2, Doel 3 ou Doel 4, il existe encore un certain nombre d'installations pour lesquelles ce n'est pas le cas. D'après l'inventaire des émissions de 2022, celles-ci représentent ensemble moins de 30 % des émissions totales de gaz à effet de serre de la centrale. Nous attribuons ces émissions aux différents réacteurs au prorata de leur puissance relative. Pour Doel 4, cela signifie que 35 % des émissions qui ne sont pas directement attribuables sont attribuées en plus à ce réacteur.

Les chiffres des émissions de gaz réfrigérant s'appliquent à l'ensemble de l'installation ; ici aussi on applique donc un facteur de 35 % pour estimer la part de Doel 4 dans ces émissions.

Le Tableau 44 présente les émissions de gaz à effet de serre du site et de Doel 4 pour les années 2015-2021, telles qu'elles ressortent de l'inventaire des émissions des différentes installations de combustion et du rapportage des fuites de gaz réfrigérants. La part de Doel 4 varie d'une année à l'autre, avec une part maximale de 43 % des émissions totales du site.

Tableau 44 : Émissions de gaz à effet de serre (tonne CO₂éq/an) pour la centrale nucléaire de Doel (KC Doel) et le réacteur de Doel 4 pour la période 2015-2021.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Émissions de gaz à effet de serre KC Doel (incinération)	1.887	1.420	1.414	1.675	1.272	1.294	1.523
Émissions de gaz à effet de serre KC Doel (gaz réfrigérants)	151	570	55	76	83	360	163

Émissions de gaz à effet de serre Doel 4 (*)	604	622	428	570	578	497	653
Part des émissions de gaz à effet de serre de D4 par rapport à KC Doel	30 %	31 %	29 %	33 %	43 %	30 %	39 %
Production Doel 4 (GWh)	7.744	8.782	7.461	5.515	8.730	7.270	7.953
Émissions relatives de gaz à effet de serre de Doel 4 (gCO ₂ éq/kWh)	0,0780	0,0708	0,0574	0,1033	0,0662	0,0684	0,0821

(*) y compris 35 % des émissions de combustion non attribuables et des émissions totales attribuables aux gaz réfrigérants.

Si nous exprimons les émissions par rapport à l'électricité produite, nous obtenons une valeur qui, pour les années considérées, fluctue grosso modo entre 0,060 et 0,1 gramme de CO₂ par kWh. L'émission spécifique calculée est relativement plus élevée pour une production plus faible, ce qui est logique, puisque les émissions elles-mêmes sont relativement constantes et ne sont pas liées à la capacité produite.

À titre de comparaison, une centrale TVG de dernière génération émet environ 320 g de CO₂ par kWh, et les émissions de gaz à effet de serre spécifiques de l'ensemble de la production d'électricité belge s'élevaient à 154 g CO₂ eq./kWh en 2021 (EEA, 2022).

Dans Figure 61 compare ce dernier chiffre avec celui d'autres États membres de l'UE. Il en ressort clairement que les émissions spécifiques du parc électrique belge pour 2021 sont beaucoup plus faibles que, par exemple, celles des Pays-Bas (418 g CO₂éq/kWh) et de l'Allemagne (402 g CO₂éq/kWh), deux pays qui, en 2021, comptaient encore une part considérable d'énergie fossile (y compris le charbon et, dans le cas de l'Allemagne, le lignite) dans leur mix énergétique. Les pays qui font mieux que la Belgique sont ceux qui ont une capacité nucléaire et/ou hydroélectrique importante.

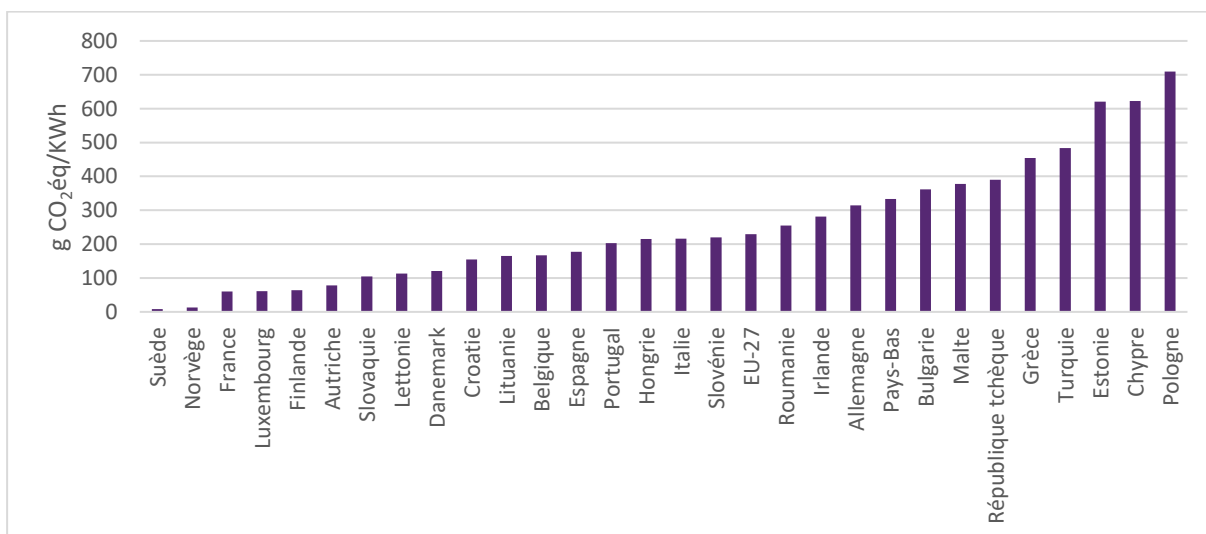


Figure 61 : Intensité des émissions de gaz à effet de serre (g CO₂éq/kWh) du secteur de l'électricité pour les différents États membres de l'UE, en 2020.

Nous pouvons conclure que les émissions de CO₂ de Doel 4 par unité de production sur la période considérée sont inférieures de trois ordres de grandeur aux émissions moyennes du parc de production d'électricité en Belgique. Compte tenu de la technologie déployée, cela ne devrait pas être une surprise. Les émissions qui se produisent ne sont pas dues au fonctionnement normal de la centrale, mais aux cycles d'essai d'installations qui ne sont utilisées qu'en cas d'urgence.

En outre, lorsqu'on examine les émissions du cycle de vie de l'énergie nucléaire, elles se comparent favorablement aux émissions de la plupart des autres formes de production d'énergie. Sur la base d'une étude bibliographique, le GIEC⁶⁹ estime les émissions de gaz à effet de serre de l'énergie nucléaire sur l'ensemble de la durée de vie d'une centrale entre 3,7 et 110 g CO₂-e/kWhe, avec une valeur médiane de 12 g CO₂-e/kWhe. Lenzen⁷⁰ (2008) estime l'intensité CO₂ de l'énergie nucléaire entre 10 et 130 g CO₂-e/kWhe, avec une moyenne de 65 g CO₂-e/kWhe. Les chiffres de Lenzen tiennent également compte, notamment, des émissions liées à l'extraction de l'uranium et au démantèlement de la centrale. Les émissions du cycle de vie d'une centrale nucléaire sont au moins 10 à 20 fois inférieures à celles d'une centrale thermique, légèrement inférieures au photovoltaïque et légèrement supérieures à celles des éoliennes.

Afin de connaître l'évolution des émissions pendant la période de prolongation de la durée de vie de Doel 4, il est nécessaire de connaître la durée pendant laquelle chacun des incinérateurs du site continuera à fonctionner. En effet, ce ne sont pas seulement les installations directement connectées à Doel 4 qui restent actives ; certaines des installations non spécifiquement affectées resteront également opérationnelles et seront donc testées régulièrement.

Les informations nécessaires à cet effet ont été fournies par Engie et se trouvent dans le Tableau 31 (discipline Air). Cela montre que sur les 63 installations d'incinération qui seront présentes sur le site en 2022, 31 resteront actives pendant toute la durée de la prolongation de la durée de vie. Pour calculer les émissions annuelles de ces installations, chaque installation s'est vu attribuer la moyenne des émissions sur la période 2011-2022 pour chaque année pendant laquelle l'installation était encore en activité. Pour les deux chaudières à vapeur auxiliaires, on suppose que leur fonctionnement double à partir du moment où seul Doel 4 est encore en fonctionnement, comme l'argumente la discipline Air.

Les émissions dues aux fuites de gaz réfrigérant ont été comptabilisées parmi les émissions de combustion. Ceci était basé sur les émissions moyennes sur la période 2004-2021, qui s'élevaient à 377 tonnes par an. On a appliqué à ce chiffre un facteur de réduction annuel qui correspondait au facteur de réduction en pourcentage des émissions de combustion pour cette année.

L'évolution des émissions résultantes pour l'ensemble du site est présentée dans la Figure ci-dessous. Du fait du fonctionnement plus élevé des chaudières à vapeur auxiliaires à partir du moment où seul Doel 4 est encore en fonctionnement, on constate une légère augmentation dans les années 2026-2027 après une première baisse, qui s'inversera toutefois au cours des années suivantes par la mise en service progressive des autres installations.

⁶⁹ Steffen Schlömer (ed.), Technology-specific Cost and Performance Parameters, Annex III of Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2014).

⁷⁰ Lenzen, M. Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review. Energy Conversion and Management 49 (2008) 2178–2199.



Figure 62 : Évolution estimée des émissions directes de gaz à effet de serre de la centrale nucléaire de Doel entre 2023 et 2040.

Étant donné que seul le réacteur de Doel 4 sera encore actif sur la période 2027-2036, on peut supposer que toutes les émissions de gaz à effet de serre sur cette période peuvent être attribuées d'une manière ou d'une autre au fonctionnement de ce réacteur. Les émissions totales sur cette période s'élèvent à 13 857 tonnes de CO₂éq, ce qui représente près de 0,08 % des émissions totales du secteur de l'énergie en Belgique en 2021 (18 200 ktonnes). Il s'agit des émissions directes résultant du maintien en service du réacteur de Doel 4 pendant dix ans de plus.

3.5.4.2 Émissions évitées de la centrale

Sous cette rubrique, nous discutons des émissions qui seraient générées si le réacteur de Doel 4 devait être définitivement fermé en 2025.

Il est clair que la perte de capacité nucléaire en Belgique devra être au moins partiellement absorbée par les centrales à gaz. Ember⁷¹ estimait en 2020 que l'intensité carbone de l'approvisionnement électrique belge s'élèverait en 2030 à 229 g CO₂éq/kWh, ce qui implique une augmentation de près de 71 % par rapport à la situation actuelle. La Belgique est l'un des rares pays européens où l'intensité carbone pourrait augmenter plutôt que diminuer. Cela s'explique évidemment par le fait que la part des énergies renouvelables sera encore trop faible en 2030 pour compenser le déclin rapide de la production nucléaire. EMBER prévoit une part de 57 % de gaz naturel et de 40 % d'énergies renouvelables en 2030. À noter que dans une mise à jour des perspectives d'approvisionnement belge en électricité en 2030 et 2050 (2020), Energyville table sur une part significativement plus faible de 44 % de gaz naturel en 2030, et donc également sur une intensité carbone plus faible (voir ci-dessous).

La Figure 63 illustre une prévision de la production et des importations d'électricité belges entre 2022 et 2032, telles qu'elles figurent dans le dernier rapport d'adéquation et de flexibilité (« Adequacy and Flexibility Report ») d'Elia (2021).

⁷¹ Vision or division? What do National Energy and Climate Plans tell us about the EU power sector in 2030? EMBER, novembre 2020.

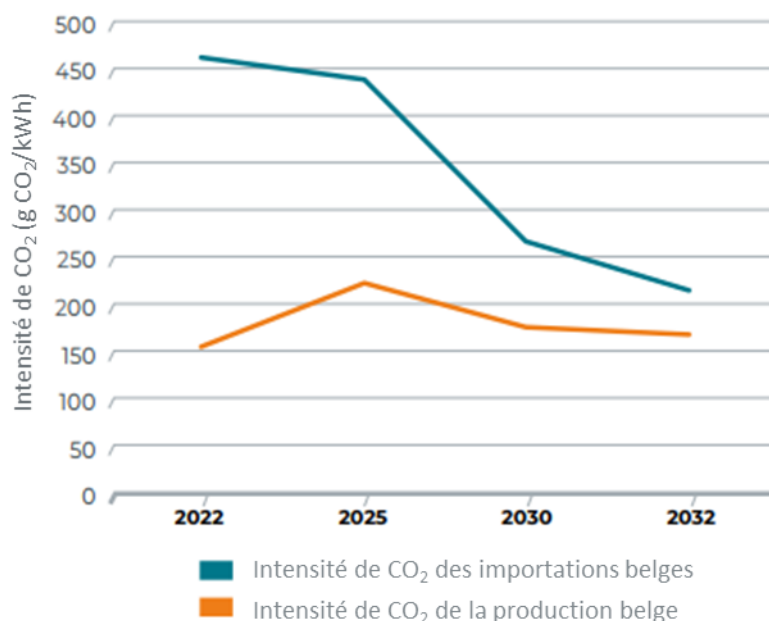


Figure 63 : Prédiction de l'intensité carbone de la production et des importations belges d'électricité (Elia).

Comme on peut le voir dans cette Figure, pour connaître l'intensité carbone de l'électricité consommée, il faut en effet également prendre en compte l'intensité carbone de l'électricité importée. Cependant, nous nous intéressons ici à l'intensité carbone de la production. Comme on peut également le voir dans cette Figure, Elia est beaucoup plus optimiste (et probablement aussi plus réaliste) qu'Ember dans ce domaine. La raison en est qu'Elia, tout comme Energyville, repose son raisonnement sur une part de gaz nettement inférieure qu'Ember. En 2032, Elia repose son raisonnement sur une part de gaz dans la production d'électricité comprise entre 33 % et 44 %, avec une part d'énergie éolienne d'au moins 37 %. Selon les chiffres d'Elia, l'intensité carbone culminera en 2025 (après la fermeture de toutes les centrales nucléaires) à environ 225 g de CO₂éq/kWh, mais diminuera régulièrement par la suite.

Des informations comparables peuvent être trouvées dans l'étude d'Energyville de 2020 mentionnée. Les données de cette étude permettent de tracer le graphique ci-dessous qui illustre l'évolution attendue de l'intensité carbone dans, d'une part, un scénario « Central » (sans énergie nucléaire après 2025) et d'autre part, un scénario « Nuclear 10 » avec 2 GW d'énergie nucléaire conservés pendant 10 ans après 2025. Ce dernier scénario correspond au scénario que nous évaluons dans la présente EIE.

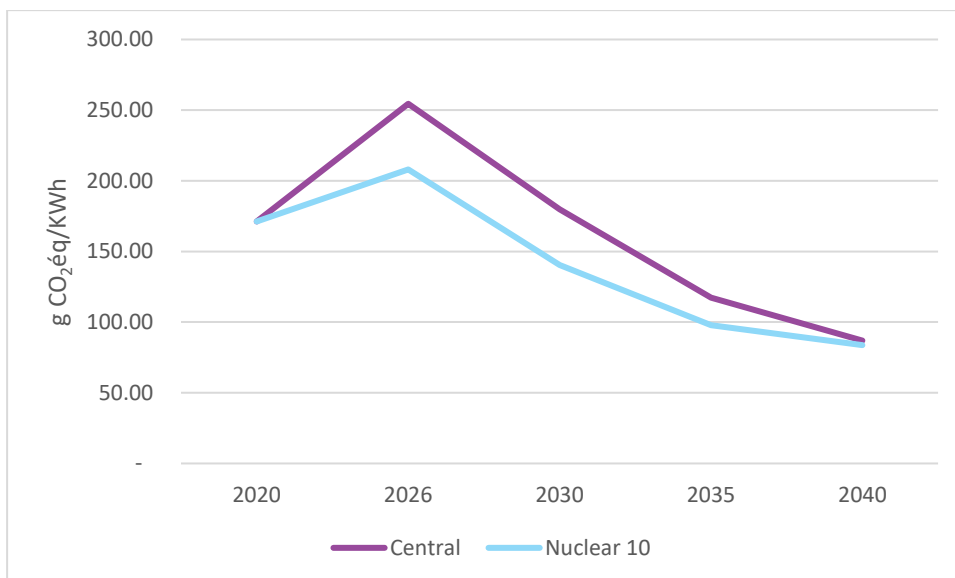


Figure 64 : Évolution de l'intensité carbone de la production d'électricité dans un scénario de sortie totale du nucléaire en 2020 (Central) et dans un scénario avec une prolongation de durée de vie de 10 ans pour 2 GW de capacité.

L'évolution de ce chiffre est, pour le scénario « Central », tout à fait comparable au chiffre du rapport d'Elia, bien qu'Energyville suppose un pic plus élevé en 2026. Comparable aux deux graphiques, nous avons la diminution rapide de l'intensité carbone après 2025/2026, atteignant une intensité carbone à nouveau similaire à celle d'aujourd'hui à partir de 2030 environ.

Par une interpolation des chiffres qui forment la base de la Figure 64 nous obtenons les données du Tableau suivant.

Le Tableau contient, par an de 2020 à 2040, les émissions de gaz à effet de serre (en ktonne CO₂eq) correspondant à une production annuelle de 7 500 GWh d'électricité, ce qui équivaut à (arrondi) la production moyenne de Doel 4 sur la période 2012-2021) à l'intensité carbone de la production d'électricité cette même année.

Tableau 45 : Émissions de CO₂ estimées (dans un scénario de sortie complète du nucléaire en 2025 (Central) causées par la production de 7500 GWh d'électricité par an, à l'intensité carbone moyenne de la production d'électricité pour chaque année.

	Central	
	gramme CO ₂ eq/KWh	Ktonne CO ₂ eq
2020	171,12	1.283,43
2021	185,02	1.387,67
2022	198,92	1.491,90
2023	212,82	1.596,13
2024	226,72	1.700,36
2025	240,61	1.804,60
2026	254,51	1.908,83
2027	235,87	1.768,99
2028	217,22	1.629,16

2029	198,58	1.489,33
2030	179,93	1.349,49
2031	167,40	1.255,54
2032	154,88	1.161,58
2033	142,35	1.067,62
2034	129,82	973,66
2035	117,29	879,71
2036	112,24	841,77
2037	107,18	803,84
2038	102,12	765,90
2039	97,06	727,97
2040	86,95	652,10

Les émissions cumulées sur la période 2027-2036 correspondent aux émissions qui ne seraient pas émises (et donc « évitées ») si 7500 GWh d'électricité d'origine nucléaire (Doel 4) étaient produits annuellement sur cette période. La valeur obtenue de cette manière est de 12 417 ktonnes ou 12,42 ktonnes.

Si l'on compare les émissions rejetées par l'exploitation de Doel 4 sur approximativement la même période (près de 14 ktonnes), on peut conclure que les émissions de Doel 4 sur la période couverte par le report de la désactivation ne représentent que 0,11 % des émissions évitées sur la même période. Les émissions attribuables au maintien de la centrale en service plus longtemps sont donc négligeables par rapport aux émissions évitées.

La prolongation de 10 ans de la durée de vie de Doel 4 conduit donc à 12 417 ktonnes d'émissions de CO₂ en moins, soit une moyenne d'environ 1242 ktonnes/an. Cela représente une économie annuelle équivalente à près de 10 % des émissions du secteur de la production d'électricité et de chaleur » en Belgique en 2021⁷² (12,88 Mtonnes). La quantité annuelle économisée diminue d'année en année sur la période de prolongation de la durée de vie, comme on peut le constater clairement dans le Tableau 45.

Il est clair que l'importance des « émissions évitées » dépend dans une large mesure de l'intensité en carbone supposée de la production d'énergie, et donc notamment de la part des énergies renouvelables. Dans les calculs, cela a été pris en compte en introduisant une tendance à la baisse de l'intensité carbone à partir de 2026.

3.5.4.3 Impact sur la vulnérabilité de l'environnement

La question à laquelle il faut répondre sous cette rubrique est de savoir dans quelle mesure le fait de garder Doel 4 ouvert plus longtemps peut affecter la vulnérabilité de la zone environnante face aux effets du changement climatique. Les effets qui peuvent en théorie être pertinents ici concernent d'une part la gestion de l'eau de pluie et d'autre part l'apparition d'un îlot de chaleur.

En ce qui concerne l'effet de la **gestion des eaux de pluie**, on peut citer la surface revêtue considérable formée par la zone de la centrale nucléaire de Doel. L'eau qui tombe sur cette zone ne s'infiltrera pas dans le sol et devra donc être collectée et évacuée. C'est bien sûr ce qui se passe actuellement (voir la description dans la discipline Eau). En raison du changement climatique, les averses pourraient devenir plus intenses, ce qui pourrait avoir pour conséquence que le système de collecte et d'évacuation ne soit plus toujours en mesure de traiter les précipitations. Cela peut entraîner des inondations locales. Nous abordons plus loin ce que cela signifie pour le site de la centrale

⁷² Les données validées les plus récentes disponibles datent de 2020, mais c'était une année Corona, avec des émissions nettement inférieures.

elle-même, sous la rubrique « Vulnérabilité du Projet aux impacts du changement climatique ». La question est de savoir s'il peut également y avoir des effets sur l'environnement de la centrale. Nous pouvons affirmer que ce ne sera pas le cas, car les eaux de pluie sont drainées en direction de l'Escaut (dont la capacité tampon est considérable par rapport aux volumes déversés), et non en direction des polders. En outre, en cas de désactivation, il est peu probable que le site de Doel 4 ne soit plus revêtu au cours de la période 2027-2037, car le démantèlement complet de la centrale pourrait prendre au moins une quinzaine d'années.

La centrale forme également un **îlot de chaleur** par rapport à son environnement. Cet effet est dû au fait que le site est en grande partie revêtu et comporte peu d'arbres pouvant fournir de l'ombre ou assurer un refroidissement par évaporation. Les revêtements et les bâtiments stockent la chaleur pendant la journée et la restituent progressivement la nuit. En conséquence, la température sur le site peut être jusqu'à plusieurs degrés plus élevée que dans les polders environnants. Cet effet est renforcé lorsque les étés sont plus chauds. Ce réchauffement se fait sentir jusqu'à une distance de (tout au plus) plusieurs centaines de mètres de la centrale. En pratique, peu importe pour la période 2027-2037 que Doel 4 soit toujours en service ou non, puisque le site de Doel dans son ensemble sera encore revêtu pendant cette période à la suite des activités de démantèlement, et contribuera donc dans la même mesure à l'effet d'îlot de chaleur.

Enfin, on peut également faire référence au **problème de la sécheresse**, qui va s'aggraver en raison du changement climatique. Sur le site de la centrale, on accorde actuellement peu d'attention à la mise en place de tampons et à l'infiltration. Toutefois, ces pratiques gagneront en importance à mesure que le climat deviendra plus sec ; elles permettent de réutiliser l'eau de pluie et/ou de l'utiliser pour alimenter les eaux souterraines, au lieu de l'évacuer dans l'Escaut.

3.5.4.4 Vulnérabilité du Projet par rapport aux impacts du changement climatique

Deux questions différentes sont abordées sous cette rubrique :

- D'une part, les impacts que le projet lui-même peut subir en raison du changement climatique (en termes de sécheresses, d'inondations, etc.). La disponibilité de l'eau de refroidissement, qui peut diminuer si la température ambiante et la température de l'eau de surface deviennent trop élevées, en est un exemple ;
- D'autre part, la mesure dans laquelle les effets du projet, qui sont examinés ailleurs dans la présente EIE, pourraient changer (être amplifiés ou atténués) en raison du changement climatique. Par exemple, avec l'augmentation de la sécheresse, les débits des cours d'eau peuvent être fortement réduits, ce qui peut exacerber les effets d'un déversement en provoquant une dilution beaucoup moins importante que prévu.

Bien que ces deux types d'effets soient différents, nous les traitons ensemble ici, car les causes sous-jacentes (chaleur, sécheresse, inondations, etc.) sont les mêmes dans les deux cas.

Le présent Projet couvre une période clairement définie, qui se termine en 2037. Les signes d'un changement climatique sont devenus de plus en plus apparents au cours des dernières décennies et surtout ces dernières années. Les évolutions prévues et déjà constatées vont se poursuivre et aussi s'intensifier. Il convient donc de tenir compte des éléments suivants dans le cadre de la période de référence du Projet :

- Des températures moyennes plus élevées, avec des hivers plus doux et des étés plus chauds ;
- Des vagues de chaleur plus fréquentes, qui peuvent également être plus intenses et durer plus longtemps ;
- Une augmentation des précipitations annuelles totales, avec plus de pluie en hiver (et éventuellement plus d'inondations), mais aussi des étés sensiblement plus secs ;
- Une augmentation de l'intensité de pointe des précipitations sous forme d'averses courtes et intenses, qui peuvent provoquer des inondations ;
- Une élévation du niveau de la mer, entraînant un risque accru d'inondation le long de la côte et des estuaires ;
- Des vitesses de vent plus élevées.

La plupart des prévisions concernent des situations futures, par exemple en 2050 ou même en 2100. Ces années cibles ne sont évidemment pas pertinentes pour le présent Projet. Le portail climatique de la VMM (<https://klimaat.vmm.be/>) comporte des informations par commune, pour certains paramètres également pour l'année 2030, qui peuvent être considérées comme représentatives de la situation moyenne sur la période 2027-2037. Toutefois, il convient de noter que les pronostics de la VMM sont basés sur le scénario climatique flamand dit « élevé », ce qui signifie en pratique une évolution similaire à celle du RCP 8.5 (scénario « Representative Concentration Pathway », « Trajectoires représentatives de concentration » en français), qui est une hypothèse plutôt pessimiste.

Nous résumons ci-dessous les informations disponibles sur le portail climatique concernant les changements (maximum) attendus dans la commune de Beveren d'ici 2030. La comparaison se réfère toujours à la situation en 2017 :

- D'ici 2030, le nombre de personnes appartenant aux groupes d'âge vulnérables (0-4 ans et 65+) susceptibles d'être touchées par les épisodes de chaleur aura augmenté de 52 % par rapport à 2017 ;
- D'ici 2030, le nombre de jours secs par an sera passé de 171 en 2017 à 193 ;
- D'ici 2030, le nombre de jours de vague de chaleur sera passé de 4 en 2017 à 10.

Pour la centrale nucléaire de Doel, cependant, les principaux effets du changement climatique ne sont pas liés à la chaleur ou à la sécheresse, mais au risque d'inondation, d'une part de l'Escaut (en raison de l'élévation du niveau de la mer) et d'autre part suite à l'augmentation de l'intensité maximale des précipitations. Ces deux effets et un certain nombre d'autres ont été abordés dans le rapport sur les tests de résistance effectués dans le cadre de la révision complémentaire de la sécurité des installations (Electrabel SA, 2011). Dans ce qui suit, nous résumons les principales conclusions. Il est important de souligner que l'ampleur du changement climatique prise en compte dans ce rapport va au-delà de ce qui est susceptible de se produire en 2037. Néanmoins, il est utile d'en présenter brièvement les résultats, car ils donnent une idée de la limite supérieure des effets à attendre.

Inondations

Pour minimiser le risque d'inondation, deux mesures importantes ont été prévues lors de la conception du site : premièrement, l'ensemble du site, y compris toutes les installations, repose sur une plate-forme surélevée, et deuxièmement, la digue de l'Escaut qui protège le site a été surélevée d'un mètre supplémentaire. Le plus haut niveau de l'Escaut jamais enregistré dans notre pays est de 8,10 m DNG (deuxième niveau d'eau général). La plate-forme du site a été élevée à 8,86 m DNG lors de la construction. La digue le long du site a été relevée à 12,08 m. Un niveau d'eau de 9,13 m DNG a été établi comme Design Basis Flood (DBF). Ce DBF a été choisi, sur la base d'études connues au moment de la conception, comme le niveau ayant une période de retour de 10 000 ans. Plus tard, le niveau d'eau avec une période de retour de 10 000 ans a été réévalué à (en moyenne) + 9,35 m DNG à hauteur du site. C'est toutefois encore bien en dessous de la crête de la digue. Toutes les structures, systèmes et composants, y compris l'alimentation électrique interne en cas d'urgence, sont protégés sans distinction contre le DBF.

L'inondation de la digue est donc extrêmement improbable, même en cas d'élévation soutenue du niveau de la mer (dont les conséquences ne deviendront vraisemblablement pertinentes que dans la seconde moitié de ce siècle). La rupture de la digue au point le plus critique pourrait déjà se produire avec une période de retour de 1700 ans. Dans une telle situation, des niveaux d'eau de 20 cm en moyenne pourraient se produire sur le site, avec des profondeurs d'eau allant jusqu'à 60 cm localement.

Le débordement de la digue par les vagues peut se produire avec une période de retour de 200 à 300 ans. Pour une période de retour de 10 000 ans, cela peut conduire à une moyenne d'environ 10 cm d'eau sur le site, avec localement des valeurs plus ou moins élevées. L'étude en question a examiné l'impact de cette situation sur la sécurité de l'exploitation du site. Il s'est avéré que des infiltrations d'eau étaient possibles dans trois bâtiments, mais sans conséquence pour les fonctions de sécurité. En cas de rupture de digue, le nombre de sites susceptibles d'être inondés augmenterait. Là encore, le deuxième niveau de sûreté est maintenu en toutes circonstances. Néanmoins, le rapport sur les tests de résistance a suggéré un certain nombre de mesures supplémentaires pour intensifier davantage la sécurité contre les inondations, comme la mise en place de barrières permanentes aux entrées des

bâtiments critiques. Dans la pratique, il s'agit d'installer une protection périmétrique de quelques dizaines de centimètres de haut aux entrées des bâtiments de sécurité concernés.

La plate-forme sur laquelle tout le site est construit est entourée de polders inférieurs de 5 mètres. En cas de rupture de la digue, le risque que ces polders soient inondés est réel. Dans une telle situation, le site de Doel deviendrait une île. En cas de telles inondations, l'évacuation et l'accès des personnes ainsi que l'approvisionnement en carburant pour les systèmes de sécurité et les diesels de secours sont évidemment d'une grande importance. Les mesures pour y faire face sont décrites dans les procédures du plan d'urgence du site.

Fortes précipitations

Le rapport des tests de résistance indique que les données de précipitation « actuelles » (c'est-à-dire de l'année 2011) n'ont pas indiqué d'augmentation significative des intensités de précipitation depuis la phase de conception, et que les intensités de précipitation qui ont servi de base à la conception étaient donc toujours valables. La question est de savoir si cette conclusion sera toujours valable en 2037. Il existe en effet des indications claires que l'intensité des pics de précipitation a bel et bien augmenté entre-temps.

L'évaluation du réseau d'égouts a également démontré que la capacité d'évacuation des égouts était localement dépassée en cas de fortes précipitations (période de retour de 100 ans), en un nombre limité d'endroits et pour une période limitée. À ces endroits, il peut y avoir quelques inondations temporaires jusqu'à ce que l'intensité des pluies diminue et que le système d'égout évacue l'excès d'eau.

Si nous supposons que les intensités ont effectivement augmenté depuis lors (et certainement d'ici 2037), tant la probabilité que de telles situations se produisent que l'ampleur des conséquences peuvent évidemment aussi augmenter. Compte tenu de la période de retour relativement élevée utilisée dans les calculs et du fait qu'aucune fonction critique n'est menacée par une éventuelle inondation, on peut affirmer que l'importance de cet effet dans la pratique est faible.

Vents forts

La vitesse maximale du vent de 49 m/s, qui a servi de base à la conception de tous les bâtiments du site, n'a encore jamais été réellement mesurée en Belgique. En outre, les bâtiments liés à la sécurité sont calculés pour des charges plus importantes que cette vitesse de vent maximale. Des vitesses de vent extrêmes pourraient donner lieu à une LOOP partielle ou complète. Le scénario LOOP⁷³ fait partie de la base de conception des tranches. Une telle situation ne met pas en danger le refroidissement de la matière fissile, ni en fonctionnement normal ni à l'arrêt.

Tornades

Une tornade grave peut entraîner une LOOP partielle ou complète, qui peut ou non être combinée avec un Station Black Out (SBO) de 1er niveau et une perte de la source froide primaire.

La conception de Doel 4 prend en compte une tornade de référence qui est sans précédent dans cette région. Comme le phénomène n'est généralement pas le critère déterminant lors de la conception des bâtiments, des bâtiments importants liés à la sûreté pourront également supporter des tornades plus intenses que la tornade de référence.

⁷³ LOOP = loss of off site power, ou perte complète du réseau externe, ce qui signifie la perte simultanée des réseaux externes de 400 kV et 150 kV. Dans une telle situation, le groupe turbogénérateur est automatiquement activé en mode îlot via les dispositifs de protection électrique. Le groupe turbogénérateur alimente ses propres systèmes auxiliaires. C'est le premier mécanisme de protection qui assure l'alimentation des systèmes auxiliaires de la tranche. Lorsqu'au moins une des quatre tranches Doel est activée avec succès en mode îlot, il est également possible de relier cette tranche aux autres tranches via la station 400 kV de Doel.

Températures moyennes plus élevées

Si la température ambiante est plus élevée, la température de l'eau de refroidissement rejetée sera également plus élevée. En raison du changement climatique, les températures moyennes de l'air vont augmenter, avec des hivers plus doux d'une part et des vagues de chaleur plus longues et plus intenses en été d'autre part.

En conséquence, la température de l'eau de refroidissement rejetée augmentera en moyenne et des mesures supplémentaires seront donc nécessaires pour respecter les normes de rejet des centrales électriques. La température de l'eau de refroidissement rejetée ne peut normalement pas dépasser 30°C, mais une limite d'émission distincte de 33°C maximum (en valeur instantanée) s'applique aux centrales électriques. Toutefois, le Vlarem indique également que cette valeur limite n'est pas applicable (sous réserve du respect d'un certain nombre de conditions) si, en cas de conditions météorologiques exceptionnelles (et notamment de vague de chaleur), la sûreté du réseau est compromise. Les vagues de chaleur entraînant des températures de rejet plus élevées se produiront cependant plus fréquemment à l'avenir, de sorte que les « conditions météorologiques exceptionnelles » deviendront beaucoup moins exceptionnelles.

En outre, les températures des eaux de surface prélevées augmenteront évidemment aussi en raison d'une augmentation de la température moyenne de l'air ambiant. Selon la législation actuelle du Vlarem, les centrales thermiques équipées de tours de refroidissement doivent réduire progressivement la charge thermique rejetée à une température moyenne journalière de l'eau de surface prélevée de 25°C ou plus, afin d'éviter des effets écologiques négatifs, entre autres. Par exemple, à une température moyenne journalière de l'eau captée de 28°C, la charge thermique journalière rejetée doit être limitée à 10 % ou moins de la charge thermique maximale par jour (article 4.2.4.1 du Vlarem II). Une telle situation devrait se produire plus souvent à l'avenir sous l'influence du changement climatique.

Les deux phénomènes décrits ci-dessus (température plus élevée de l'eau de refroidissement à rejeter et température plus élevée de l'eau dans la masse d'eau réceptrice) peuvent avoir un impact négatif sur la production d'électricité de la centrale. Toutefois, il ne faut pas s'attendre à ce que cet effet cause des problèmes à l'Escaut et au cours de la durée de vie (prolongée) de Doel 4.

Températures extrêmes

Les températures extrêmes ont également été prises en compte dans la base de conception et dans le dimensionnement des équipements. Les normes dans ce domaine ont été déterminées sur la base de statistiques et en fonction de la localisation géographique du site nucléaire. Une période de températures extrêmes ou de sécheresse extrême n'est pas un phénomène naturel soudain. Ce sont des évolutions qui peuvent être prévues à temps, ce qui permet d'agir en temps voulu. Doel a également mis en place des procédures pour garantir la sûreté de son fonctionnement en cas de vague de chaleur ou de gel.

Dans le cadre des préparatifs de la prolongation de la durée de vie de Doel 4, il a été établi que la gestion d'éventuelles vagues de chaleur (et des températures associées, qui peuvent être plus élevées que prévu dans la conception initiale) peut conduire à des améliorations de conception (par exemple, des refroidisseurs d'air supplémentaires ou humidificateurs des locaux). L'augmentation de la résistance des installations aux conséquences des températures extrêmes résultant du changement climatique est donc a priori intégrée au projet.

3.5.5 Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques

Pour les différents objectifs politiques de haut niveau relatifs à la discipline Climat (voir § 6.5.1), il est indiqué ci-dessous si le Projet contribue ou non à la réalisation de ces objectifs :

Objectif « La plus grande réduction possible des émissions de gaz à effet de serre »

Sur l'ensemble de la période, le report de la désactivation de Doel 4 permet d'éviter des émissions d'environ 12 417 ktonnes de CO₂éq. Si l'on compare les émissions rejetées par l'exploitation de Doel 4 sur la même période (14 ktonnes), on peut conclure que les émissions de Doel 4 sur la période couverte par le report de la désactivation ne

représentent que 0,11 % des émissions évitées sur la même période. Les émissions attribuables au maintien des centrales en service plus longtemps sont donc négligeables par rapport aux émissions évitées. Le Projet contribue donc à la réalisation de cet objectif et le score est **positif**.

Objectif « Atteindre une résilience maximale de l'environnement et de la société aux conséquences du changement climatique »

Au cours de la période de référence 2027-2037, le Projet n'aura pas d'impact supplémentaire sur la résilience de l'environnement aux effets du changement climatique. Les impacts potentiellement pertinents n'augmenteront pas avec la prolongation de la durée de vie, principalement en raison du fait que le site de Doel conservera son revêtement pendant toute la période de référence, même s'il est désactivé en 2025. Le Projet ne contribue donc pas de façon notable à la réalisation de l'objectif, mais ne le contrecarre pas non plus de façon notable. L'évaluation est donc **neutre** pour cet aspect.

Objectif « Minimiser la vulnérabilité du projet aux impacts du changement climatique »

L'analyse présentée dans la présente EIE montre clairement que le site résiste aux impacts du changement climatique bien au-delà de ce qui devrait se produire en 2037. Le fait que Doel 4 soit ou non en service sur la période de référence 2027-2037 n'y change rien. L'évaluation est donc **neutre**.

3.5.6 Résumé des principales conclusions

Les émissions de gaz à effet de serre qui peuvent être attribuées à Doel 4 sur la période 2027-2036 sont de l'ordre de 14 ktonnes (cumulées). Si nous exprimons les émissions par rapport à l'électricité produite, nous obtenons une valeur qui, pour les années considérées, fluctue entre 0,06 et 0,1 gramme de CO₂ par kWh, ce qui est très faible.

Les émissions de gaz à effet de serre évitées en gardant Doel 4 ouvert plus longtemps sont d'un autre ordre. Sur l'ensemble de la période, le report de la désactivation de Doel 4 permet d'éviter des émissions d'environ 12 417 ktonnes de CO₂éq. Cela représente une économie équivalente d'environ 0,97 % des émissions du secteur de la « production d'électricité et de chaleur » en Belgique en 2021 (12,8 Mtonnes). Si l'on compare avec les émissions rejetées par l'exploitation de Doel 4 sur la même période (14 ktonnes), on peut conclure que les émissions de Doel 4 sur la période couverte par la prolongation de la durée de vie ne représentent que 0,11 % des émissions évitées sur la même période. Les émissions attribuables au maintien des centrales en service plus longtemps sont donc négligeables par rapport aux émissions évitées.

Doel 4 n'affecte pas la résilience de l'environnement aux effets du changement climatique pendant la période de référence, compte tenu du fait que, tant dans la situation de référence que lors de la mise en œuvre du Projet, le site reste revêtu. Dans la perspective temporelle de la prolongation de la durée de vie, le site de Doel lui-même n'est pas vulnérable non plus aux conséquences du changement climatique, et cette situation est indépendante du report ou non de la désactivation de Doel 4.

3.5.7 Mesures d'atténuation

Aucune mesure d'atténuation n'est requise à partir de la discipline Climat.

3.5.8 Lacunes dans les connaissances et surveillance

Il n'y a pas de lacunes dans les connaissances qui soient de nature à conduire à des décisions différentes. La surveillance des effets n'est pas nécessaire.

3.6 Homme et Santé

3.6.1 Effets pertinents et relations de cause à effet

Les effets sur la santé qui sont (ou peuvent être) associés à l'exploitation des centrales nucléaires sont principalement attribuables à des effets radiologiques (possibles). Ce sujet est abordé ailleurs dans ce document. Par ailleurs, les effets sur la santé liés aux caractéristiques non nucléaires de la centrale et de son exploitation doivent également être pris en compte.

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) définit la santé comme suit : « Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity ». Cette large définition implique que les estimations des impacts environnementaux, en plus de l'impact direct des facteurs de stress, doivent aussi prendre en compte la situation existante, les effets à plus long terme, le contexte social, les effets psychosomatiques indirects et la perception du public.

Le Tableau ci-dessous contient un bref aperçu des facteurs de stress environnementaux potentiellement pertinents, ajustés sur la base d'Arcadis (2021). La raison pour laquelle certains d'entre eux ne sont pas davantage pris en compte est argumentée. Plus loin, l'impact potentiel des facteurs de stress indiqués en bleu est abordé plus en détail, pour lesquels des impacts significatifs ne peuvent être exclus a priori. Ces détails s'appuient également en grande partie sur le RIE d'Arcadis de 2021, complété par des informations issues de l'étude stratégique de l'impact environnemental pour le report de la désactivation de Doel 1 et Doel 2 (SCK CEN et KENTER, 2021).

Tableau 46. Aperçu des facteurs de stress environnementaux potentiellement pertinents

Facteurs de stress	Description spécifique du facteur de stress et/ou de la source, impact sur la santé	Argumentation expliquant pourquoi le facteur de stress, s'il est présent, n'est pas pris en compte
Facteurs de stress chimiques		
Pollution de l'air	Émissions résultant de l'exploitation de Doel 4	La discipline Air révèle que l'impact sur la qualité de l'air est négligeable. Par conséquent, aucun effet pertinent sur la santé n'est attendu.
Pollution des sols et des nappes phréatiques	Émission accidentelle	En cas d'émission accidentelle, cf, le décret Sols, exige une action immédiate. Au sein du site de Doel, les mesures nécessaires sont prises pour éviter une détérioration de la qualité des sols et des eaux souterraines. De plus, la législation sur les sols impose une action immédiate en cas de pollution accidentelle. L'exposition à une pollution accidentelle du sol ou des eaux souterraines n'est donc pas examinée davantage dans la discipline Santé humaine.
Pollution des eaux de surface	Rejet des eaux usées	Les eaux usées sanitaires sont rejetées dans l'Escaut après épuration dans 5 biorotors. Les eaux usées industrielles sont collectées et évacuées rejetées séparément puis rejetées dans l'Escaut, après traitement ou non. Étant donné que l'eau de l'Escaut n'est pas utilisée pour le captage d'eau potable ou comme eau de plaisance, l'exposition à la pollution via les eaux de surface n'est pas pertinente et n'est pas examinée davantage dans cette discipline.

Facteurs de stress	Description spécifique du facteur de stress et/ou de la source, impact sur la santé	Argumentation expliquant pourquoi le facteur de stress, s'il est présent, n'est pas pris en compte
Odeur	Émissions de substances à impact olfactif /	Les principaux gaz de combustion émis sont inodores (CO, NO et CO ₂) ou uniquement détectables à fortes concentrations (NO ₂). D'autres substances ayant une odeur typique dans KC Doel sont l'ammoniac et l'hydrazine, mais leurs caractéristiques d'entreposage évitent les émissions olfactives (voir aussi discipline Air). Les nuisances olfactives ne sont donc pas examinées davantage dans la discipline Santé humaine.
Facteurs de stress physiques		
Bruit	Émissions sonores dues à l'exploitation de Doel 4.	Les émissions sonores de la centrale sont limitées (voir aussi la discipline Biodiversité), surtout si on les compare aux sources de bruit actuelles et futures dans la région (ECA, Ineos, ...). En outre, l'impact sonore du fonctionnement normal diminuera à mesure que les autres réacteurs fermeront, et les activités de déclassement (ne relevant pas du scoping de la présente EIE) sont susceptibles d'être une source beaucoup plus importante de nuisances sonores pour les abords du site. Enfin, il convient de souligner que les habitations aux abords de la centrale sont limitées.
Vibrations		La prolongation de la durée de vie de Doel 4 n'implique aucune activité susceptible de générer des vibrations.
Éolien		Malgré la présence de structures hautes (tours de refroidissement), aucune nuisance éolienne pertinente n'est à prévoir compte tenu de l'éloignement des zones résidentielles.
Lumière, ombre	Ombre du panache de vapeur	Des recherches françaises (Méry, 1989) ont révélé que la diminution de l'ensoleillement due à l'ombre du panache de vapeur est largement limitée à une distance de 1,5 à 3 km d'une centrale. La plupart des zones résidentielles se trouvent à plus de 3 km de la centrale nucléaire de Doel, la diminution du nombre d'heures d'ensoleillement y est donc négligeable. À l'exception du centre-ville de Doel qui se situe à environ 1,3 km au sud des tours de refroidissement. Lorsque le vent vient du Nord, il y a un risque d'ombrage provenant des panaches de vapeur. Cependant, cette direction du vent ne se produit qu'environ 12 % du temps en Belgique (Arcadis, 2021).
Chaleur	Rejet d'eau de refroidissement dans l'Escaut	Aucun effet sur la santé humaine n'est attendu des effets thermiques du rejet d'eau de refroidissement dans l'Escaut.
Rayonnement électromagnétique		Aucun effet de rayonnement électromagnétique à l'extérieur des limites du site de KC Doel n'est attendu.

Facteurs de stress	Description spécifique du facteur de stress et/ou de la source, impact sur la santé	Argumentation expliquant pourquoi le facteur de stress, s'il est présent, n'est pas pris en compte
Facteurs de stress biologiques		
Risque d'infection	Les tours de refroidissement peuvent présenter un risque de développement de Legionella.	Le risque d'exposition à la Legionella sera évalué en fonction de l'historique de toute éventuelle contamination et des mesures de prévention existantes.
Intoxication aiguë par des toxines		Il n'y a pas de sources pertinentes de toxines associées au fonctionnement de Doel 4.
Toxicité chronique		Il n'y a pas de sources pertinentes de toxines biologiques associées au fonctionnement de Doel 4.
Allergènes		Il n'y a pas de sources pertinentes d'allergènes associées au fonctionnement de Doel 4.
Autres		
Nuisance liée à la poussière		La prolongation de la durée de vie de Doel 4 n'implique aucune activité susceptible d'engendrer des nuisances liées à la poussière.
Proximité d'espaces verts	Occupation d'espaces verts	Le projet se déroule au sein des limites de KC Doel. Le site est clôturé. Par conséquent, le site n'a actuellement aucune fonction publique. La proximité d'espaces verts n'est donc pas pertinente dans la discipline Santé humaine.
Aspects psychosomatiques	Inquiétude des riverains à cause des activités dans KC Doel (phase d'exploitation)	Une enquête sera menée pour savoir si des effets psychosomatiques peuvent survenir suite à l'exploitation du Doel 4.
	Inquiétude du public concernant l'incertitude de l'approvisionnement	L'(in)certitude de l'approvisionnement est traitée comme un thème dans ce RIE.
Effets des coupures d'électricité		L'effet possible (sur la santé) des coupures d'électricité est abordé.

3.6.2 Délimitation de la zone d'étude

La zone d'étude dans le cadre de cette discipline est définie par une zone de 5 km autour du site de Doel. Si l'analyse révèle que les effets potentiels vont plus loin, une zone plus large sera étudiée. Pour la perception, les émissions évitées, les effets d'une panne de courant et la diffusion des nuisances, nous prenons la Flandre comme zone d'étude.

3.6.3 Description de la situation de référence

Le Tableau 47 donne un aperçu des divers aspects de l'utilisation de l'espace dans la zone d'étude.

Tableau 47 : Utilisation de l'espace dans la zone d'étude de l'installation.

Utilisation de l'espace, et population	Tranche	Zone d'influence		Précision
		Nombre ou % de la zone	Distance et direction du vent jusqu'à la source	
Utilisation de l'espace				Source : Geopunt, plan de secteur, orthophoto
Crèches	Nombre	6	2 sur 4,5 km – NE 4,7 km - NE 4,8 km - NE 4,9 km - NE 4,9 km – SO	
Écoles maternelles	Nombre	3	4 km – NE 4,4 km - NE 4,9 km – NE	
Enseignement primaire	Nombre	3	4 km – NE 4,4 km - NE 4,9 km – NE	
Enseignement secondaire	Nombre	0		
Aires de jeux, résidences de vacances	Nombre	0		
Terrains de sport, terrains de scoutisme, forêt de jeux, ...	Nombre	10	4,2 km – NE 4,3 km – NE 4,5 km – NE 4,6 km - NE 4,7 km - NE 2 sur 5 km – NE 3,7 km – E 500 m – S 3 km - S	
Hôpitaux	Nombre	0		
Maisons de retraite / EHPAD	Nombre	2	4,6 km – NE 4,7 km - NE	
Zone résidentielle	% de la zone d'étude	2 %	900 m - S	Objet
Activité agricole	% de la zone d'étude	25 %	100 m - O	Zone des polders
Zone de captage d'eau : eau de surface + nappe phréatique	% de la zone d'étude	17 %	800 m - E	Escaut
Zone verte/nature	% de la zone d'étude	19 %	600 m - E	Paardenschor, Schor Ouden Doel, Galgenschoor
Zone industrielle	% de la zone d'étude	36 %	1,5 km - S	
Autres : aire de loisirs, autoroutes, installations communautaires et zone d'utilité publique	% de la zone d'étude	0,4 %		

La KC Doel est bordée par des zones de polders. Dans un rayon de 5 km autour de la zone du projet, la densité de population est assez limitée. Ce périmètre comprend une partie importante du port d'Anvers, de l'Escaut et des polders peu peuplés. Le nombre de personnes à proximité de la centrale (dans un rayon de 2000 m autour de l'installation) est très limité. Un maximum de 150 personnes vit donc à une courte distance de la centrale électrique.

Tableau 48 : Effectifs de la population dans un rayon de 2 et 5 km autour de la centrale nucléaire de Doel (source : Statbel).

	Nombre de population de secteurs statistiques dans un rayon de 2 km autour de KC Doel	Nombre de population de secteurs statistiques dans un rayon de 5 km autour de KC Doel
2014	146	10.445
2015	141	10.486
2016	136	10.521
2017	121	10.557
2018	110	10.680
2019	110	10.685

Environ 20 habitants vivent au centre du village du polder de Doel, à environ 900 m au sud de KC Doel. La population du village de Doel décline depuis de nombreuses années sous l'influence des développements portuaires et de l'insécurité du logement. Récemment, à la suite du projet ECA, les perspectives sont revenues pour la pérennité du village, qui est toujours une zone résidentielle du point de vue de la planologie. Ce que cela signifie en termes de nombre de résidents futurs est actuellement difficile à prévoir. La nuisance qui sera associée au deuxième dock à marée (Tweede Getijdendok), qui sera situé juste à côté du village, limitera probablement son attrait.

De plus, il n'y a pas de zones résidentielles à proximité immédiate de KC Doel. En revanche, il existe diverses habitations isolées et groupes résidentiels dispersés dans les polders, y compris les hameaux de polders d'Ouden Doel, Rapenburg, Saftingen et Prosperpolder. Environ 100 personnes vivent encore dans des habitations dispersées du Grote Doelpolder. Lillo se situe de l'autre côté de l'Escaut à environ 2,5 km, avec une population résidentielle d'environ 40 personnes. Dans un rayon de 5 km, la plupart des habitants se trouvent à Zandvliet (env. 3500 personnes) et Berendrecht (env. 6000 personnes).

Enfin, il faut mentionner le Havencentrum Lillo (Scheldelaan 444 – Haven 621, Lillo). Le Havencentrum se situe dans la zone portuaire, à proximité de Lillo-Fort (2,5 km en direction sud-est par rapport à KC Doel). Des formations y sont données et de grands groupes de personnes (écoles, ...) peuvent s'y trouver pendant les heures de travail.

Les abords au sens large de la centrale nucléaire se caractérisent par une forte industrialisation (zone portuaire). KC Doel se situe près de la zone portuaire d'Anvers. Cette zone portuaire contient de vastes zones industrielles de part et d'autre de l'Escaut. Les industries de la zone portuaire d'Anvers emploient directement plus de 60 000 personnes. À cela s'ajoutent les nombreux sous-traitants qui travaillent quotidiennement dans la zone portuaire d'Anvers. La présence de cette industrie entraîne une augmentation significative de la population au sein de la zone d'étude, tant de jour que de nuit, puisqu'une partie importante des entreprises produit en continu.

La zone portuaire d'Anvers se caractérise par la présence d'un cluster (péto)chimique d'une part et de terminaux à conteneurs d'autre part. Des exemples d'installations (péto)chimiques autour du site sont BASF, Ineos Manufacturing Belgium, Invoy Manufacturing Belgium, Gunvor Petroleum Antwerp et Bayer Agriculture. Sur la rive gauche se trouvent des entreprises telles que Borealis Kallo, Ineos Phenol Belgium et Ashland Specialties Belgium. De manière générale, il s'agit d'installations soumises à la directive dite SEVESO relative à la prévention des risques d'accidents majeurs pouvant être provoqués par certaines activités industrielles.

Les entreprises Seveso les plus proches se trouvent à environ 1,5 km de KC Doel. Il s'agit des entreprises longeant la Scheldelaan qui se situent sur la rive droite de la zone portuaire d'Anvers (dont Gunvor Petroleum Antwerp, Ineos Manufacturing Belgium, Invoy Manufacturing Belgium, Vesta Terminal Antwerp, Bayer Agriculture).

3.6.4 Incidences abordées

3.6.4.1 Danger d'infection à Legionella

La légionelle est une bactérie présente (habitat naturel) dans les systèmes hydrologiques (l'eau des lacs, des ruisseaux et des rivières). Dans de bonnes conditions de croissance, les bactéries peuvent se multiplier. De faibles quantités peuvent atteindre des concentrations élevées si des facteurs favorisant la croissance (conduites en fer, scellements en caoutchouc) sont présents.

Une infection par des germes de légionelle peut entraîner une légionellose. L'infection peut se produire via les poumons après avoir inhalé les bactéries contenues dans de petites gouttelettes d'eau. La formation d'aérosols se produit entre autres lors de la douche, de la pulvérisation et de la nébulisation dans une tour de refroidissement. Les germes de légionelle se développent dans l'eau à une température comprise entre 20 et 50 °C, avec un pic maximum entre 35 et 40 °C. En dessous de 20 °C, il y a inhibition ; au-dessus de 50 °C, le germe meurt. Plus la température est élevée, plus la décomposition est rapide. Les nutriments essentiels à la croissance se trouvent notamment dans un biofilm.

Une infection par des germes de légionelle peut entraîner une légionellose :

- Eau stagnante ;
- Acidité entre 5 et 8,5 ;
- Sédiment qui donne lieu à la formation d'un biofilm ;
- Présence de micro-organismes, tels que algues, flavobactéries, Pseudomonas, amibes.

Afin de lutter contre la légionelle, un cadre légal avec des normes et des règles de gestion a été élaboré en Flandre, ainsi qu'une directive pour le redémarrage des circuits de refroidissement après une période d'inactivité.

Les tours de refroidissement suivantes sont aujourd'hui présentes sur le site de KC Doel :

- 2 tours de refroidissement à recirculation ouvertes (CW) de Doel 3 et Doel 4 ;
- diverses tours de refroidissement auxiliaires de D3/D4 et TED ;
- tours de refroidissement de D1/2.

Cependant, la tour de refroidissement de Doel 3 n'est plus active, car ce réacteur a été arrêté en septembre 2022.

En raison de la présence de tours de refroidissement ouvertes, l'arrêté anti-légionelle (arrêté du Gouvernement flamand du 09/02/2007) s'applique à KC Doel. Cet arrêté détermine les mesures de lutte contre la *Legionella pneumophila* pour prévenir la maladie des légionnaires.

Selon l'arrêté, KC Doel doit établir un plan de gestion comprenant une description de l'installation, une analyse des risques et des mesures de prévention. Ce plan de gestion est évalué et éventuellement ajusté à chaque modification de l'installation susceptible d'affecter le risque de développement de légionelles, et au minimum tous les cinq ans.

Les tours de refroidissement à recirculation ouvertes de Doel 4 ainsi que les tours de refroidissement auxiliaires de D3 / D4 et le TED utilisent l'eau de l'Escaut. Étant donné qu'il s'agit d'eau saumâtre, ces tours de refroidissement ne présentent pas de risque de contamination à Legionella suite à la forte teneur en sel.

Seules les tours de refroidissement auxiliaires de Doel 1/2 sont maintenues à niveau avec de l'eau de ville. Conformément au plan de gestion, ces tours de refroidissement auxiliaires sont échantillonnées et analysées au moins deux fois par an pour détecter la présence de Legionella. Si, exceptionnellement, la valeur limite de l'arrêté est dépassée, les mesures nécessaires sont prises (nettoyage, augmentation du biocide) et de nouveaux contrôles sont effectués.

Pour autant que l'on sache, aucune contamination à Legionella n'est jamais survenue suite au fonctionnement des tours de refroidissement de KC Doel. On peut donc conclure que, pour autant que le plan de gestion soit appliqué, le risque de contamination à Legionella à partir des tours de refroidissement est négligeable dans la situation actuelle.

Dans une situation de prolongation de la durée de vie, seule la tour de refroidissement de Doel 4 et les tours de refroidissement auxiliaires associées sont encore actives. Comme décrit ci-dessus, le risque d'infection à Legionella pour ces tours de refroidissement est inexistant, car elles sont alimentées avec de l'eau saumâtre de l'Escaut. Il n'y a donc pas de différence entre la situation avec et sans la prolongation de la durée de vie de Doel 4.

3.6.4.2 Aspects psychosomatiques et perception du risque

Les troubles psychosomatiques peuvent aller de pair avec la perception du risque. Les effets « psychosomatiques » font référence à d'éventuels troubles physiques ayant une cause psychologique ou non médicale. Dans le cas des effets « psychosomatiques », la cause directe n'est pas toujours claire. Elle est toujours basée sur une combinaison de facteurs. Les problèmes psychologiques sont pour la plupart des réactions humaines compréhensibles à des situations spécifiques et ne sont pas simplement une réaction biomédicale, génétique, neurologique ou une maladie du cerveau.

Les données sur l'apparition de troubles psychosomatiques à la suite de l'exploitation spécifique de la centrale nucléaire de Doel ne sont pas disponibles. En revanche, des données sont disponibles à partir de sondages et d'enquêtes auprès de la population générale belge sur l'attitude (y compris la perception des risques) vis-à-vis de l'énergie nucléaire, de la technologie nucléaire et des centrales nucléaires en Belgique.

Une étude réalisée par IPSOS en novembre 2011 à la demande de Greenpeace (représentative de la population belge) indique que 76 % des personnes interrogées sont « d'accord ou tout à fait d'accord » avec le choix d'investir dans les sources d'énergie renouvelables plutôt que de prolonger la durée de vie des centrales nucléaires. 14 % étaient en désaccord avec ce choix. 66 % étaient d'accord à tout à fait d'accord avec la fermeture des plus anciennes centrales nucléaires en 2016, comme prévu, et 22 % n'étaient pas d'accord.

Depuis 2002, le SCK CEN étudie la perception publique des risques liés aux radiations et les attitudes à l'égard de l'énergie nucléaire. L'enquête s'effectue principalement via le « Baromètre SCK CEN » Il s'agit d'une large enquête auprès de la population (plus de 1 000 personnes), représentative des Belges adultes (18+), répartie sur les provinces, les régions, le niveau d'urbanisation, le sexe, l'âge et le statut d'emploi.

Les baromètres SCK CEN incluent des sujets récurrents tels que la perception des différents risques radiologiques, la confiance dans les acteurs du secteur nucléaire et les opinions sur l'utilisation de l'énergie nucléaire, mais aussi des questions plus détaillées sur des sujets spécifiques.

Le baromètre SCK CEN indique qu'en 2018, la pollution de l'environnement et l'utilisation non conforme de la technologie nucléaire sont les plus grandes préoccupations de la population : 61 % considèrent que la pollution de l'environnement est un risque élevé ou très élevé dans les 20 prochaines années, et 54 % considèrent que l'utilisation abusive potentielle des technologies nucléaires par des terroristes est un risque élevé ou très élevé. Dans la même étude, la moitié de la population considère qu'un potentiel accident nucléaire et les déchets radioactifs représentent un risque élevé à très élevé pour leur santé dans les 20 prochaines années. Il existe un consensus général sur la nécessité de réduire le nombre de centrales nucléaires. La confiance dans les autorités par rapport aux mesures qu'elles prennent afin de protéger la population contre les risques d'accident nucléaire diminue entre 2013 et 2018.

Concernant l'avenir de l'énergie nucléaire en Belgique, la majorité de la population considère que la réduction du nombre de centrales nucléaires en Belgique est une bonne chose (71 % sont d'accord ou tout à fait d'accord) et pense que les centrales nucléaires sont un danger pour l'avenir de leurs enfants (64 %). D'autre part, plus de la moitié de la population pense que les énergies renouvelables ne suffisent pas pour répondre aux besoins énergétiques actuels. Un Belge sur quatre pense en 2018 que l'énergie nucléaire est une technologie respectueuse du climat, mais la moitié des Belges sont d'un avis contraire.

En 2015, 38 % de la population belge se disaient prêts à payer plus pour promouvoir l'utilisation des énergies renouvelables, contre 45 % de la population qui n'étaient pas disposés à le faire (Baromètre SCK CEN 2015) ; en 2018, 49 % étaient prêts à le faire, contre 40 % qui ne l'étaient pas. En outre, 42 % des personnes interrogées estiment que les énergies renouvelables ne sont pas suffisantes pour répondre aux besoins énergétiques actuels, tandis que 35 % pensent que c'est possible ; en 2018, ces pourcentages étaient respectivement de 55 % et 29 %.

De manière similaire aux résultats concernant les avis sur l'énergie nucléaire, 37 % estiment que les avantages de l'énergie nucléaire l'emportent sur les inconvénients. 36 % de la population sont d'un avis contraire.

En 2018 (Baromètre SCK CEN, données représentatives 18+ de la population belge), environ 33 % étaient favorables à l'exploitation des centrales nucléaires existantes sans remplacement à la fin de leur exploitation (contre 40 % en 2015 et 57 % en 2013). La proportion de la population qui est favorable à la construction de nouvelles centrales et au maintien ou à la fermeture des centrales existantes est égale (environ 30 %) à la proportion de la population qui pense que toutes les centrales nucléaires devraient être fermées le plus rapidement possible sans être remplacées. Plus précisément, 11 % pensent que la Belgique devrait fermer ses centrales nucléaires et en construire de nouvelles, et 19 % disent que la Belgique devrait exploiter ses centrales nucléaires actuelles et en construire de nouvelles pour remplacer les anciennes.

Environ la moitié de la population belge considère les risques liés aux accidents nucléaires comme élevés à très élevés. Une grande partie de la population (75 %) estime que même une faible dose résultant d'un accident nucléaire est nocive pour la santé publique.

Les avis sur l'utilisation de l'énergie nucléaire pour la production d'électricité sont uniformément partagés en 2018 entre favorables et défavorables. Par rapport aux années précédentes, les opinions sont plus polarisées en 2018 (avec moins de répondants indécis). Un Belge sur deux (49 %) est prêt à payer plus cher pour l'électricité en faveur de l'utilisation des énergies renouvelables. Une proportion similaire de la population (55 %) pense que les énergies renouvelables ne peuvent pas répondre aux besoins énergétiques actuels.

Les observations ci-dessus donnent une vue mitigée ; il est en tous cas impossible de déterminer si l'utilisation de l'énergie nucléaire ou l'existence de centrales nucléaires donne lieu à des troubles psychosomatiques ou psychosociaux spécifiques. Toutefois, on peut supposer que ces troubles, le cas échéant, seraient principalement liés à la production d'électricité nucléaire en général, plutôt qu'au fonctionnement ou au non-fonctionnement de la tranche nucléaire spécifique Doel 4.

Bien qu'une partie importante de la population s'inquiète d'un accident nucléaire, il n'existe aucune donnée démontrant que ce risque élevé perçu provoque également des effets psychosomatiques. On ne sait rien de la situation spécifique concernant le site de KC Doel, encore moins Doel 4. On peut en revanche supposer qu'avec une prolongation de la durée de vie de Doel 4, la perception du risque (parmi les résidents locaux et au-delà) persistera également pendant dix ans de plus ; même si cette perception du risque aura diminué, car trois des quatre réacteurs de Doel (et deux des trois de Tihange) seront fermés. Étant donné qu'il n'y a pas d'indications concrètes que la perception du risque donne effectivement lieu à des troubles psychosomatiques, qui peuvent être spécifiquement attribués à l'exploitation des centrales nucléaires, on peut supposer que l'effet de la perception du risque sur la prolongation de la durée de vie ne donne pas lieu à des troubles psychosomatiques attribuables.

Il est évident que la population s'inquiète également de la pénurie ou de l'insuffisance de disponibilité de l'énergie. Dans l'étude IPSOS (2011) précitée, 31 % des personnes interrogées ont indiqué qu'elles étaient préoccupées par un éventuel black-out si les réacteurs nucléaires devaient progressivement être mis hors service entre 2015 et 2025, cependant, une majorité (55 %) ne partageait pas cette inquiétude. À notre connaissance, des données comparables ne sont pas disponibles pour la situation actuelle. Cependant, le risque de pénurie étant devenu beaucoup plus concret depuis lors, en partie en raison du contexte géopolitique, on peut supposer que la part des personnes qui s'inquiètent de la sécurité d'approvisionnement est plus élevée aujourd'hui qu'en 2011.

3.6.4.3 Sûreté externe (accidents non nucléaires)

La centrale nucléaire de Doel est une installation classée Seveso seuil bas. Cela signifie que les substances dangereuses sont présentes en quantités supérieures au seuil bas, mais inférieures au seuil haut. Par présence, on entend : tant la présence effective ou anticipée dans les installations d'entreposage, dans les installations de processus, dans les conduites ou autres (comme matière première, produit intermédiaire, catalyseur, solvant, produit final, ...), que la présence qui peut survenir lors d'un processus chimique industriel devenu hors de contrôle. Le test Seveso révèle que la centrale nucléaire de Doel est une installation à seuil bas en raison de la quantité de gazole entreposée.

Dans le cadre du RIE pour le renouvellement de licence, une évaluation des risques humains externes et des risques environnementaux pour les substances Seveso présentes a été réalisée en 2010 (Tractebel Engineering, 9/07/2010). Les principaux résultats sont résumés ci-dessous.

Les installations suivantes contiennent des substances dangereuses (en l'occurrence des substances Seveso) :

- installations de gazole : réservoirs de stockage pour les installations de sécurité et d'urgence des unités de production Doel 1, 2, 3 et 4, pour l'installation de chauffage de l'entrepôt, pour les chaudières à vapeur auxiliaires et pour le garage ;
- installations d'hydrogène : circuit de refroidissement à l'hydrogène des alternateurs des unités de production Doel 1, 2, 3 et 4 ;
- installations d'hydrazine (4,9 %) : réservoirs de stockage des unités de production Doel 1, 2, 3 et 4 ;
- installations avec solution aqueuse de chromate de potassium⁷⁴, comme agent de conditionnement dans le circuit de refroidissement fermé : réservoirs tampons pour les unités de production Doel 1/2, 3 et 4 et pour l'unité de conditionnement d'eau TED.

Les risques humains externes d'un accident majeur ont été estimés quantitativement au moyen d'une analyse quantitative des risques (AQR). Seuls les produits ayant des propriétés (toxiques, inflammables, explosives) pouvant influencer le risque humain externe ont été inclus dans cette analyse. Les solutions de chromate de potassium, par exemple, ne sont pas abordées dans ce paragraphe, car elles sont dangereuses pour l'environnement.

Les distances maximales d'effet (la plus grande distance à 1 % de létalité) ont été calculées pour :

- rayonnement thermique ;
- effets de surpression ;
- vapeurs toxiques.

La distance d'effet maximale calculée pour les installations à hydrogène était de 84 m avant une explosion ; la distance d'effet maximale pour le feu dans l'encuvement d'un réservoir de gazole a été calculée à 30 m.

Ces distances d'effet ne s'étendent pas au-delà des limites du site. Le risque humain externe (risque pour les personnes présentes à l'extérieur de l'installation) est donc négligeable dans la situation actuelle.

Avec une prolongation de la durée de vie de Doel 4, les risques de sûreté externes non nucléaires seront beaucoup plus faibles qu'aujourd'hui, car de nombreux stocks de substances dangereuses seront considérablement réduits. La fermeture des trois autres réacteurs du site conduira notamment à la mise hors service d'une partie importante des incinérateurs, et donc à une réduction des stocks de gazole entreposés.

Bien entendu, le risque humain externe sera théoriquement plus élevé lors d'une éventuelle prolongation de la durée de vie de Doel 4 que sans cette prolongation de la durée de vie, même si de nombreuses substances dangereuses seront bien évidemment toujours présentes sur le site même si tous les réacteurs sont complètement arrêtés, par exemple dans le cadre du démantèlement. Cependant, puisqu'il a été démontré que le risque humain externe est également négligeable dans la situation actuelle, cela s'applique naturellement aussi (et d'autant plus) à une situation avec prolongation de la durée de vie de Doel 4. Nous concluons que la sûreté externe n'est pas un facteur distinctif dans une éventuelle prolongation de la durée de vie de Doel 4.

3.6.4.4 Effets (évités) sur la santé d'une coupure d'électricité.

La prolongation de la durée de vie de Doel 4 vise à assurer la sécurité d'approvisionnement, en prévision d'une situation dans laquelle cette sécurité d'approvisionnement pourra être garantie en utilisant d'autres sources d'énergie.

⁷⁴ En 2010, les réservoirs tampons contenaient encore des concentrations allant jusqu'à 16,8 % de chromate de potassium. Cependant, dans le cadre de REACH, l'utilisation du chromate de potassium est interdite depuis le 21/9/2017 (sauf autorisation ou dérogation obtenue). Pour cette raison, l'appoint des installations n'est plus effectué avec ces concentrations et les concentrations restent inférieures à 1% (les solutions inférieures à 1% échappent à la régulation).

La prolongation de la durée de vie réduit donc considérablement le risque de coupure d'électricité (et les effets associés sur la santé). Les coupures d'électricité peuvent en effet entraîner des coûts économiques et sociétaux potentiellement importants.

Dans une étude menée en 2014 par le Bureau fédéral du Plan, une évaluation quantitative de l'effet des coupures d'électricité en Belgique a été réalisée, sur la base d'un modèle autrichien (Black-out Simulator). Une panne d'électricité d'une heure sur le territoire belge pendant une journée de travail, à un moment où toutes les entreprises belges sont actives, causerait un préjudice socio-économique total d'environ 120 millions d'euros (en hiver comme en été). Certaines méthodes alternatives ont également été calculées et ont abouti à une fourchette comprise entre 61 millions d'euros (« méthode du PIB ») et 278 millions d'euros (« méthode du RTE »). Le préjudice économique mentionné comprend le préjudice subi par les ménages, qui ne s'élève cependant qu'à « seulement » 8 millions d'euros par heure. Le secteur industriel représente la part la plus importante du coût total avec 49 % ; le secteur tertiaire représente quant à lui environ 40 % du coût. Le modèle utilisé a également permis la répartition spatiale des dommages calculés. Il en est ressorti que la province d'Anvers enregistrait de loin la plus grande perte (24,74 millions d'euros, soit près de 21 % du total), suivie de loin par la Région de Bruxelles-Capitale (15,67 millions d'euros, soit 13 %).

Il est important de noter que cette estimation a toujours été basée sur une interruption d'une heure. L'impact d'une panne de deux heures n'est pas nécessairement double. Les chiffres du simulateur l'indiquent également : les dommages d'une panne de deux heures pour l'ensemble de la Belgique s'élèvent à « seulement » 170 millions d'euros (soit 42 % de plus qu'une panne d'une heure). Cependant, plus une perturbation dure longtemps, plus ses effets augmentent linéairement avec le temps, et après environ 8 heures, les dommages augmentent de façon exponentielle. Une panne de plus de 8 heures peut être considérée comme une situation de catastrophe : le nombre et surtout la gravité des conséquences seront alors difficiles à surveiller (et à estimer).

Il est évident que les pertes économiques ci-dessus impliquent également des risques pour la santé.

Les pannes de courant peuvent affecter le fonctionnement des services d'urgence. Tous les hôpitaux disposent de systèmes d'alimentation électrique de secours pour prendre en charge les activités les plus critiques telles que les salles d'OP, les unités de soins intensifs, les salles d'urgence, etc. Selon l'établissement, les systèmes d'alimentation électrique de secours peuvent ne pas être en mesure de prendre en charge certains autres services, notamment rayons x, climatisation, refroidissement, ascenseurs, etc. De plus, des problèmes techniques peuvent survenir avec les générateurs auxiliaires, comme en témoigne la coupure d'électricité de New York en 1977. Certains hôpitaux ont eu des difficultés à mettre les générateurs en ligne et ont été confrontés à la surchauffe de générateurs.

Les facteurs qui déterminent cet effet comprennent notamment des paramètres directs, comme la durée ou la fréquence, et d'autre part des paramètres contextuels, comme la température extérieure et l'échelle. Des problèmes de sûreté apparaissent également en cas de panne de courant, mais ils ne font pas l'objet de la discipline Santé. Des problèmes de sûreté classiques peuvent survenir dans les hôpitaux, les ascenseurs, les embouteillages, etc. Une importante étude (Dominianni 2018) rapporte les effets sur la santé d'une coupure d'électricité, basée sur trois événements. Dans deux des trois coupures d'électricité, le contexte est aussi déterminant ; les coupures d'électricité ont eu lieu pendant une canicule. Les effets basés sur cette étude comprennent des problèmes respiratoires et probablement une augmentation de la mortalité. Les coupures d'électricité pendant les vagues de chaleur peuvent entraîner des insuffisances rénales. En cas de froid extrême, cela conduit à des causes plus générales de décès et de maladies cardiaques.

Casey et al. (2020) concluent, sur la base d'une méta-analyse complète, que les pannes de courant ont des impacts importants sur la santé allant de l'empoisonnement au monoxyde de carbone, des maladies liées à la température, des maladies gastro-intestinales et de la mortalité aux hospitalisations toutes causes confondues, cardiovasculaires, maladies respiratoires et rénales, en particulier pour les personnes dépendantes d'équipements médicaux dépendants de l'électricité.

Il est donc évident que la réduction du risque de coupures d'électricité associées au projet réduit également le risque d'effets négatifs associés sur la santé, et peut donc être évaluée positivement.

3.6.5 Résumé des principales conclusions

Le projet (la prolongation de 10 ans de la durée de vie du réacteur de Doel 4) n'a pas de conséquence significative sur la santé. Sur la base d'un screening préliminaire, seuls les effets liés à la Legionella, les éventuels aspects psychosomatiques associés à la perception du risque et les effets sur la santé évités susceptibles d'être associés à une coupure d'électricité pourraient être considérés comme potentiellement pertinents.

L'analyse ci-dessus révèle que la légionelle ne peut pas poser de problème compte tenu de l'eau saumâtre utilisée pour alimenter les tours de refroidissement de Doel 4. En ce qui concerne la perception du risque en matière d'accidents nucléaires, on peut affirmer que la perception du risque existe, mais qu'il n'y a pas de lien démontrable avec les effets psychosomatiques. Enfin, on peut confirmer que la prolongation de la durée de vie de Doel 4 réduit sensiblement les risques de coupure d'électricité (en particulier dans les premières années de la prolongation de la durée de vie), ayant donc un effet positif pour éviter les effets sur la santé qui sont susceptibles d'être associés aux coupures d'électricité.

3.6.6 Mesures d'atténuation

Les mesures d'atténuation ne sont pas à l'ordre du jour pour cette discipline.

3.6.7 Lacunes dans les connaissances et surveillance

Il n'y a pas de lacunes importantes dans les connaissances. Les différentes relations dose-effet, et les causes qui peuvent être à la base d'éventuels effets sur la santé, sont suffisamment connues.

3.7 Effets transfrontières

La plupart des effets non radiologiques attribuables à la prolongation de la durée de vie de Doel 4 se limitent aux abords immédiats de la centrale nucléaire, sont d'une ampleur limitée et n'entraînent donc pas d'effets transfrontières. Ce n'est que pour la discipline Eau qu'il peut être question d'effets transfrontières (limités).

Sur la base de la surveillance (2012^{lxiii}) de l'influence de la température de l'eau de refroidissement de KC Doel sur l'Escaut à hauteur de la frontière néerlandaise (à environ 3,4 km du point de rejet), l'influence du rejet de l'eau de refroidissement peut tout au plus être considérée comme négative limitée (c'est-à-dire que l'augmentation de la température due au rejet sera inférieure à 1°C). Cette augmentation de la température continuera à diminuer lentement en aval sur le territoire néerlandais.

Il convient de noter que divers effets transfrontières ne peuvent être exclus dans la situation de référence, si aucune prolongation de la durée de vie n'a lieu et que d'autres moyens de production doivent donc être utilisés pour déployer la capacité de Doel 4. L'importance et la nature de ces effets transfrontières dépendront dans une large mesure des endroits où la capacité de remplacement (théorique) est prévue, des caractéristiques techniques de ces installations et de leurs conditions d'autorisation.

4 Effets radiologiques Doel 4

4.1 Rayonnement direct et rejets en fonctionnement normal

4.1.1 Situation actuelle

Comme évoqué dans la méthodologie générale (cf. § 2.3.3), l'exposition potentielle aux rayonnements pour l'homme et l'environnement en fonctionnement normal est liée au rayonnement direct de la radioactivité présente sur le site et au rayonnement provenant du site et aux rejets gazeux et liquides des effluents contenant certaines concentrations de radioactivité. Nous décrivons ici la situation actuelle pour KC Doel.

Rayonnement direct

Le réseau TELERAD exploité par la FANC-AFCN mesure en continu le rayonnement présent dans l'environnement (voir § 2.3.5). Pour le site de KC Doel en particulier, le réseau TELERAD est constitué de 18 stations annulaires placées le long du périmètre du site et d'environ 16 stations dans une zone plus large autour de KC Doel (stations d'agglomération). Les stations annulaires sont des stations spectroscopiques qui enregistrent non seulement le débit de dose, mais aussi les spectres gamma (ils mesurent également l'énergie du rayonnement gamma). Cela permet d'identifier les radionucléides spécifiques/typiques liés à l'exploitation de KC Doel s'ils sont présents. Toutes les stations relèvent le débit de dose (taux d'équivalent de dose ambiant $H^*[10]$), effectuent des relevés précis à des débits de dose fortement accrus (situations accidentelles) et sont capables de relever avec précision les niveaux de fond, lesquels permettent d'observer la variation du rayonnement de fond naturel au fil du temps (par exemple, pendant la pluie, une augmentation du rayonnement de fond dus au lessivage des descendants du radon radioactif naturel dans l'air), ainsi que d'estimer la dose annuelle de rayonnement gamma externe à l'emplacement de chaque station.

Outre le rayonnement naturel de l'environnement, les stations annulaires peuvent capturer le rayonnement direct de la radioactivité et le rayonnement sur le site et provenant du site ainsi que celui des rejets radioactifs. La Figure 65 illustre la dose annuelle⁷⁵ enregistrée par les stations annulaires. Le Tableau 49 indique les données pour toutes les années considérées. On voit que les valeurs moyennes varient entre 0,66 et 0,80 mSv par an pour les différentes stations annulaires. Ces valeurs correspondent aux valeurs typiques du rayonnement de fond en Flandre, qui est d'environ 0,7 mSv/an (0,3 mSv/an rayonnement cosmique et 0,4 mSv/an rayonnement terrestre). Les variations peuvent être attribuées à la radioactivité naturelle à proximité immédiate de chaque station. Étant donné que ces stations relèvent le rayonnement tant naturel qu'artificiel, il ne peut être exclu qu'une contribution, pourtant très faible et s'inscrivant dans les variations du fond naturel, provienne de l'exploitation de KC Doel. Le lecteur attentif aura remarqué que les doses annuelles du côté est du site sont généralement légèrement inférieures à celles du côté ouest du site. Cela est probablement dû au fait que les stations du côté est bordent l'Escaut. Les eaux de rivière et de mer contiennent beaucoup moins de radioactivité que la radioactivité naturelle présente sur terre. Les stations les plus dosées (0,85 et 0,77 mSv) se situent à proximité du bâtiment de traitement des eaux et des déchets (TED). Des augmentations dues à l'entreposage de la radioactivité sont possibles, mais ne se distinguent pas des variations naturelles à ces endroits.

Dans tous les cas, ces relevés montrent que la dose de rayonnement externe est bien inférieure à la limite légale de 1 mSv/an et ne peut être distinguée des variations locales du fond naturel.

⁷⁵ La dose annuelle moyenne a été calculée pour chaque station annulaire TELERAD en déterminant le débit de dose moyen à partir des données sur 10 minutes pour chaque année de la période et en multipliant cela par un facteur (365,25*24) pour le nombre moyen d'heures dans une année, et en prenant ensuite la moyenne sur les différentes années.



Figure 65 : Dose annuelle en mSv (moyenne sur la période 2015 à 2022 inclus) mesurée par les stations TELERAD exploitées par la FANC-AFCN autour du site de KC Doel (Figure basée sur les données 10 minutes obtenues auprès de la FANC-AFCN).

Tableau 49 : Dose annuelle en mSv du rayonnement externe enregistrée par les 18 stations TELERAD autour du site de Doel (Données basées sur les données FANC-AFCN 10 minutes). La moyenne et l'écart type sont également donnés.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Moyenne	Écart type
BE401	0,724	0,731	0,736	0,752	0,761	0,750	0,736	0,719	0,739	0,014
BE402	0,726	0,723	0,727	0,721	0,707	0,705	0,715	0,706	0,716	0,008
BE403	0,728	0,748	0,746	0,743	0,732	0,722	0,709	0,703	0,729	0,016
BE404	0,836	0,839	0,846	0,861	0,856	0,850	0,843	0,845	0,847	0,008
BE405	0,745	0,720	0,723	0,734	0,743	0,741	0,731	0,730	0,733	0,009
BE406	0,690	0,687	0,693	0,714	0,711	0,703	0,708	0,713	0,702	0,010
BE407	0,738	0,767	0,760	0,756	0,796	0,794	0,766	0,747	0,765	0,019
BE408	0,731	0,736	0,742	0,745	0,733	0,732	0,730	0,733	0,735	0,005
BE409	0,714	0,718	0,728	0,750	0,760	0,764	0,759	0,760	0,744	0,019

BE410	0,822	0,762	0,751	0,749	0,748	0,760	0,721	0,729	0,755	0,029
BE411	0,719	0,717	0,712	0,723	0,705	0,692	0,689	0,689	0,706	0,013
BE412	0,722	0,726	0,731	0,747	0,728	0,726	0,725	0,728	0,729	0,007
BE413	0,683	0,689	0,689	0,693	0,700	0,734	0,740	0,729	0,707	0,022
BE414	0,693	0,699	0,699	0,710	0,685	0,674	0,674	0,676	0,689	0,013
BE415	0,695	0,732	0,728	0,728	0,712	0,702	0,698	0,696	0,711	0,015
BE416	0,708	0,786	0,717	0,725	0,722	0,698	0,693	0,696	0,718	0,028
BE417	0,704	0,713	0,714	0,720	0,718	0,711	0,703	0,701	0,710	0,007
BE418	0,685	0,667	0,665	0,652	0,653	0,653	0,650	0,653	0,660	0,011

Dans le cadre d'un exercice de plan fédéral d'urgence, le 7 octobre 2021, en collaboration entre le SCK CEN, l'IRE, la Défense, la FANC-AFCN et en concertation avec l'exploitant de KC Doel, un vol en hélicoptère a été effectué au-dessus de KC Doel et de ses abords avec équipements radiologiques à bord spécifiquement destinés à cartographier la contamination après un accident. Ces équipements, composés de 4 détecteurs de NaI(Tl) de 4 litres, sont suffisamment sensibles pour détecter des variations du fond naturel ou pour détecter des sources artificielles de radioactivité. Les résultats de ces relevés (deux vols dans deux directions : nord-sud et est-ouest au-dessus de KC Doel et ses abords) sont présentés dans la Figure 66. Cette Figure illustre le débit de dose en $\mu\text{Sv/h}$ ($\mu\text{Sv/heure}$) tel qu'enregistré chaque seconde le long de la trajectoire de l'hélicoptère, corrigé pour la hauteur au-dessus du terrain, de sorte que ce débit de dose corresponde à la valeur à laquelle une personne est exposée au sol. Aucune valeur n'a été donnée au-dessus de l'Escaut, puisqu'il s'agit d'un large fleuve, la valeur mesurée - qui était partout très faible - depuis l'hélicoptère n'est pas représentative de la valeur d'une personne près de la surface de l'eau (par exemple sur un bateau). Étant donné que l'eau contient beaucoup moins de radioactivité naturelle que le sol, le débit de dose au-dessus d'une surface d'eau provient presque exclusivement des rayons cosmiques et est généralement de $0,03 \mu\text{Sv/h}$. Vous pouvez également voir un effet de l'Escaut au-dessus des terres, les valeurs sont plus faibles le long des rives de l'Escaut que celles à une plus grande distance de l'Escaut. Les débits de dose sur terre et sur le site de KC Doel varient entre $0,053 \mu\text{Sv/h}$ et $0,090 \mu\text{Sv/h}$. Cela correspond à une dose de rayonnement externe de $0,46 \text{ mSv}$ à $0,79 \text{ mSv/an}$ si l'on considère cette valeur comme représentative d'une année complète. L'étalement est ici un peu plus important par rapport aux relevés TELERAD, puisqu'il s'agit de données mesurées sur 1 seconde seulement, alors que les données TELERAD sont des moyennes sur plusieurs années. Il ne pleuvait pas au moment des relevés en hélicoptère et les quatre réacteurs étaient opérationnels au moment du vol. La plage de valeurs est cohérente avec les valeurs de fond typiques, les couleurs et l'échelle utilisées sont choisies pour visualiser de petites différences. Aucune augmentation n'est donc mesurée lors du survol des réacteurs, la valeur moyenne sur le site n'est pas supérieure à la valeur moyenne hors site. La valeur maximale mesurée se situe au-dessus du site de KC Doel et l'emplacement correspond à un bâtiment où sont traités des effluents/déchets radioactifs. Bien qu'en plus de mesurer le débit de dose, les équipements permettent également de l'identifier et donc de déterminer s'il s'agit d'un rayonnement naturel ou artificiel, compte tenu de l'augmentation très limitée du débit de dose, il fut toutefois impossible de démontrer avec certitude qu'il s'agit ici d'un rayonnement provenant d'une radioactivité artificielle.

Associés aux relevés TELERAD, ces relevés en hélicoptère montrent que la radioactivité et le rayonnement dans les différents réacteurs et bâtiments auxiliaires des sites de KC Doel sont très bien blindés.

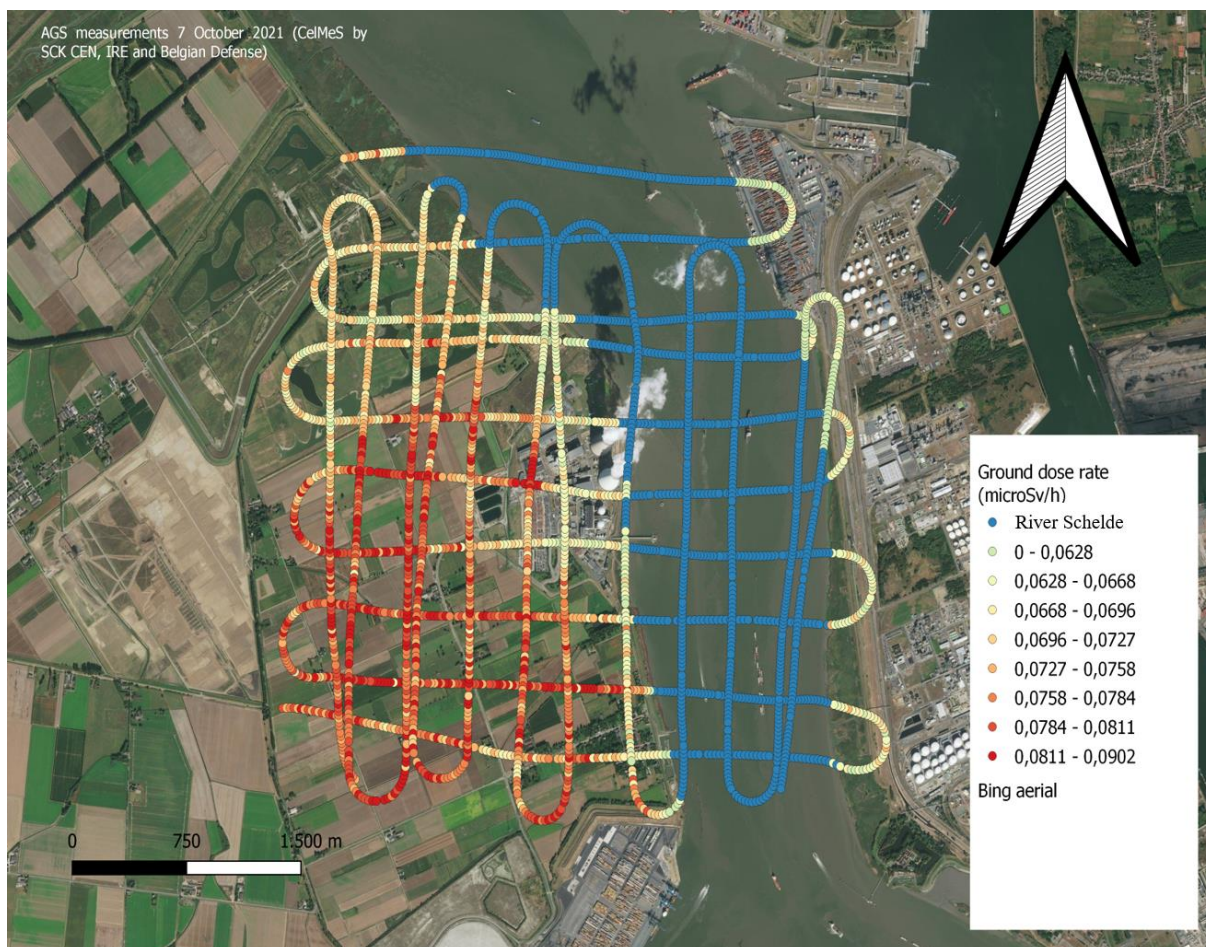


Figure 66 : Résultat des relevés en hélicoptère au-dessus du site de KC Doel et des abords. Le débit de dose mesuré à partir de l'hélicoptère est indiqué, mais corrigé en fonction de la hauteur au-dessus du sol pour obtenir l'exposition (débit de dose) au sol. Pour plus d'explications : voir le texte ; les couleurs et l'échelle ont été choisies pour mettre en évidence les différences mineures. Les variations s'inscrivent dans les variations naturelles du rayonnement de fond auxquelles on peut s'attendre sur ces abords.

Rejets atmosphériques

Les rejets atmosphériques ont pour origine et/ou sont attribuables aux processus suivants :

- Déchets gazeux (GW)
 - Les dégazages du circuit primaire sont stockés dans des réservoirs de désintégration du système de traitement des gaz résiduels ; ceux-ci sont rejetés après une période de désintégration ;
- Bâtiment Réacteur (BR) ou espace annulaire (EA)
 - Évacuation du gaz initialement transféré du bâtiment du réacteur ou de l'espace annulaire par un système de purification de l'air ;
- Décharge intermittente (DIS)
 - Rejet intermittent, principalement involontaire ou forcé, qui se produit via une sortie de ventilation nucléaire. Il s'agit de rejets planifiés (à l'exception des rejets d'essai de l'I-131). Cette catégorie est utilisée pour les pics excédant les rejets continus dont l'origine est difficile ou impossible à déterminer ;
- Évacuation continue
 - Évacuation continue de diverses sources non contrôlables se produisant via la ventilation nucléaire ;

- Tests d'iode
 - Rejets d'I-131 pendant les tests d'iode. Tous les filtres à charbon sont périodiquement testés avec de l'iode radioactif, à savoir I-131.

Les rejets atmosphériques sont surveillés en permanence. Cette surveillance consiste à :

- Gaz nobles :
 - Intégration de relevés en continu ou de spectrométrie pour les rejets volontaires ;
 - Spectrométrie pour % part de Kr-85 ;
- I-131 et aérosols :
 - Spectrométrie sur le filtre de collecte hebdomadaire
 - Analyse alpha global et Sr-89 et Sr-90 sur le filtre de collecte mensuel
- Tritium : analyse mensuelle d'un échantillon représentatif

Comme décrit au § 2.3.3.2, il existe des limites de rejets pour le site de KC Doel pour différents groupes de radionucléides. Le Tableau 50 présente les limites de rejets à l'échelle du site de KC Doel en activité totale annuelle (c'est-à-dire 12 mois glissants) pour les différents groupes de radionucléides et/ou les radionucléides individuels, comme également spécifié dans la licence d'exploitation de KC Doel^{lxiii}. L'exploitant doit également remettre mensuellement à la FANC-AFCN un aperçu des rejets. Par ailleurs, il existe également des limites d'exploitation spécifiques pour les concentrations instantanées pour les différentes tranches (voir Tableau 51).

Tableau 50 : Limites de rejets à l'échelle du site de KC Doel en activité totale annuelle (12 mois glissants) pour différents groupes ou radionucléides individuels surveillés (licence d'exploitation KC Doel).

Type	Limites de rejets - spécifications techniques
Gaz nobles	2960 TBq
I-131	14,8 GBq
Aérosols (bêta-gamma et alpha)	148 GBq
Tritium	88,8 TBq

Tableau 51 : Limites de rejets atmosphériques instantanés pour les tranches Doel 1 et 2, Doel 3 et 4 et le bâtiment de traitement des eaux et des déchets (TED).

Type	Doel 1 et 2	Doel 3 & 4		TED
		Main vent	Reactor vent	
Gaz nobles (MBq/m ³)	148	111	185	148
Aérosols (MBq/m ³)	7,4.10 ⁻³	1,11.10 ⁻¹	2,22.10 ⁻¹	1,48.10 ⁻²
Iode-131 (MBq/m ³)	2,59.10 ⁻⁶	1,85.10 ⁻⁴	3,70.10 ⁻⁴	2,59.10 ⁻⁶

Il convient de noter que les rejets de carbone-14 (¹⁴C) et d'argon-41 (⁴¹Ar) ne sont pas surveillés, car ils sont difficiles à mesurer, et sont déterminés de manière prudente sur la base de la puissance du réacteur (voir § 2.3.3.2). Bien que seul l'iode 131 soit surveillé et fasse l'objet d'un rapportage, d'autres isotopes de l'iode, en particulier l'iode 133 (¹³³I), sont calculés sur la base des relevés de l'iode 131.

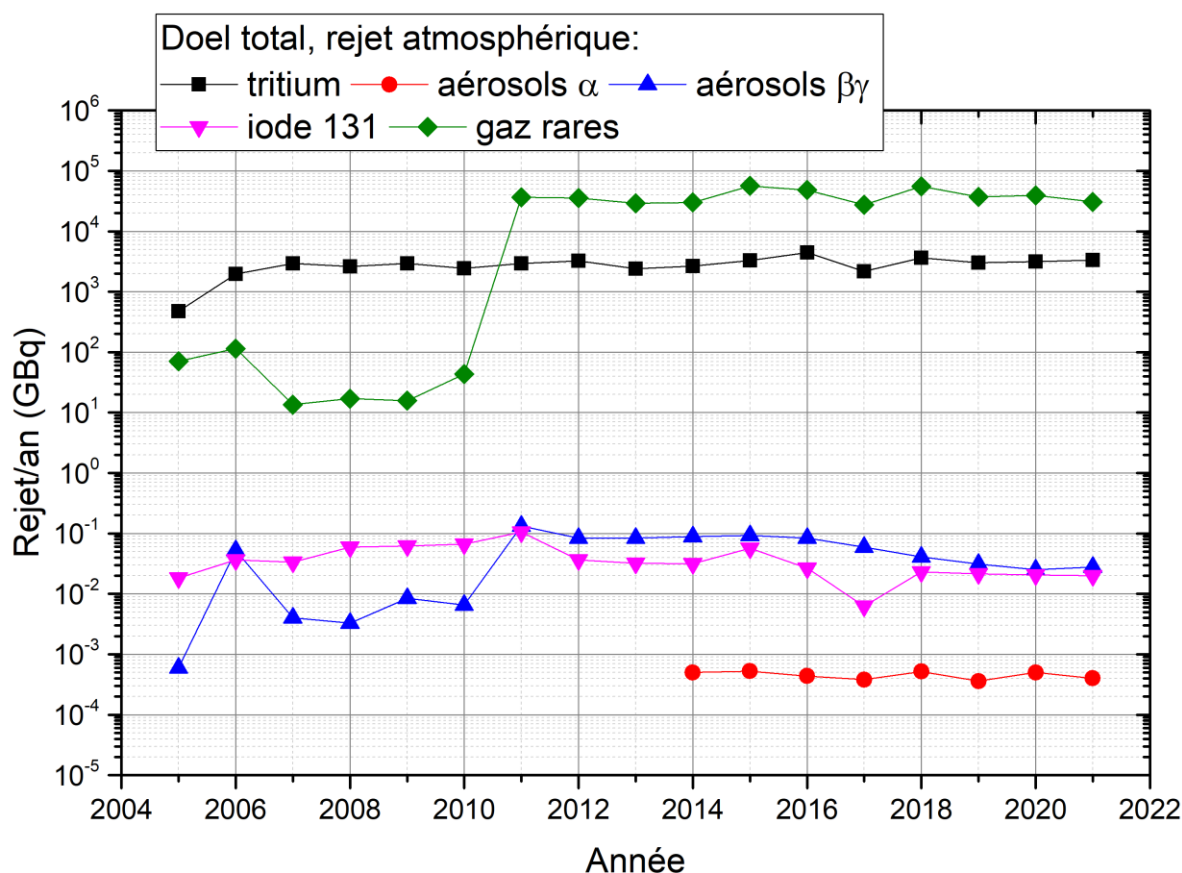


Figure 67 : Rejets gazeux par an pour l'ensemble du site de KC Doel ⁷⁶

Les rejets atmosphériques par an pour les différents groupes de radionucléides tels que rapportés aux autorités et mentionnés notamment dans la base de données RADD de la Commission européenne (<https://europa.eu/radd/index.do>) sont présentés dans la Figure 67 pour les années 2005 -2021. Ces rejets sont les rejets atmosphériques pour l'ensemble du site de KC Doel. Ils sont tracés sur une échelle logarithmique en raison des différences importantes dans l'ordre de grandeur des rejets entre les différents groupes de radionucléides. L'augmentation apparente des valeurs à partir de 2011, en particulier pour les gaz nobles et les aérosols bêta-gamma, est due à une nouvelle directive sur les rapports^{lxiv}. Toute activité rejetée inférieure à la limite de détection des chaînes de mesure est prise en compte avec prudence pour 25 % de la limite de détection dans le rejet. Les variations (hormis le saut en 2011, donc à évaluer à partir de 2011) dans les rejets atmosphériques par an sont dues à des variations du régime d'exploitation des réacteurs. La tendance générale est que les rejets sont constants sur une plus longue période ; cependant, ces dernières années, une diminution des rejets d'iode 131 et d'aérosols est visible. Les aérosols alpha sont signalés séparément à partir de 2014 et ne représentent qu'une très petite fraction des aérosols.

⁷⁶ Toutes les informations sur les rejets des installations de Classe 1, y compris KC Doel, sont disponibles sur le site Web de la FANC-AFCN : <https://afcn.fgov.be/fr/professionnels/etablissements-nucleaires-classe-i/surveillance-des-rejets-radioactifs-de-classe-i>.

Ces valeurs atmosphériques effectivement rejetées peuvent être vérifiées par rapport aux limites de rejets selon la licence d'exploitation de KC Doel. Les résultats de cette comparaison sont présentés dans la Figure 68 en pourcentage de la limite de rejet par groupe, et ce pour la période 2014-2021. Les aérosols bêta-gamma et alpha (déclarés séparément depuis 2014) sont ici combinés. Les rejets atmosphériques réels ne représentent qu'une fraction des limites de rejets.

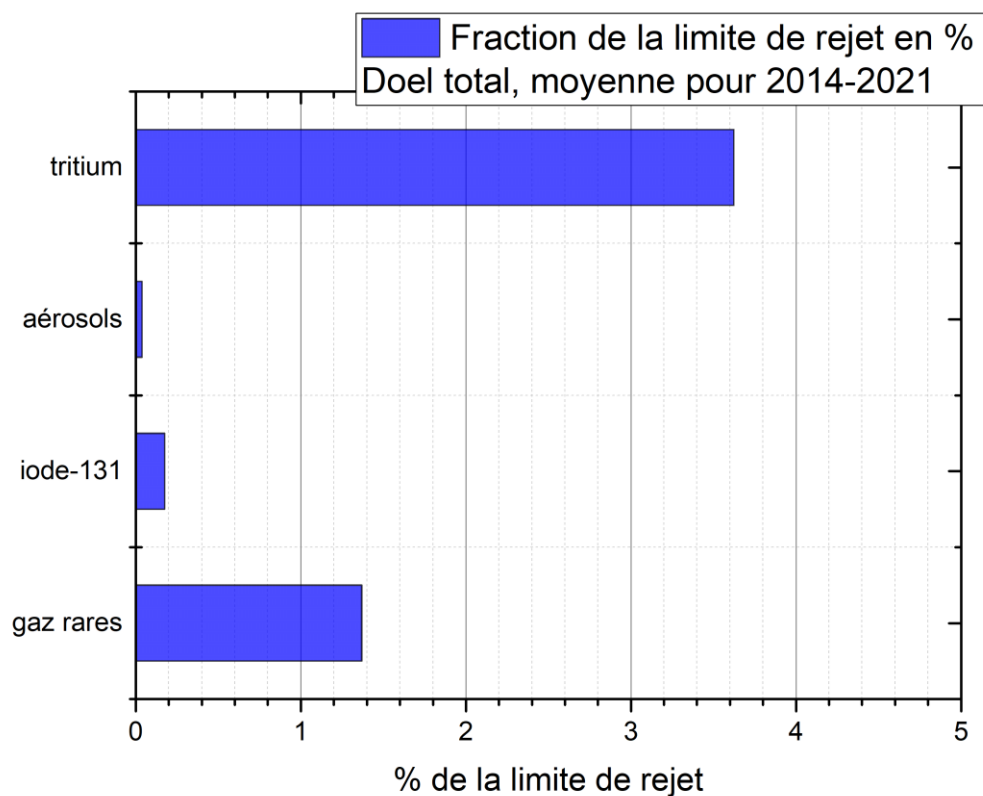


Figure 68: Les rejets réels sur une base annuelle pour l'ensemble du site de KC Doel, moyenne pour la période 2014 jusqu'à 2021 inclus, en pourcentage de la limite de rejet pour différents (groupes de) radionucléides.

L'impact (charge de dose pour l'individu critique) des rejets atmosphériques est abordé plus en détail avec l'impact des rejets liquides, mais la Figure 69 illustre la dose efficace par catégorie d'âge et par radionucléide rejeté. La principale contribution à la dose efficace pour l'individu critique provient des rejets de carbone 14 (C-14).

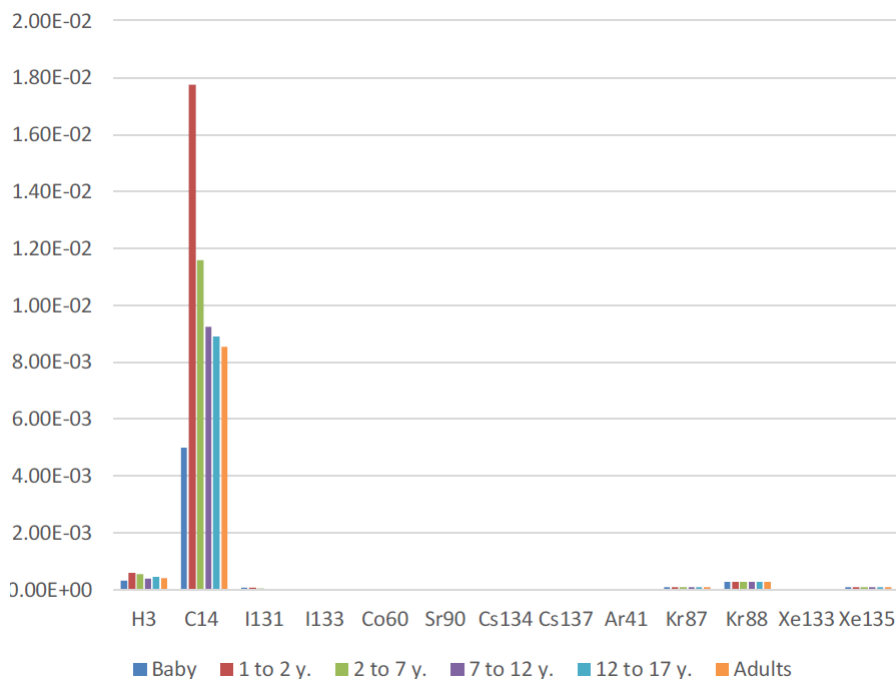


Figure 69 : Distribution de la dose efficace pour les différentes catégories d'âge en mSv par an pour KC Doel pour les rejets atmosphériques réels des effluents radioactifs les plus importants (moyenne pour la période 2009-2018). La prédominance du carbone 14 (C-14) dans la contribution à la dose efficace est ici bien visible^{bx}.

Rejets liquides

Les effluents radioactifs liquides proviennent principalement des circuits de traitement, par exemple ceux utilisés pour traiter l'eau de refroidissement primaire dans les centrales nucléaires. Ils sont également formés par les eaux usées générées lors de la décontamination des outils, les eaux usées sanitaires et l'eau utilisée pour le nettoyage des sols dans les zones nucléaires comme les piscines d'entreposage de combustible, le nettoyage des piscines de désactivation du combustible usé, les fuites d'eau.

Les limites de rejets de la centrale nucléaire en exploitation sont basées sur la limite réglementaire annuelle de 1 mSv pour la population la plus exposée, de sorte que les rejets ne peuvent pas entraîner le dépassement de la limite de dose. Outre les quantités maximales pouvant être rejetées annuellement, le permis de rejet contient également la nature des substances radioactives rejetées. Les centrales nucléaires de Doel et Tihange rejettent majoritairement du tritium, les quantités de produits de fission et d'activation rejetées sont beaucoup plus faibles (< 1% de la limite de rejet à Doel, jusqu'à 4,2 % de la limite de rejet à Tihange sur les 10 dernières années). Les limites de rejets des matières radioactives sont présentées dans le Tableau 52.

Les principaux radionucléides présents dans les effluents liquides sont :

- Le tritium sous forme d'eau tritiée. Le tritium est principalement produit dans l'eau de refroidissement primaire des réacteurs nucléaires lors de sa circulation dans le cœur. Il existe sous forme d'eau tritiée (HTO) ou de tritium gazeux (HT) et peut donc se retrouver simultanément dans les effluents liquides et gazeux.
- Les émetteurs bêta, gamma ; ^{58}Co , ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , $^{110\text{m}}\text{Ag}$. La plupart de ces radionucléides sont produits par la fission du combustible nucléaire dans le cœur des réacteurs et se retrouvent dans les effluents tant liquides que gazeux.
- Émetteur alpha ; L'Am-241 est produit dans les réacteurs nucléaires à partir du plutonium 241 par désintégration bêta et peut également être trouvé dans les effluents liquides et gazeux.

Les effluents sont d'abord traités dans le bâtiment TED pour éliminer le maximum de radioactivité avant que les eaux usées ne soient rejetées dans l'Escaut.

Tableau 52 : Limites de rejets des effluents liquides.

Catégorie de radionucléide	
Tritium	104 TBq/an
Les émetteurs bêta, gamma et alpha (à l'exclusion du tritium et des gaz nobles dissous)	1,48 TBq/an

En raison du courant et du débit des eaux de l'Escaut, la radioactivité rejetée se propage et se dilue. Les marées assurent un meilleur brassage des effluents. Le volume moyen rejeté est de 1750 m³/an soit 0,2 m³/h^{l_{vi}}, ce qui est très faible par rapport à un débit de l'Escaut.

L'impact possible des rejets sur l'homme et l'environnement est évalué par la FANC-AFCN en prélevant régulièrement des échantillons d'eau, de sédiments, de plantes aquatiques, de poissons et de crustacés et en mesurant les niveaux de radioactivité (procès-verbaux disponibles sur <https://fanc.fgov.be/nl/publicaties/verslagen-van-het-radiologisch-toezicht-belgie>). Outre le programme de supervision de la FANC-AFCN, la centrale nucléaire de Doel dispose également depuis 2014 d'un programme de surveillance limité, axé sur les bio-indicateurs tels que les plantes aquatiques et les mousses. Des échantillons de sol et de sédiments sont également prélevés, car ceux-ci peuvent accumuler des radionucléides.

Les rejets pour KC Doel sont bien inférieurs aux limites de rejets indiquées dans le Tableau 52. Au cours de la période 2014-2021, moins de 0,5 % de la limite annuelle des émetteurs bêta et gamma ont été rejetés par le site (Figure 72). Les rejets de tritium sont également inférieurs à la limite annuelle et représentaient en moyenne 35 % de la limite annuelle sur la période 2014-2021. Aucune limite de dose n'a été donnée pour les émetteurs alpha, car ils n'ont pas été rejetés avant 2011. Cela a changé depuis 2011, mais les rejets sont très faibles par rapport aux rejets des autres radionucléides.

Les rejets des émetteurs tritium et bêta gamma dans l'Escaut pour KC Doel restent quasiment stables sur la période 2004-2021, tandis que les rejets des émetteurs alpha diminuent d'un facteur 5 sur la période 2011-2021 (Figure 67 : *Rejets gazeux par an pour l'ensemble du site de KC Doel* Figure 67). Le tritium est le principal radionucléide rejeté, les rejets de tritium représentent 99,9 % de l'activité rejetée et le tritium est également le principal contributeur à la dose, en raison des rejets liquides (Figure 68).

La Figure 70 révèle clairement que les quantités rejetées sont très inférieures aux limites de rejets (Tableau 52). Au cours des 8 dernières années, une moyenne de 35 % de la limite de rejet pour le tritium et de 0,3 % de la limite de rejet pour les autres radionucléides a été rejetée.

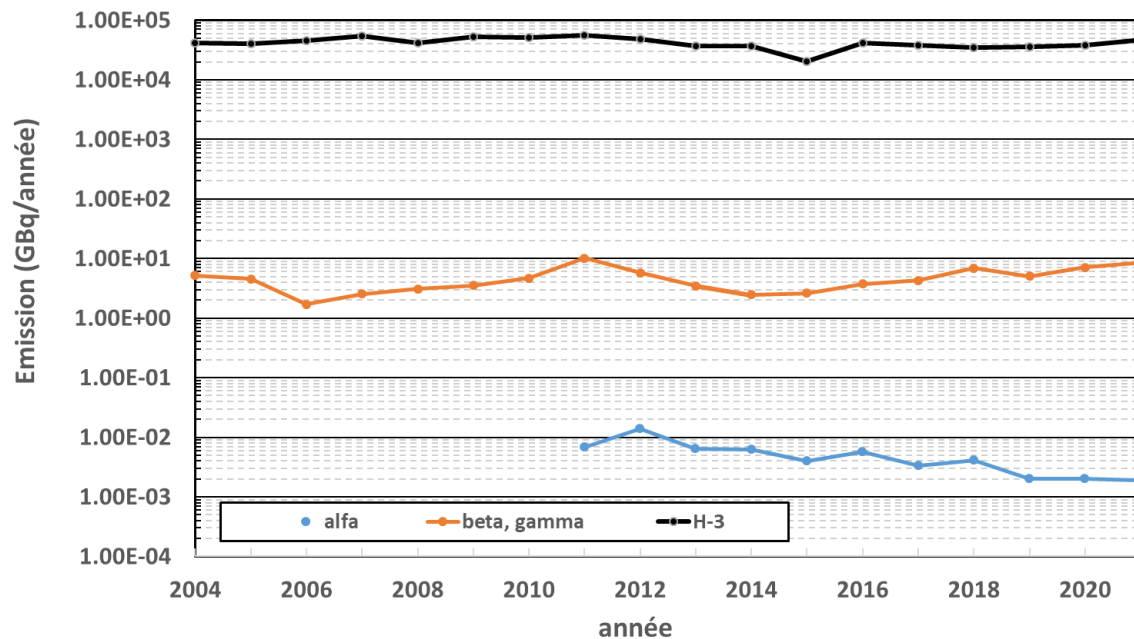


Figure 70 : Évolution des rejets liquides de la centrale nucléaire de Doel dans l'Escaut pour la période 2004-2021.^{lxvii}

Pour le calcul de la dose à la personne représentative suite aux rejets dans l'Escaut, les voies d'exposition suivantes sont prises en compte ;

- Irradiation interne par :
 - Consommation d'eau de rivière comme eau potable ;
 - Consommation de poisson.
- Exposition externe en restant sur les berges, par la navigation, en restant sur un fond contaminé par des sédiments de lit dragués.

L'utilisation de l'eau du fleuve pour l'irrigation des cultures vivrières, de l'herbe et pour l'abreuvement du bétail n'est pas envisagée pour l'eau du fleuve de l'Escaut en raison de la forte salinité de l'eau.

Étant donné que le tritium est principalement rejeté dans l'Escaut, la dose efficace est principalement due à cet isotope. Les autres isotopes contribuant à la dose sont : ^{110m}Ag , ^{60}Co , ^{137}Cs (Figure 71).

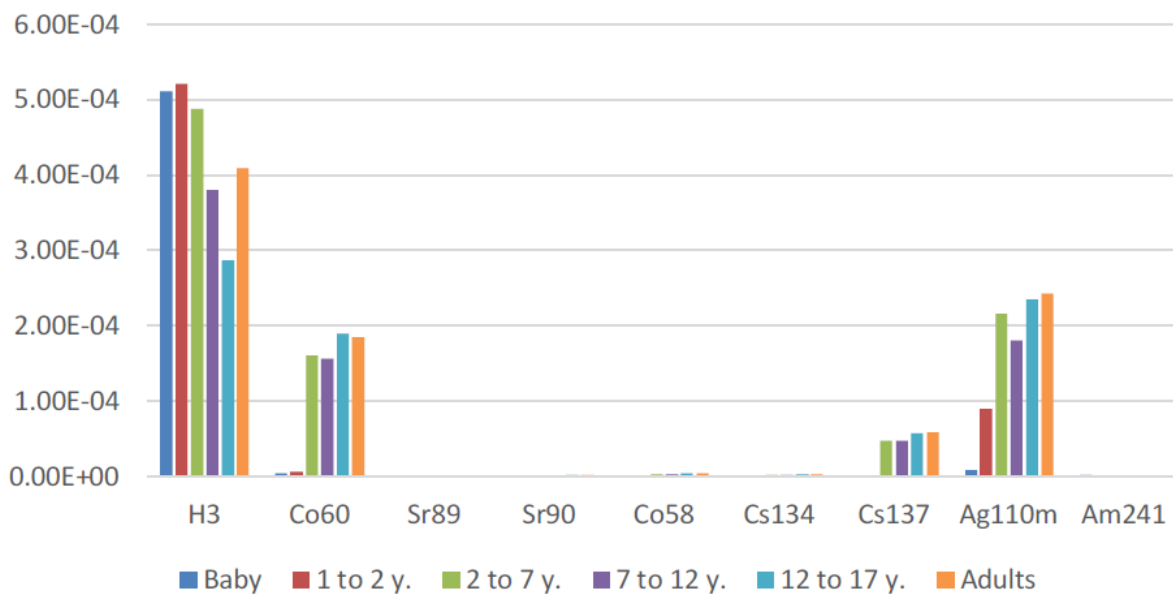


Figure 71 : Distribution de la dose efficace (en mSv/an) par radionucléide et catégorie d'âge suite aux rejets liquides dans l'Escaut pour la période 2009-2018.

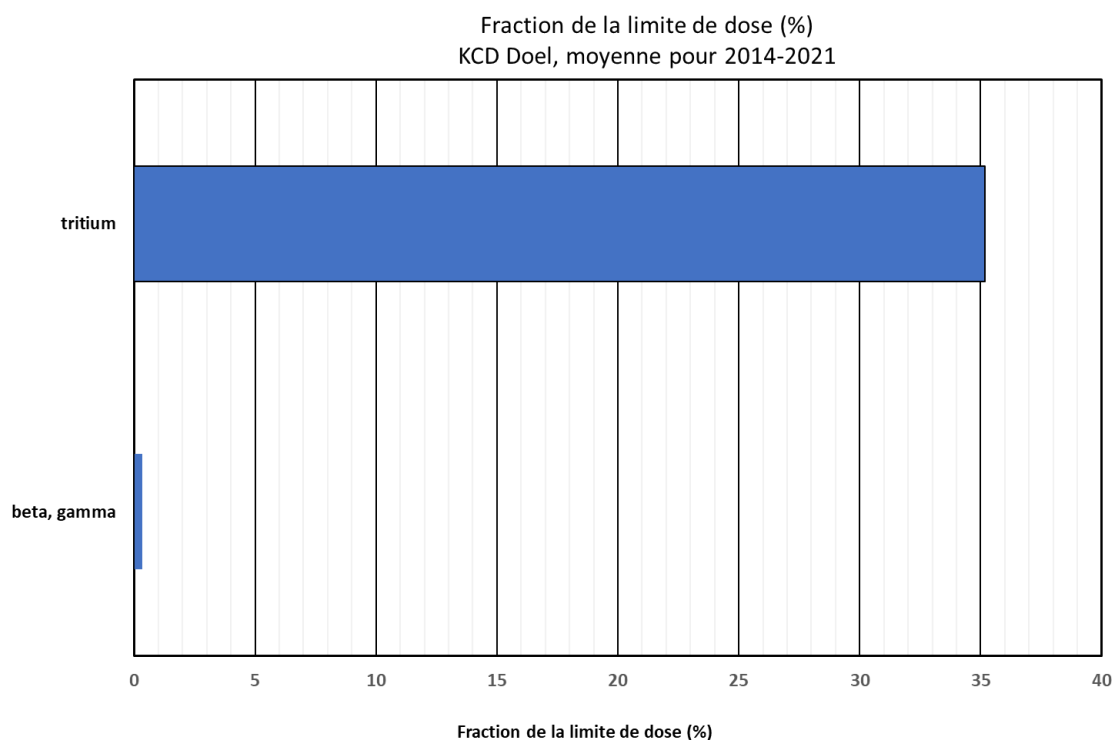


Figure 72 : Rejets liquides en % de la limite de rejet pour les rejets liquides dans l'Escaut.

Relevés aux abords

Les relevés aux abords sont constitués du programme de supervision organisé par la FANC-AFCN et d'un programme de surveillance spécifique par l'exploitant. Par ailleurs, des relevés ad-hoc sont également disponibles lesquels sont réalisés dans le cadre de recherches scientifiques et/ou lors d'exercices liés à la préparation aux situations d'urgence. Le programme de supervision pour le territoire belge organisé par la FANC-AFCN, similaire

pour les abords de Doel et Tihange, a déjà été abordé dans la partie méthodologie. Les résultats des relevés continus (TELERAD) et des relevés par hélicoptère ont déjà été donnés dans la description de la situation actuelle concernant l'exposition aux rayonnements directs à proximité de KC Doel.

Les relevés discontinus (échantillonnage et analyse en laboratoire) autour de Doel déterminent les niveaux de radioactivité des particules de poussière dans l'air, les dépôts dans les bacs à dépôt (dépôts secs et humides), le sol et l'herbe, l'eau et les sédiments près de KC Doel (en aval), et enfin les crevettes, les moules et les algues (estuaire en aval de Doel à Kieldrecht et en mer du Nord, Hoofdplaat & Kloosterzande). Une description détaillée de ce programme (échantillons prélevés, fréquence, radionucléides analysés, etc.) peut être trouvée dans les rapports de synthèse annuels disponibles sur le site Web de la FANC-AFCN à partir de l'année 1996^{lxviii}. Les détails du programme de supervision de la FANC-AFCN lié à KC Doel figurent dans le Tableau 53. Les échantillons sont prélevés en amont et en aval.

Tableau 53 : Programme de supervision de la FANC-AFCN aux abords de KC Doel.

Compartiment	Type de relevé	Fréquence
Atmosphère – particule radioactive dans l'air	Spectrométrie gamma : ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb Total bêta sur les filtres en papier après 5 jours de désintégration	toutes les 4 semaines quotidien
Atmosphère – dépôt de surface (sec et via les précipitations)	Spectrométrie gamma (eau non traitée) : ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{131}I Total bêta, total alpha, ^3H , ^{90}Sr (eau filtrée) Total bêta et total alpha (dépôts filtres)	toutes les 4 semaines
Sol – terre et l'herbe	Spectrométrie gamma : ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th Spectrométrie alfa : $^{234-235-238}\text{U}$, $^{238+(239+240)}\text{Pu}$	annuel
Escaut - eau	Spectrométrie gamma : ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{226}Ra Total bêta, total alpha, ^3H , ^{40}K	toutes les 2 semaines
Escaut – sédiments	Spectrométrie gamma : ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th ^{90}Sr , $^{234-235-238}\text{U}$, $^{238-(239+240)}\text{Pu}$, ^{241}Am	toutes les 4 semaines
Estuaire de l'Escaut en aval - crevettes Estuaire de l'Escaut/mer du Nord (Hoofdplaat et Kloosterzande) – crustacés, moules et algues	Spectrométrie gamma : ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th ^{90}Sr , $^{238-(239+240)}\text{Pu}$, ^{241}Am organique ^3H	trimestriel
Effluents (rejets liquides) du site nucléaire	Spectrométrie gamma : ^7Be , ^{51}Cr , ^{55}Fe , ^{95}Nb , ^{95}Zr , $^{101-106}\text{Ru}$, $^{141-144}\text{Ce}$, ^{131}I , ^{113}Sn , $^{123\text{m}}\text{Te}$, $^{124-125}\text{Sb}$, $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ Spectrométrie bêta : ^3H	toutes les 2 semaines

Outre le programme de surveillance du territoire réalisé par la FANC-AFCN, l'exploitant de KC Doel organise son propre programme de surveillance qui consiste en :

- Relevés des doses à l'aide de 18 détecteurs de thermoluminescence (DTL) placés au périmètre du site (un par secteur de 20°). Ils donnent la dose intégrée par rayonnement externe ;

- Un programme de surveillance complémentaire au programme de supervision de la FANC-AFCN, dans le cadre duquel des échantillons sont prélevés et analysés une fois par an. Pour Doel, cela a commencé en 2014. Ce programme a une fréquence limitée par rapport au programme d'échantillonnage, mais d'une part, l'accent est mis entièrement sur les radionucléides artificiels potentiellement liés à l'exploitation de KC Doel et d'autre part, des échantillons spécifiques sont examinés comme ceux des bio-indicateurs, c'est-à-dire des organismes qui concentrent certains radionucléides en particulier. À titre de comparaison, des prélèvements sont également réalisés en amont dans le programme de surveillance complémentaire de l'exploitant. Les emplacements en amont ne sont pas impactés par les rejets et donnent donc une image des niveaux d'activité sans apport de la centrale nucléaire ce qui permet de suivre les éventuelles évolutions dans le temps. Ce programme est illustré dans le Tableau 54.

Tableau 54 : Programme de surveillance de l'exploitant.

Échantillonnage spécifique	Lieu et fréquence	Spécifications de relevés
Bio-indicateur : écorce (lichens) Sol Herbe	Annuellement sur deux sites (S1-T et S2-T) dans la direction dominante du vent et un site de référence (R1-T)	Spectroscopie gamma (Cs-134 et Cs-137, I-131, Co-60), H-3, C-14
Bio-indicateur aquatique (fucus, algues, moules)	Annuellement sur deux sites S1-A en aval et un site de référence en amont	Spectroscopie gamma (Cs-134 en Cs-137, I-131, Co-60, Nb-95, Ag-110m), H-3, C-14
Sédiment	Annuellement sur deux sites en aval et un site de référence en amont	Spectroscopie gamma (Cs-134 en Cs-137, I-131, Co-60, Nb-95, Ag-110m),

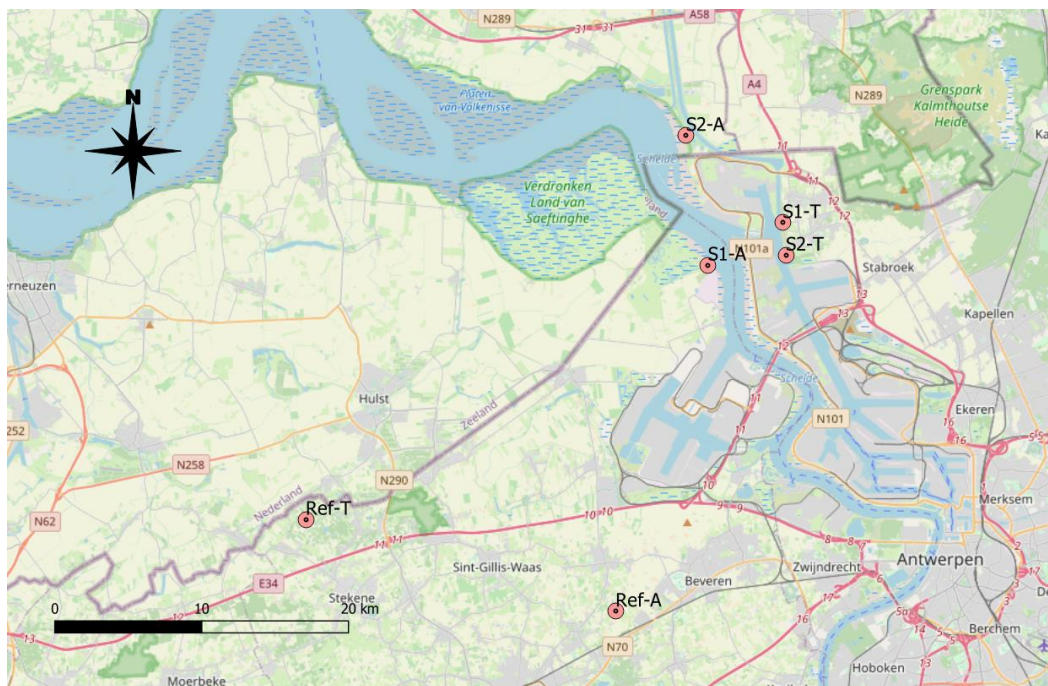


Figure 73 : Emplacements d'échantillonnage pour un programme supplémentaire réalisé par l'exploitant de KC Doel (pour les noms, voir Tableau 54, fond de carte : OpenStreetMap).

Le programme discontinu qui présente via l'échantillonnage et l'analyse en laboratoire une plus grande sensibilité pour détecter les radionucléides artificiels potentiels autour de KC Doel illustre ce qui suit :

- primo, la forte prépondérance de la radioactivité naturelle (essentiellement ^{40}K et dans une moindre mesure ^{226}Ra et ^{228}Th) ;
- concernant la radioactivité artificielle, on peut mesurer des traces de Cs-137 dans le sol (3,3 Bq/kg dans le sol en 2022⁷⁷) qui sont presque entièrement dues à l'accident de Tchernobyl et aux retombées des essais nucléaires dans l'atmosphère (qui ont atteint un pic dans les années 1960). Les concentrations mesurées dans la région de Doel sont moyennes pour celles de la Belgique. En raison de différences de conditions météorologiques (pluie) lors du passage du nuage radioactif après l'accident de Tchernobyl, des différences spatiales peuvent être observées en Belgique.
- Que les émetteurs alpha transuraniens artificiels (Pu et Am) ne sont pas mesurables de leur côté.

En conclusion, nous pouvons avancer que la centrale nucléaire de Doel n'a pas d'impact radiologique mesurable significatif sur l'environnement par le biais de rejets atmosphériques ni sur l'Escaut. Une analyse des résultats de mesure à proximité du KC Doel est toujours représentative de toutes les activités sur le site. Les conclusions s'appliquent donc également en particulier à l'exploitation de Doel 4.

Impact sur l'homme

L'état radiologique actuel et l'influence des activités du site de KC Doel sont très bien caractérisés en combinant d'une part la surveillance des rejets associée aux calculs d'impact de dose, avec d'autre part la surveillance de la radioactivité et du rayonnement à proximité de KC Doel.

D'une part, nous pouvons examiner l'impact radiologique des limites autorisées de rejets pour l'ensemble de KC Doel (4 tranches) pour les rejets gazeux et liquides. La dose estimée avec prudence selon la méthodologie décrite au §2.3.3.3 est donnée dans le Tableau 55. Il s'agit de la dose efficace par an pour une personne représentative par catégorie d'âge. Pour rappel, une personne représentative est la personne la plus exposée, celle qui, entre autres, réside constamment (toute l'année) à proximité de la limite du site où l'impact est le plus élevé, et qui ne consomme que des aliments produits à proximité de la centrale nucléaire. La dose efficace maximale par an de rejets gazeux et liquides qui serait égale aux limites de rejets par an est d'environ 0,36 mSv pour l'individu critique (catégorie d'âge adolescent). C'est bien en deçà de la limite de dose efficace de 1 mSv/an pour le public. On voit que pour les limites de rejets il y a une variation particulièrement importante de la dose efficace par catégorie d'âge du fait des rejets liquides, ceci est principalement lié au régime alimentaire.

Tableau 55 : Dose efficace par an pour l'individu critique par catégorie d'âge résultant des rejets gazeux, liquides et totaux correspondant aux limites actuelles de rejets pour l'ensemble du site de KC Doel.

Dose efficace en mSv/an pour les limites de rejets gazeux et liquides ; site de KC Doel pour les différentes catégories d'âge. La dose efficace totale maximale est indiquée en gras.						
	Nourrisson	1 à 2 ans	2 à 7 ans	7 à 12 ans	Adolescent	Adulte
Atmosphérique	0,131	0,168	0,135	0,123	0,128	0,118
Liquide	0,008	0,005	0,199	0,181	0,227	0,228
Total	0,139	0,173	0,334	0,304	0,355	0,346

Comme nous l'avons décrit précédemment, les rejets réels sont bien inférieurs aux limites de rejets et, par conséquent, la dose réelle qu'un individu critique reçoit en raison de l'exploitation de l'ensemble du site de KC Doel est beaucoup plus faible. La dose efficace par an (moyenne sur les années 2012-2021) pour un individu critique des différentes catégories d'âge pour les rejets gazeux et liquides réels peut être trouvée dans le Tableau 56.

⁷⁷ Surveillance radiologique aux abords de la centrale nucléaire de Doel : Résultats de la campagne de surveillance de 2022. Rapport SCK CEN.

Tableau 56 : Dose efficace par an pour l'individu critique par catégorie d'âge résultant des rejets gazeux, liquides et totaux réels pour l'ensemble du site de KC Doel.

Dose efficace KC Doel en mSv/an pour les rejets gazeux et liquides réels pour la période 2012-2021 pour les différentes catégories d'âge. Le total est également donné et la dose maximale efficace est indiquée en gras.						
	Nourrisson	1 à 2 ans	2 à 7 ans	7 à 12 ans	Adolescent	Adulte
Atmosphérique	0,0068	0,0217	0,0146	0,0117	0,0114	0,0109
Liquide	0,0005	0,0006	0,0008	0,0007	0,0007	0,0008
Total	0,0073	0,0223	0,0154	0,0124	0,0121	0,0117

Les calculs basés sur la surveillance des rejets révèlent donc un impact maximal, c'est-à-dire une charge de dose efficace pour la personne critique la plus exposée d'environ 0,02 mSv/an^{lxix} (maximum 0,0223 mSv/an) et cette exposition est également stable au fil des années comme l'illustre la Figure 74. Cette dose efficace calculée avec prudence pour la personne la plus exposée est au moins 15 fois inférieure à la dose selon les limites de rejets pour KC Doel et 50 fois inférieure à la limite de dose pour le public qui est de 1 mSv/an. Cela illustre également que le concept d'optimisation des doses pour l'exposition du public, l'un des piliers de la radioprotection et abordé au § 2.3.2, est appliqué lors de l'exploitation de KC Doel.

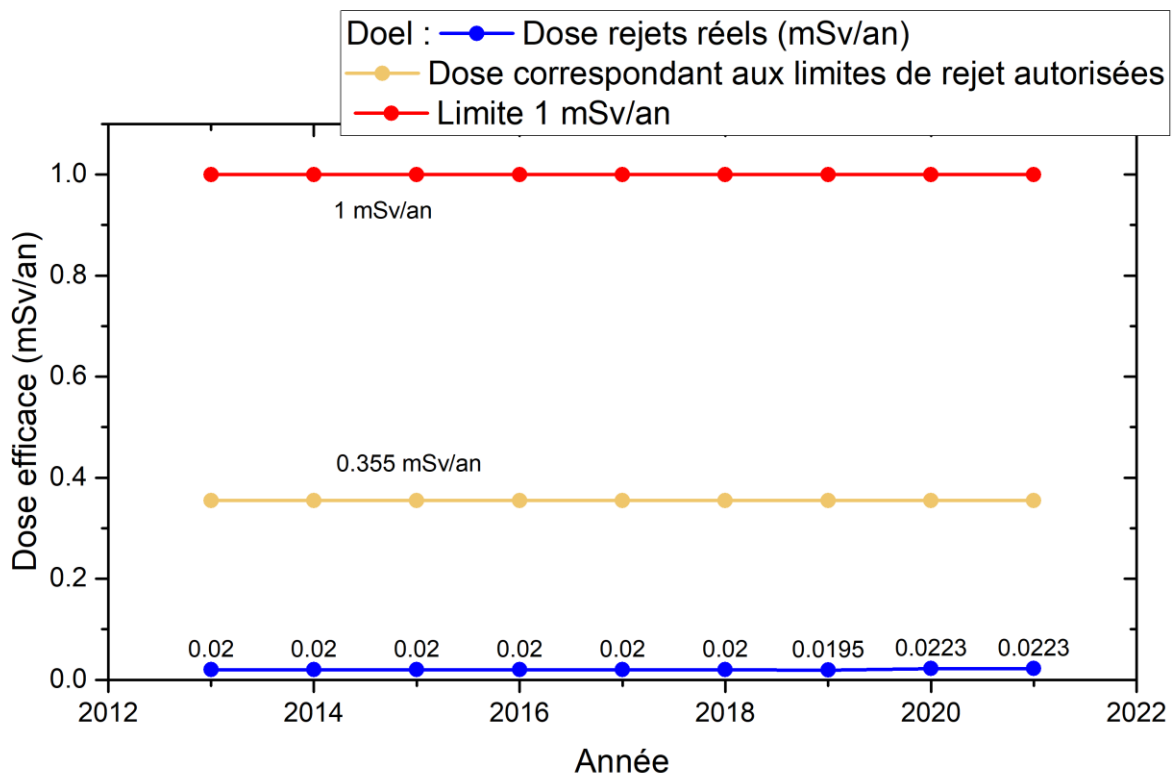


Figure 74 : Dose efficace pour l'individu le plus critique aux abords de KC Doel calculée sur la base des rejets réels rapportés^{lxx}. À titre de comparaison, la dose limite pour le public et la dose correspondant aux limites de rejets sont indiquées.

La surveillance de l'environnement démontre également que KC Doel n'a pas d'impact radiologique mesurable sur son environnement. L'exposition dans la région de Doel est donc complètement dominée par l'exposition à la radioactivité naturelle, comme dans d'autres régions du pays. Par conséquent, l'exposition due aux rejets radioactifs est également beaucoup plus faible que les variations spatiales locales de la radioactivité naturelle et de l'exposition.

La contribution très limitée de la radioactivité artificielle aux abords de KC Doel provient principalement des retombées radioactives des essais de bombes atomiques en surface (1950-60) et de l'accident de Tchernobyl (1986).

Impact sur la biodiversité (faune et flore)

Parmi les radionucléides, à savoir ^3H , ^{14}C , ^{60}Co , ^{95}Nb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs pris en compte dans la campagne de surveillance complémentaire d'Electrabel SA, seules les concentrations en ^{14}C et ^{137}Cs sont supérieures à la limite de détection. Les concentrations mesurées pour le sol, les sédiments et les bio-indicateurs (mousse et fucus) qui accumulent la radioactivité démontrent que la contamination de l'écosystème est très faible, soit 3,3 Bq/kg ^{137}Cs dans le sol et 4,5 Bq/kg ^{137}Cs dans les sédiments fluviaux en 2022. Les concentrations maximales mesurées sont de 0,23 Bq/kg ^{14}C pour le fucus. Ces concentrations mesurées sont principalement dues au ^{14}C naturel et au ^{137}Cs dérivé de Tchernobyl. Une évaluation complète des risques environnementaux a été réalisée en 2013 pour estimer l'impact des rejets atmosphériques et liquides sur la faune et la flore⁷⁸. Des organismes de référence communs ont été sélectionnés pour le site de Doel et l'impact des rejets réels et des limites de rejets sur ces organismes a été calculé à l'aide de l'outil d'évaluation ERICA. Il a été démontré que le débit de dose maximal pour les limites de rejets est de 0,24 $\mu\text{Gy/h}$ et donc bien inférieures à la valeur seuil de 10 $\mu\text{Gy/h}$, en dessous de laquelle aucun effet nocif ne se produit. On peut donc conclure que les limites actuelles de rejets pour les centrales nucléaires belges considérées n'ont pas d'effets nocifs sur l'environnement. Les résultats de mesure du programme de surveillance de la FANC-AFCN et de l'exploitant aux abords de KC Doel conduisent également aux mêmes conclusions.

4.1.2 Effets lors de la désactivation de Doel 4 (alternative zéro)

La tranche Doel 4 dispose actuellement d'une licence de production industrielle d'électricité au plus tard jusqu'au 1er juillet 2025. En cas de non-prolongation (désactivation, arrêt définitif), seule la tranche Doel 2 sera selon le calendrier actuel encore en service sur le site de KC Doel pour la production d'électricité industrielle, et ce, pour une durée limitée (jusqu'au 1er décembre 2025). Les autres tranches seront alors en phase post-opérationnelle. La situation pour l'ensemble du site de KC Doel si Doel 4 n'est pas prolongé est donc celle où un seul réacteur (Doel 2) est encore opérationnel pour un maximum de six mois et les autres sont définitivement à l'arrêt.

L'arrêt de Doel 4 entraîne à lui seul la disparition d'un certain nombre de rejets gazeux et liquides radioactifs dans l'environnement. Les rejets directement liés au fonctionnement des réacteurs (comme la production de carbone 14) vont disparaître. Le carbone 14 est également le principal contributeur à la dose due aux rejets gazeux et liquides. En revanche, certains rejets gazeux et liquides se poursuivront en phase post-opérationnelle. Relativement peu d'informations sont disponibles sur les quantités et l'impact sur la dose. D'une part, nous pouvons examiner ce à quoi l'on peut s'attendre théoriquement :

- Tritium liquide : la production de tritium est liée à la production d'électricité nucléaire, une diminution théorique jusqu'à pratiquement zéro est possible, mais des rejets résiduels sont possibles compte tenu de la longue demi-vie ;
- Radionucléides bêta-gamma liquides : théoriquement, on peut s'attendre à une réduction des rejets ; des rejets résiduels dus aux POP pouvant exister dans les différentes installations. Les rejets liquides proviennent principalement du bâtiment Traitement des Eaux et Déchets (TED) ;
- Gaz nobles : on peut s'attendre à une baisse théorique jusqu'à pratiquement zéro, car les gaz nobles sont des produits de fission qui ne seront plus produits. Les données historiques révèlent une légère diminution des émissions de gaz nobles dans les années où moins d'électricité est produite (pénurie de MWh) ;
- Iode : diminution théorique à pratiquement zéro après l'arrêt de la production, mais cette diminution est en partie compensée par les résidus d'iode dans le bain de combustible et il y a aussi les tests des filtres. Bref, on peut s'attendre à une baisse ;

⁷⁸ Vandehove H., Sweeck I., Vives i Batlle, Wannijn J., Van Hees M., Camps J., Olyslaegers G., Miliche C., Lance B., 2013. Predicting the environmental risks of radioactive discharges from Belgian nuclear power plants. Journal of environmental radioactivity, 126, pp. 61-76.

- Aérosols : aucun impact apparent attendu ; sur la base des valeurs rapportées du passé, il est évident que les valeurs rapportées sont principalement basées sur les limites de détection et non uniquement sur les rejets réels ; du fait de ces limites de détection, l'ordre de grandeur des rejets restera le même. Une hausse limitée, en fonction des activités POP, ne peut être totalement exclue ; ·
- Tritium (gaz) : une baisse est attendue ;
- Carbone 14 : dépendant de la production, il devrait donc y avoir une baisse du carbone 14 produit jusqu'à pratiquement zéro.

Par ailleurs, on peut examiner les expériences effectives de la phase post-opérationnelle à l'étranger⁷⁹ (celles-ci étant toutefois plutôt limitées). Sur la base de l'expérience en Allemagne, on peut estimer que la dose due aux rejets gazeux et liquides à la suite de l'arrêt d'une tranche nucléaire tombe à 25 % du niveau d'exploitation la première année après l'arrêt, et diminue encore les années suivantes jusqu'à environ 10 % (données disponibles jusqu'à 7 ans après l'arrêt définitif).

Sur la base de ces informations, on peut estimer de manière prudente que la dose efficace résultant des rejets gazeux et liquides pour l'ensemble du site de KC Doel, si Doel 4 n'est pas prolongé, sans plus aucun réacteur en service (c'est-à-dire à partir de 2026), sera tombée à un niveau **de l'ordre de 0,007 mSv/an** et dans les années suivantes (nous considérons une période de 10 ans) sera tombée **encore en dessous de 0,003 mSv/an**.

Pour 2025, année où Doel 1 et 2 sont arrêtés et en cas de non-prolongation de Doel 4, on peut prudemment supposer une dose efficace, qui sera de l'ordre de ou légèrement inférieure à 0,02 mSv/an, une dose efficace similaire à la situation actuelle.

⁷⁹ Basé sur Periodic Safety Review Tihange Unit 2 et TEF - SF14-2 : Radiological impact to the public. PSR3/4NT/0791625/000/01, Tractebel Engeneering S.A.,2022

4.1.3 Effets de la prolongation de Doel 4 pendant 10 ans après 2025 (Le projet)

Les rejets gazeux et liquides liés à l'exploitation de Doel 4 se poursuivront pendant la prolongation à un niveau similaire au niveau actuel, car nous supposons que le réacteur fonctionnera à la même puissance et que tous les effluents gazeux et liquides seront également traités de la même manière. Une estimation prudente de la dose efficace due à l'exploitation de Doel 4 donne **0,01 mSv/an ou moins, et ceci est constant sur les 10 années d'exploitation prolongée**. Ceci est encore principalement dû aux rejets gazeux de carbone 14, qui sont directement liés à la puissance du réacteur. Pour l'ensemble du site de KC Doel, outre l'exploitation de Doel 4, il faut maintenant prendre également les rejets en phase post-opérationnelle comme nous les avons estimés au paragraphe précédent concernant l'alternative zéro, à savoir la non-prolongation. Le Tableau 57 donne un aperçu de la dose efficace due à l'exploitation de Doel 4 et pour l'ensemble du site de KC Doel en cas de prolongation et de non-prolongation.

Tableau 57 : Dose efficace des rejets gazeux et liquides estimée de manière prudente pour l'individu critique en fonctionnement normal du projet. La fourchette donnée dans la dose efficace pour l'ensemble du site est l'évaluation dans le temps sur une période de 10 ans basée sur l'expérience de la phase post-opérationnelle des réacteurs en Allemagne.

	Dose efficace estimée de manière prudente des rejets gazeux et liquides pour l'individu critique
Exploitation Doel 4	0,010 mSv/an
Ensemble du site de KC Doel en cas de prolongation de Doel 4	0,017-0,013 mSv/an
Ensemble du site de KC Doel en cas de non-prolongation de Doel 4 (réacteurs tous mis hors service)	0,007-0,003 mSv/jan*
Différence du projet par rapport à l'alternative zéro	0,010 mSv/an pendant 10 ans

*Cette plage de doses est également représentative en tant qu'estimation prudente de la dose efficace consécutive aux rejets gazeux et liquides pour l'ensemble du site dans la phase post-opérationnelle de Doel 4 après une prolongation de 10 ans.

La dose efficace par an estimée du projet est par conséquent bien en deçà de la licence actuelle d'exploitation et également bien en deçà (facteur 100) de la limite légale de 1 mSv/an. Pour mettre cette dose en perspective, on peut la comparer à une exposition naturelle. Une dose efficace de 0,01 mSv correspond à la dose supplémentaire qu'un Belge reçoit en raison de la hausse du rayonnement cosmique s'il va skier en montagne pendant deux semaines⁸⁰. La dose efficace en fonctionnement normal du projet a donc un impact négligeable.

4.2 Rejets accidentels

Compte tenu de la nature similaire des accidents considérés pour Doel 4 et Tihange 3, une description de ces accidents et la méthodologie de calcul de l'impact sont intégralement fournies au chapitre 2 (§2.3.4). Nous présentons ici les résultats de l'évaluation d'impact et abordons des résultats.

4.2.1 Accident de base de conception

L'impact radiologique des deux accidents de base de conception considérés, à savoir un LOCA et un FHA, a été évalué sur la base des données générales dans le cadre de l'article 37 du traité Euratom et du dossier de sûreté de Doel 4. Par ailleurs, une analyse effectuée sur la base d'une étude de Tractebel⁸¹ dans le cadre des directives FANC-AFCN 2017/Bel V a également été utilisée pour les nouvelles installations de Classe 1. Stricto sensu, cette dernière analyse ne s'applique pas à Doel 4, car il s'agit de la prolongation de la durée de vie d'une installation de Classe 1

⁸⁰ Comparaison basée sur <https://afcn.fgov.be/fr/dossiers/applications-medicales/comparaison-des-doses-de-rayonnements>.

⁸¹ LTO D4 - ELP - KCD4 - Radiological consequences of a Loss of Coolant Accident and a Fuel Handling Accident", CNT-KCD/4NT/29657/000/01, Tractebel Engineering S.A., 2023

existante. Outre les conséquences lors des rejets atmosphériques consécutifs aux accidents envisagés pour Doel 4, cette analyse permet également d'évaluer les conséquences à plus long terme pour les personnes, la chaîne alimentaire et l'environnement. En cas **d'accident LOCA**, on suppose que 25 % de l'iode stocké dans le cœur et 100 % des gaz nobles vers le bâtiment du réacteur sont rejetés, 91 % de l'iode est présent sous forme élémentaire (moléculaire), 5 % sous forme d'aérosol et les 4 % restants sous forme organique. La concentration en gaz noble est déterminée par la décroissance radioactive et le taux de fuite du bâtiment du réacteur. La concentration d'iode est également déterminée par la décroissance radioactive et le taux de fuite, mais aussi par l'injection de sécurité (arrosage) et la recirculation pour le refroidissement (voir §2.3.4.1). Quantités limitées d'aérosols bêta(-gamma). Les rejets dans les environs sont considérés pour 30 jours.

En cas **d'accident FHA**, on suppose que 30 % de l'activité du Kr-85 dans l'espace entre le gainage et les pastilles de combustible usé et 10 % des autres radionucléides sont libérés des éléments combustibles, avec 99,75 % de l'iode sous la forme élémentaire présente et 0,25% sous forme organique. Ensuite, on tient compte d'un facteur de décontamination de 133 pour l'iode moléculaire et de 1 pour l'iode lié organiquement depuis la réserve de combustible (eau) vers le bâtiment. Pour le rejet à l'atmosphère par la cheminée, on suppose que les filtres fonctionnent et ont une efficacité de 90% pour tout l'iode. On suppose une durée de rejet de 2 heures.

Les résultats de dose des deux analyses pour les deux accidents sont présentés dans le Tableau 58. Les deux analyses donnent la dose efficace résultant du franchissement du nuage radioactif, y compris l'inhalation de radioactivité associée et la dose équivalente à la thyroïde par inhalation de radioisotopes de l'iode pour l'individu critique.

Tableau 58 : Dose efficace et dose équivalente à la thyroïde sur le périmètre de KC Doel (300 mètres du point de rejet) en raison de la survenance d'un LOCA et d'un FHA pour Doel 4, comparées aux limites de dose telles que décrites dans les données générales au titre de l'article 37 du traité Euratom, qui fait partie de la licence, en mSv. Sont également ajoutés à titre informatif les résultats d'une analyse d'impact selon les directives pour les nouvelles installations de Classe 1.

Doel 4	Dossier de sûreté/Art 37		Analyse selon les directives pour les nouvelles installations de Classe 1	
	Dose	Limite	Dose	Critère
Dose efficace				
LOCA	20,4 mSv	20,4 mSv	2,0 mSv	5 mSv
FHA	5,7 mSv	20,4 mSv	2,8 mSv	5 mSv
Dose équivalente à la thyroïde				
LOCA	38,5 mSv	38,5 mSv	36,70 mSv	10 mSv
FHA	24,7 mSv	38,5 mSv	33,28 mSv	10 mSv

Le Tableau ci-dessus révèle que les doses efficaces et les doses équivalentes à la thyroïde résultant des deux accidents de base de conception de référence pour Doel 4 restent dans les limites fixées, dans le contexte de l'article 37 analyse. Il convient de noter que différentes analyses d'un même accident peuvent révéler des différences importantes selon les hypothèses retenues. L'analyse selon les directives pour les nouvelles installations de Classe 1 montre des doses efficaces nettement inférieures, cela est dû au fait qu'une analyse très pessimiste (prudente) a été utilisée pour les estimer dans le dossier de sûreté et qu'une estimation moins prudente, mais l'étant toujours a été utilisée dans la présente pour les nouvelles installations de Classe 1. Les doses équivalentes à la thyroïde selon l'analyse pour les nouvelles installations de Classe 1 sont similaires à celles du dossier de sûreté. Le critère de dose équivalente à la thyroïde a été dépassé pour les deux accidents de base de conception. Il est donc possible que dans les deux scénarios d'accident, dans le cadre des directives relatives aux contre-mesures (AR fixant le plan

fédéral d'urgence nucléaire et radiologique), l'administration d'iode stable pour la protection de la thyroïde soit recommandé par toutes les catégories d'âge sauf les femmes adultes non enceintes (critère de dose équivalente à la thyroïde de 10 mSv). La mise à l'abri est donc recommandée pour cette mesure, bien que le critère pour celle-ci (dose efficace de 5 mSv en 24 heures) ne soit pas dépassé.

Sous les hypothèses très prudentes (y compris la pluie lors du rejet) faites dans l'analyse Tractebel, les niveaux de dépôt maximaux des isotopes totaux de l'iode dépasseront largement les valeurs indicatives dérivées pour la chaîne alimentaire (voir Tableau 17) dans les deux scénarios d'accident (environ 220 000 Bq/m² I-131 en cas d'accident LOCA et environ 925 000 Bq/m² I-131 en cas d'accident FHA). Ces scénarios sont donc susceptibles de nécessiter des contre-mesures pour la chaîne alimentaire. Cependant, les implications seront toujours limitées dans le temps en raison des demi-vies relativement courtes des principaux isotopes de l'iode (8,02 jours pour l'I-131). Pour les aérosols (applicables au LOCA, non rejetés en cas de FHA), y compris le Cs-137 à vie longue (demi-vie 30,05 ans), les niveaux de dépôt ne dépasseront pas la valeur dérivée pour l'impact sur la chaîne alimentaire (dépôt maximal Cs-137 n'est que d'environ 9 Bq/m²).

La dose efficace tout au long de la vie (Lifetime Effective Dose) du fait de la radioactivité déposée dans le sol et de la consommation d'aliments à partir de 1 an après l'accident est de l'ordre d'un maximum de 5 mSv⁸² pour toutes les catégories d'âge (adultes 50 ans, adolescents et enfants jusqu'à 70 ans), et donc bien inférieure au critère de 1 Sv pour les deux scénarios d'accident.

4.2.2 Accident d'extension de la conception

L'impact radiologique de l'accident d'extension de conception enveloppante de Doel 4, soit une Complete Station Blackout (CSBO), a été évalué sur la base de l'analyse réalisée par Tractebel dans le cadre des directives FANC-AFCN/Bel V de 2017 pour les nouvelles installations de Classe 1. Les résultats sont donnés dans le Tableau 59.

Tableau 59 : Dose efficace et dose équivalente à la thyroïde sur le périmètre de KC Doel en raison de la survenance d'une CSBO pour Doel 4.

Doel 4 CSBO		
	Dose	Limite de la licence
Dose efficace	8,89 mSv	néant
Dose équivalente à la thyroïde	0,24 mSv	néant

La dose efficace provient presque exclusivement de l'exposition directe au rayonnement du nuage radioactif passant à la suite de plusieurs événements contrôlés via le Containment Filtered Venting System (à une hauteur de 65 mètres). Ce système de filtration (CFVS) libère presque exclusivement les gaz nobles dans l'atmosphère, tandis que d'autres groupes de radionucléides sont largement bloqués. Il existe également des fuites limitées depuis l'enceinte (à une hauteur typique de 30 mètres). La quantité d'iode rejetée est donc limitée, d'où une dose équivalente à la thyroïde limitée et des niveaux de contamination limités. Pour les accidents d'extension de conception, aucune limite n'est précisée dans l'autorisation. La mise à l'abri pourrait être une contre-mesure efficace dans ce cas pour limiter davantage la dose (la directive définie dans le plan d'urgence nucléaire belge pour la mise à l'abri est de 5 mSv, voir § 9.2.1). La dose équivalente à la thyroïde, calculée pour l'individu critique, est inférieure à la directive pour l'administration de comprimés d'iode stable (10 mSv pour les enfants et personnes enceintes).

⁸²Nous nous éloignons ici des résultats de la note de Tractebel, car dans la dose efficace totale tout au long de la vie nous incluons la dose de rayonnement externe résultant de la contamination du sol (principalement par l'iode) dans la première année après l'accident.

Une contamination limitée par les isotopes de l'iode ne peut être exclue avec un éventuel impact sur la chaîne alimentaire (dépôt supérieur à 4000 Bq/m²), mais celui-ci sera de courte durée en raison de la décroissance radioactive. Après 1 an (prochaine récolte), aucun effet sur la chaîne alimentaire n'est attendu.

4.2.3 Impact des accidents considérés sur la biodiversité

Les organismes de référence examinés dans Vandenhove et al, 2013⁸³ pour les rejets de routine ont également été utilisés pour calculer l'impact des rejets accidentels sur l'environnement suite à un accident LOCA et FHA. Les organismes de référence représentatifs des écosystèmes autour de Doel sont notamment : amphibien, reptile, insecte volant, taupe, lapin, souris, oiseaux, mousse, herbe, arbre, chauve-souris, blaireau. Les calculs d'impact ont été réalisés avec l'outil d'évaluation environnementale ERICA qui prend en compte la décroissance radioactive des radionucléides. Dans les calculs, seul le dépôt maximal est pris en compte, et non le dépôt moyen, ce qui conduit à des calculs plutôt prudents puisque la flore et la faune ne se limitent pas à l'emplacement du dépôt maximal. L'outil ERICA est également utilisé pour l'exposition chronique où les concentrations restent constantes sur une longue période de temps. L'outil est donc particulièrement adapté aux rejets de routine ou à une situation existante. En cas de rejets accidentels, avec principalement des radionucléides de courte durée de vie, la radioactivité déposée dans le sol diminue rapidement avec le temps et, par conséquent, également le débit de dose auquel la faune et la flore sont exposées. Pour avoir une idée de l'exposition chronique après un rejet accidentel, le débit de dose moyen est calculé sur le premier mois et la première année après l'accident.

Les calculs avec l'outil de risque environnemental révèlent que les doses radiologiques à la faune et à la flore pour l'accident LOCA varient d'un facteur supérieur à 17 jusqu'à 59, selon le temps écoulé après l'accident (immédiat à 1 an après le dépôt maximal), les organismes les plus exposés étant les mammifères.

Les valeurs de dose maximale de dépôt vont de 0,1 à 1,74 µGy/h (la dose externe dominant la dose interne) et sont toutes inférieures à la valeur de screening de 10 µGy/h en dessous de laquelle aucun effet nocif sur la faune et la flore n'est observé. Le débit de dose moyen sur le premier mois après l'accident est négligeable, c'est-à-dire inférieur à 4,5E-02 µGy/h et tombe encore sur 1 an à moins de 5E-03 µGy/h. Sur la base de ces débits de dose, on peut donc conclure qu'il ne s'agit pas d'une exposition chronique à la radioactivité et que l'impact nocif de l'exposition de la faune et de la flore à la radioactivité accidentelle rejetée est donc négligeable.

Les doses radiologiques à la faune et à la flore pour le FHA vont de 19 à 159 µGy/h pour le dépôt maximal, les organismes les plus exposés étant les invertébrés détritivores arthropodes, les annélides, les petits mammifères et les souris. Les expositions sont plus élevées que dans le cas LOCA. En cas d'accident FHA, cependant, seuls des isotopes d'iode à vie courte sont libérés, à savoir ¹³¹I, ¹³²I, ¹³³I et ¹³⁵I dont ¹³¹I a la demi-vie la plus longue, c'est-à-dire 8 jours. Les autres isotopes de l'iode ont des demi-vies de 2 (¹³²I) à 20 heures (¹³³I). Les radionucléides contribuant le plus à la dose sont le ¹³¹I et le ¹³³I (par ordre décroissant), la dose externe dominant la dose interne. Le fait que ces isotopes de l'iode contribuent le plus peut s'expliquer par leur demi-vie plus longue, ce qui signifie qu'ils persistent dans l'environnement plus longtemps que ¹³²I et ¹³⁵I. Cependant, les débits de dose diminuent avec le temps. Sur 1 mois, le débit de dose moyen varie entre 9 et 46 µGy/h et n'est inférieur qu'à la valeur seuil de 10 µGy/h pour l'herbe. Sur 1 an, les débits de dose moyens sont compris entre 0,9 et 4,2 µGy/h et sont donc inférieurs à la valeur seuil pour tous les organismes de référence.

Pour un certain nombre d'organismes, le débit de dose est donc supérieur à 10 µGy/h pour une exposition durant le premier mois après l'accident. Dans ce scénario particulier, la prochaine étape logique consiste à comparer directement les débits de dose avec les niveaux de référence dérivés de la CIPR (DCRL) pour les animaux et les plantes de référence, en dessous desquels il est peu probable qu'il y ait une probabilité d'effets nocifs, sur la base

⁸³ Vandehove H., Sweeck I., Vives i Batlle, Wannijn J., Van Hees M., Camps J., Olyslaegers G., Miliche C., Lance B., 2013. Predicting the environmental risks of radioactive discharges from Belgian nuclear power plants. Journal of environmental radioactivity, 126, pp. 61-76.

des meilleures connaissances scientifiques disponibles. Chaque DCRL représente une largeur de bande de débits de dose pour chaque organisme de référence dans laquelle il est probable que des effets nocifs se produisent.

Les informations de la publication 108 de la CIPR (ICRP, 2008) révèlent que pour les cerfs, les rats, les pins et les canards, la bande inférieure des DCRL est de 0,1 mGy/j (4 µGy/h). Pour l'herbe et la grenouille, le niveau bas de la bande est de 1 mGy/j (40 µGy/h). Pour les vers de terre et les abeilles, la bande inférieure des DCRL est de 10 mGy/j (400 µGy/h). Les doses calculées dépassent ces niveaux inférieurs pour un certain nombre d'organismes de référence, le cas le plus pertinent étant les invertébrés détritvires arthropodes. Mais s'il est impossible d'affirmer qu'il n'y a absolument aucun risque pour les populations de faune et de flore en cas d'un tel accident, force est de constater que certaines plantes et certains animaux sont plus résilients que d'autres, notamment au niveau des populations. Nous concluons que le dépassement de la valeur seuil de 10 µGy/h peut entraîner un certain nombre d'effets nocifs tels qu'une réduction de la reproduction et une augmentation de la morbidité. Dans ce scénario spécifique, le débit de dose moyen sur 1 an tombe en dessous de la valeur seuil de 10 µGy/h pour tous les organismes. Il n'y a donc pas d'exposition chronique à long terme. Nous pouvons donc conclure que l'impact nocif de l'exposition de la faune et de la flore à la radioactivité accidentelle rejetée est très faible voire négligeable.

Il convient également de noter que les calculs sont prudents. Il est donc tout à fait possible qu'une évaluation révisée avec une réduction de la prudence de certaines de ses hypothèses (comme l'hypothèse que la faune reste à l'endroit où les concentrations dans le sol sont les plus élevées) puisse encore réduire certains débits de dose.

Sur la base des radionucléides rejetés et des dépôts, on peut s'attendre, pour l'accident CSBO, à des effets nocifs modérés à négligeables sur la flore et la faune.

4.2.4 Rejets accidentels

Si aucune prolongation de durée de vie n'a lieu, Doel 4 sera définitivement arrêté (MAD). Pour dissiper la chaleur engendrée par la décroissance radioactive, il faudra encore refroidir les assemblages de combustibles, dans un premier temps avec le circuit de refroidissement du réacteur. Les réacteurs seront définitivement déchargés. Les assemblages de combustibles sont transférés vers la piscine de désactivation et refroidis avec les circuits de refroidissement de cette piscine. Cette phase de transition – la phase post-opérationnelle – jusqu'au début du démantèlement aura lieu tant dans l'Alternative Zéro (pas de Projet) que dans le Projet. Cependant, la quantité de radioactivité dans le cœur diminuera rapidement (désintégration des radionucléides de courte durée de vie), nécessitant moins de refroidissement, et de même, l'inventaire des matières radioactives susceptibles d'être libérées dans ces accidents diminue rapidement avec le temps après l'arrêt, réduisant également l'impact d'un accident s'il devait se produire. Il est évident que le risque (risque = probabilité x impact), qui est déjà faible avec une prolongation (du fait de la faible probabilité d'accident et de l'impact radiologique limité), est encore plus faible sans prolongation, étant donné que l'impact est au moins plus petit. Le projet comporte donc un risque limité lié à un accident (accident tant de base de conception que d'extension de conception). Cependant, pour l'ensemble du site de KC Doel, le risque diminuera étant donné que selon le calendrier actuel dans la période du projet (période de 10 ans après 2025) seul Doel 4 sera exploité pour la production d'électricité industrielle.

4.3 Déchets radioactifs d'exploitation

4.3.1 Traitement des déchets sur site

L'exploitation de la centrale nucléaire (fonctionnement normal) s'accompagne de la production de différents types de déchets radioactifs, dont le volume est minimisé autant que possible par le traitement dans le bâtiment de traitement des eaux et des déchets (TED, en néerlandais, Water- en Afvalbehandelingsgebouw - WAB) sur le site de KC Doel :

- Déchets inflammables

Après la réduction du volume dans le TED, les déchets inflammables sont transportés vers Belgoprocess en tant que déchets non conditionnés pour être incinérés. Chez Belgoprocess, le volume des déchets est réduit davantage grâce

à l'incinération. La fraction résiduelle (les cendres), qui contient les substances radioactives collectées, est conditionnée.

- Déchets non inflammables

Les déchets non inflammables ou compactables sont décomposés en plusieurs flux de déchets. Entre autres, les différents métaux seront séparés des autres déchets compactables dans le but de réduire autant que possible chaque flux individuel de déchets. Dans les installations de KC Doel, les déchets compactables sont d'abord comprimés (à l'aide d'une presse de 16 ou 100 tonnes), puis ils sont transportés comme déchets non conditionnés vers Belgoprocess. Ils y sont comprimés pour la deuxième fois dans leurs installations avec une presse de 2000 tonnes. Les déchets compactés sont ensuite conditionnés.

- Filtres

Afin d'éliminer le plus grand nombre possible de particules radioactives éventuellement présentes dans l'air, l'air de la zone contrôlée est filtré en continu par des préfiltres, des filtres à charbon actif (pour l'iode) et des filtres absolus. Les filtres usés de ventilation de ces installations sont également traités comme des déchets inflammables ou compactables en fonction de leurs propriétés physiques et transportés à Belgoprocess comme déchets non conditionnés.

Les filtres liquides des circuits de la partie nucléaire des installations sont également comprimés et conditionnés ensemble dans un mélange de béton, si possible.

- Déchets liquides

Le volume des déchets liquides radioactifs est principalement réduit par évaporation. Les substances radioactives présentes dans le liquide sont collectées dans le « concentré », et la partie non radioactive des liquides, les condensats, peut être rejetée après des contrôles préalables. Le « concentré » est ensuite transformé en déchets conditionnés dans l'installation de conditionnement de Doel. Après acceptation⁸⁴ par l'ONDRAF, les déchets conditionnés sont transportés vers Belgoprocess en vue de leur stockage.

- Résines

Les résines radioactives des échangeurs d'ions, utilisées pour la purification des circuits, ne sont pas compactées mais transformées en déchets conditionnés, tout comme le concentré. Les résines sont mélangées à un mélange de béton.

- Vêtements de protection

L'utilisation de vêtements de protection jetables (déchets radioactifs) est limitée autant que possible dans les parties nucléaires des installations. L'utilisation de vêtements de protection réutilisables et lavables est préférée. Ces équipements de protection individuelle (EPI) réutilisables sont nettoyés dans la laverie spécialisée du bâtiment TED. L'eau de lavage est rejetée après filtrage et contrôles préalables.

4.3.2 Quantités de déchets de faible et moyenne activité

Après le traitement des différents flux de déchets dans le TED, les déchets d'exploitation de KC Doel sont transportés vers Belgoprocess (BP) pour y être traités et/ou entreposés. Un aperçu des quantités de déchets de faible et moyenne activité (tant conditionnés (DC) que non conditionnés (DNC)), et des volumes résultants à stocker après traitement chez BP, sont présentés dans les deuxième et troisième colonnes du Tableau 60. Ces données ont été compilées sur la base de la déclaration environnementale de KC Doel, qui est mise à jour chaque année^{lxvi}. Aucune distinction n'est faite entre les déchets de catégorie A ou de catégorie B. Il convient de noter qu'en 2020 le volume de déchets conditionnés (DC) après traitement chez BP est plus important que les années précédentes, car des déchets précédemment entreposés ont également été évacués et des actions de rangement complémentaires ont

⁸⁴ L'acceptation est l'ensemble des contrôles réalisés par l'ONDRAF pour vérifier si les déchets sont conformes aux critères d'acceptation applicables.

été organisées. De plus, plus de déchets compressibles ont été évacués, ce qui a un facteur de réduction de volume plus faible que les déchets combustibles.

La colonne 4 indique le volume de DC exprimé par TWh d'électricité nette produite à KC Doel au cours de l'année correspondante, résultant en une moyenne à long terme de **6,11 m³/TWh de déchets conditionnés de faible et moyenne activité**. En tenant compte de la part du réacteur de Doel 4 dans la production d'électricité, on arrive à une moyenne à long terme de **45,9 m³ de déchets conditionnés de faible et moyenne activité** par an pour Doel 4 (colonne 5). La part réelle de Doel 4 dans la production totale d'électricité du site a fluctué autour de 40 % sur la période 2011-2020. Ce ratio est légèrement supérieur au ratio basé sur la puissance (36 %), car d'autres réacteurs (principalement Doel 3 au cours de la période 2012-2015) ont été arrêtés plusieurs fois pendant de longues périodes.

Tableau 60 : Volumes annuels de déchets de faible et moyenne activité transportés de KC Doel à Belgoprocess, et les volumes résultants à stocker après y avoir été traités. DC : déchets conditionnés ; DNC : déchets non conditionnés ; ND : données non disponibles. En 2014, une correction a été apportée aux chiffres des années précédentes ; les valeurs corrigées ont été reprises ici. À partir de 2015, le volume est calculé selon une méthodologie différente : les volumes de résines non conditionnées sont pris en compte.

	Quantité (m ³) de déchets de faible et moyenne activité transportés vers BP (DC + DNC, KC Doel)	Volume (m ³) de déchets de faible et moyenne activité (DC, KC Doel)	Volume de déchets de faible et moyenne activité (DC) par électricité nette produite à KC Doel (m ³ /TWh)	Volume de déchets de faible et moyenne activité pour Doel 4 (m ³)
2011	ND	196	8,62	68,6
2012	ND	124,7	6,84	53,5
2013	ND	125,9	6,08	51,3
2014	ND	46,8	3,33	16,3
2015	ND	108,2	9,68	75,0
2016	ND	100,5	4,54	39,9
2017	ND	95,1	4,60	34,3
2018	183,9	91,1	7,64	42,2
2019	372	61,9	2,96	24,9
2020	293	132	6,85	53,2
Moyenne à long terme		108	6,11	45,9

4.3.3 Effets de la LTO et implications pour la gestion des déchets

Sur la base du Tableau 60, il est prévu que le report de la désactivation du réacteur nucléaire de Doel 4 entraînera une quantité complémentaire de déchets faiblement et moyennement radioactifs d'environ **460 m³** pour une période de production de 10 ans. Cette estimation est assez prudente, avec une moyenne sur une large période (2011-2020) qui comprend des années de production de déchets plus élevée. En supposant que l'impact des travaux de préparation de la LTO est relativement limité en termes de génération de déchets radioactifs, cette estimation peut être considérée comme représentative des deux périodes/aspects travaux de préparation de la LTO + exploitation de la LTO. Il s'agit principalement de déchets de catégorie A, avec seulement une quantité limitée de déchets de catégorie B, qui peuvent inclure certaines résines et certains filtres. Par rapport aux ~50 000 m³ de

déchets de catégorie A actuellement inclus comme terme source dans le dossier de sûreté du stockage en surface, ^{lxvii}cela représente une augmentation marginale (< 1 %).

En supposant que la quantité supplémentaire de déchets de catégorie B est négligeable, le volume supplémentaire de déchets correspond à environ **287 monolithes** ou **0,31 module** dans l'installation de stockage pour les déchets de catégorie A. La capacité (volumétrique) du stockage est de 34 modules ^{lxviii}, sur la base des éléments suivants :

- estimations des quantités de déchets de catégorie A existants et futurs à partir de 2013 (ne tenant donc pas compte d'une éventuelle LTO des tranches nucléaires de Doel et Tihange) ; 28,6 modules ;
- une réserve de ~20 % (5,4 modules), dont une décision de prolonger l'exploitation de Doel 4 (en plus d'autres décisions déjà prises) consomme donc 0,31 module soit ~5,7 %.

Cela suppose que ces déchets répondent aux critères d'acceptation fixés par l'ONDRAF qui prennent en compte, entre autres, les critères de conformité du rapport de sûreté. Ces derniers concernent des critères radiologiques (critères de matières fissiles et de criticité, ainsi que des limites d'activité volumique au niveau des radionucléides) et un certain nombre d'exigences de conformité physico-chimiques. Comme il s'agit de la prolongation d'une activité existante, aucun impact (supplémentaire) n'est attendu sur la sûreté (à court et long termes) de l'installation de stockage des déchets de catégorie A, au-delà de l'impact lié en tout cas à la mise en place de cette installation de stockage.

4.4 Combustibles usés

Dans la centrale nucléaire, l'électricité est produite à partir de l'énergie libérée par la fission nucléaire de l'uranium 235 présent dans les assemblages de combustibles. Après trois à quatre ans dans le cœur du réacteur, un assemblage de combustible est épuisé, ce qui signifie que toute l'énergie utilisable a disparu. Ces assemblages de combustibles épuisés sont refroidis sous eau (au moins 2 ans) puis transportés vers le bâtiment d'entreposage des combustibles usés (SCG ou SF²) où ils sont entreposés à sec dans des conteneurs de type emballages de transport-entreposage (DPC - dual purpose cask). Ce type d'emballage est utilisé depuis la fin des années 1970 et fonctionne selon un système de refroidissement passif. Dans le cas de la centrale nucléaire de Doel, les emballages sont équipés d'un couvercle primaire et d'une protection antimissile. Des tests de résistance ont démontré que les phénomènes naturels extrêmes (tremblements de terre ou inondations) qui pourraient survenir en Belgique ne peuvent pas compromettre la sûreté des installations d'entreposage.

4.4.1 Quantités

La quantité de déchets de haute activité produits par une centrale nucléaire dépend en grande partie de la quantité d'électricité produite et du cycle de recharge de la tranche. Le Tableau 61 indique le nombre d'assemblages de combustibles définitivement déchargés chaque année dans les différentes tranches nucléaires, sur la base des données de la déclaration environnementale de KC Doel ^{lxix}. Les mêmes informations figurent dans le Tableau 62, exprimées en tML (tonnes Heavy Metal/tonnes de métaux lourds).

Tableau 61 : Nombre d'assemblages de combustibles finalement déchargés dans les différentes tranches nucléaires de KC Doel.

	Doel 1	Doel 2	Doel 3	Doel 4	Total KC Doel
2011	32	28	44	52	156
2012	32	32	44	60	168
2013	0	32	0	0	32
2014	36	28	0	56	120
2015	60	0	44	52	156
2016	28	40	40	0	108
2017	28	32	0	60	120

2018	0	28	40	56	124
2019	24	28	40	0	92
2020	24	28	44	52	148
Moyenne à long terme				39	122

Tableau 62 : Nombre de tonnes de matières fissiles (tML ou tonnes de Métaux Lourds) définitivement déchargées dans les différentes tranches nucléaires de KC Doel.

	Doel 1	Doel 2	Doel 3	Doel 4	Total KC Doel
2011	8,6	7,5	20,2	28,1	64,5
2012	8,6	8,6	20,2	32,5	69,9
2013	0,0	8,6	0,0	0,0	8,6
2014	9,7	7,5	0,0	30,3	47,5
2015	16,1	0,0	20,2	28,1	64,5
2016	7,5	10,8	18,4	0,0	36,7
2017	7,5	8,6	0,0	32,5	48,6
2018	0,0	7,5	18,4	30,3	56,2
2019	6,5	7,5	18,4	0,0	32,4
2020	6,5	7,5	20,2	28,1	62,4
Moyenne à long terme				21,0	49,1

Les Tableaux ci-dessus montrent que la production annuelle de la tranche Doel 4 s'élève en moyenne à 39 assemblages de combustibles, soit 21,0 tML de matières fissiles.

4.4.2 Effets de la LTO et implications pour la gestion des déchets

Sur la base des Tableaux ci-dessus, on peut s'attendre à ce que la prolongation de l'exploitation de Doel 4 pendant 10 ans génère une quantité complémentaire d'environ **390 assemblages de combustibles usés**. Cela représente une **augmentation de 3,5 %** par rapport à l'ensemble de l'inventaire belge de combustible en cas d'arrêt définitif. Il s'agit d'assemblages UOX 14ft avec une masse U initiale de 0,541 tML/assemblage, dont les caractéristiques ne devraient pas différer des assemblages de combustibles déjà produits à Doel 4.

Entreposage

Dans KC Doel, les assemblages de combustibles sont temporairement entreposés à sec dans des conteneurs dans le bâtiment des conteneurs de matière fissile (BCMF, en néerlandais SCG - Splijstof Container Gebouw), et à partir de 2025 également dans le bâtiment SFB de l'entrepôt SF² (voir § 2.3.7.3). Les bassins de désactivation agissent comme un tampon dans lequel les grappes de combustible peuvent se refroidir. Des informations plus détaillées sur le projet SF² sont disponibles dans le rapport RIE correspondantⁱⁱⁱ. Le report de la désactivation de Doel 4 permet d'étaler la déconnexion du réseau des 4 tranches, au lieu de la condenser sur quelques années.

L'AIEA a mené un programme de recherche international^{lxiv} (projet SPAR : Spent Fuel Performance and Research Program, 1997-2001) sur le comportement du combustible nucléaire irradié et des matériaux utilisés pour son entreposage à long terme (100 ans et plus). Sur la base des programmes réalisés, il a été possible d'exposer un certain nombre de mécanismes de dégradation pour les éléments combustibles. Après une analyse détaillée, il a été conclu qu'il est peu probable que ces mécanismes affectent l'intégrité des éléments à long terme. L'objectif à long

terme du maintien de l'intégrité des combustibles irradiés est de garder toutes les options ouvertes pour la gestion de ce combustible nucléaire usé.

Stockage

Une solution de gestion à long terme devra être élaborée pour ces assemblages de combustibles, ce qui revient à un stockage géologique si les matières fissiles sont considérées comme des déchets (voir § 2.3.7.4). En supposant que le stockage se fera dans de l'argile peu indurée, avec des superconteneurs comme emballage primaire, la consommation supplémentaire ci-dessus correspondrait à **98 superconteneurs supplémentaires** (Type SC-4) et à une longueur de galerie de stockage supplémentaire requise d'environ 600 m.

Les implications pour la sûreté à long terme d'un tel système de stockage resteront limitées. Les évaluations de sûreté à long terme des systèmes de stockage sont des analyses complexes dans lesquelles des estimations de l'impact ou du risque radiologique sont réalisées sur la base de scénarios dans lesquels des événements attendus, possibles ou hypothétiques déterminent les performances en termes de confinement et d'isolement⁸⁵ des structures, systèmes et composants (SSC)⁸⁶. L'impact ou le risque est le résultat de très petites fractions de radionucléides qui pourraient être rejetées du système de stockage dans les eaux souterraines à très long terme (plusieurs dizaines de milliers à centaines de milliers d'années). L'utilisation de cette eau pour toutes sortes d'applications (par exemple l'eau potable, l'abreuvement du bétail, l'irrigation des cultures) pourrait alors conduire à une éventuelle exposition radiologique. Une quantité supplémentaire de combustible usé à stocker n'entraînera pas d'augmentation proportionnelle de la dose ou du risque estimé, car les pics de concentration locaux dans le récepteur de la biosphère sont pris en compte, et ces concentrations dépendent principalement d'autres facteurs : configuration du stockage, vitesse à laquelle les radionucléides se libèrent des déchets, vitesse de migration - principalement par diffusion - à travers les barrières artificielles et naturelles, vitesse d'écoulement de l'eau dans les aquifères environnants et vitesse de décroissance radioactive.

4.5 Démantèlement

Les matières radioactives libérées lors du démantèlement des centrales nucléaires sont traitées et décontaminées au maximum, selon des normes strictes, afin de limiter au maximum la quantité de déchets radioactifs. La grande majorité (98 % selon les estimations d'Electrabel SA) sont des déchets non radioactifs ou conventionnels qui seront recyclés au maximum. Les 2 % restants sont donc principalement constitués de déchets de catégorie A qui seront conditionnés et emballés en monolithes sur les sites, puis transférés à l'ONDRAF pour stockage en surface. Des parties du réacteur, le réacteur lui-même et l'enveloppe en béton seront probablement transférés en grande partie en tant que déchets de catégorie B dans des conteneurs spécialement conçus vers l'entreposage temporaire sur les sites (SF²) en attendant le stockage définitif en profondeur^{lxv}.

Une partie des déchets radioactifs est due à l'activation neutronique de grands composants (structurels). Cette activation se produit pendant le fonctionnement du réacteur et est généralement estimée par des calculs, tels que ceux donnés au paragraphe suivant. Les matériaux proches de la source de neutrons (comme la section centrale de la cuve du réacteur) sont plus activés que les matériaux plus éloignés. La classification des déchets (catégorie A ou B) est basée sur la concentration de radioactivité des radionucléides importants pour la sûreté et dépend donc du flux de neutrons pendant le fonctionnement du réacteur et de la durée d'irradiation. Une exposition plus longue aux neutrons pourrait donc éventuellement conduire à un déplacement de la zone de transition de la catégorie A

⁸⁵ Le confinement des radionucléides et l'isolement des déchets sont des fonctions de sûreté que le système de stockage doit remplir pour assurer la sûreté à long terme.

⁸⁶ structures, systèmes et composants, tels que définis à l'article 1er, 9° de l'AR PSIN : tous les éléments d'une installation ou d'une activité – à l'exception des facteurs humains – qui contribuent à la protection et à la sûreté nucléaire.

vers la catégorie B, ce qui augmenterait le volume de déchets de catégorie B (voir représentation schématique dans la Figure 75). Il n'y a actuellement que peu ou pas de données de mesure disponibles pour valider ces calculs⁸⁷.

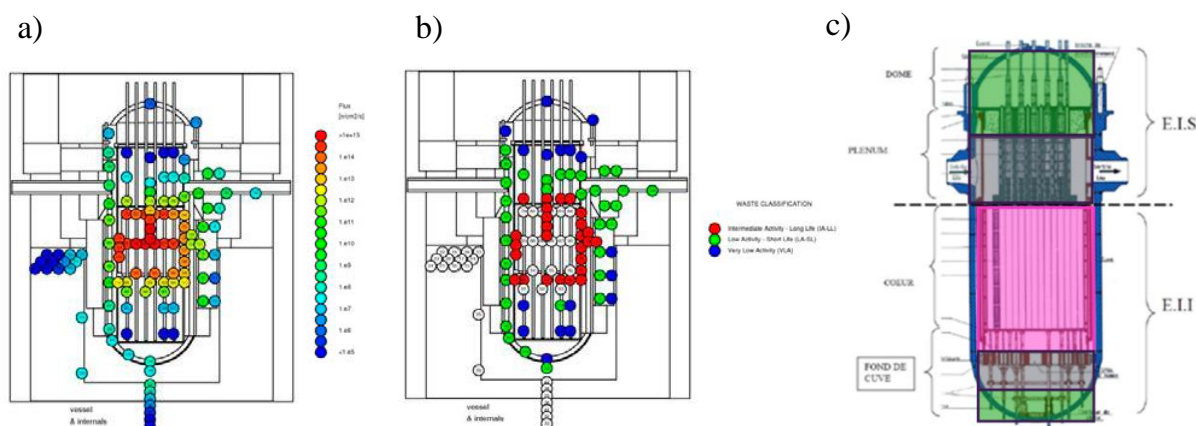


Figure 75 : Représentation schématique de a) le flux de neutrons simulé dans une cuve de réacteur, b) la répartition qui en résulte en classes de déchets et c) la désignation de la zone de transition (en gris) pour le classement a priori en déchets de catégorie A (vert) ou B (violet), a) et b) tirés de. ^{bxxvi}

Afin de faire une estimation quantitative de l'effet d'un report de la désactivation de 10 ans, un calcul de l'activation à différents endroits dans la cuve du réacteur de Doel 4 a été effectué en utilisant le code d'activation ALEPH2^{bxxvii}.

4.5.1 Données d'entrée

Les données d'entrée nécessaires aux calculs concernent i) le flux de neutrons, ii) le spectre de neutrons, iii) l'historique d'irradiation, et iv) la composition de la matière.

- i) Un flux neutronique intégré à énergie constante de $1,4 \times 10^{11}$ [n/cm²s] a été utilisé, basé sur la fluence maximale de conception de la cuve du réacteur de Doel 4 et Tihange 3, ce qui correspond aux valeurs moyennes aux capsules de surveillance⁸⁸ après 40 ans de fonctionnement.
- ii) Étant donné que les spectres réels de Doel 4 et Tihange 3 ne sont pas donnés, on a utilisé un spectre de neutrons normalisé typique pour les réacteurs à eau légère thermique^{bxxviii}, « PWR RPV » dans la Figure 76. Étant donné que ce spectre présente une contribution significative des neutrons de fission (avec une énergie plus élevée), on suppose qu'il est représentatif de l'intérieur de la cuve du réacteur. Pour évaluer la sensibilité à la forme du spectre, un autre spectre « BR1 Y3 » a également été considéré, calculé pour le canal Y3 dans le réacteur BR1 du SCK CEN, et dont l'emplacement est plutôt représentatif de l'extérieur de la cuve du réacteur.

⁸⁷ Un exemple de validation des calculs d'activation des neutrons peut être trouvé dans l'Annexe IV de l'IAEA SRS-95^{bxxvi}, dans lequel EDF-CIDEN fait la comparaison entre les calculs et les relevés des produits d'activation dans la cuve du réacteur de Chooz A.

⁸⁸ Les capsules de surveillance sont de petits échantillons en acier ayant la même composition de matériau que la cuve du réacteur, qui sont placés légèrement plus près du cœur afin qu'ils soient soumis à un flux de neutrons légèrement plus élevé que l'acier de la cuve. L'analyse de ces échantillons fournit des informations prudentes sur les processus de vieillissement du matériau.

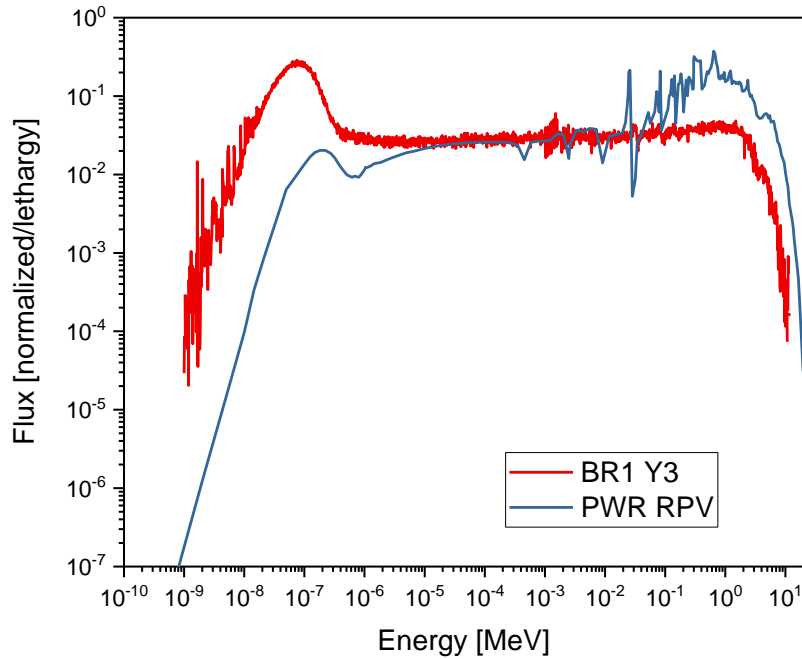


Figure 76 : Spectre normalisé de neutrons par unité de léthargie.

- iii) Pour calculer l'activation, on a d'une part utilisé l'historique réel d'irradiation de Doel 4^{lxxx} avec des données de 1985 à 2021. Cet historique est constitué d'une alternance de périodes d'irradiation (supposées à pleine puissance) et de périodes d'arrêt au cours desquelles peut se produire une désintégration des radionucléides produits. Sur cette base, un facteur de charge annuel moyen de 85 % a été estimé pour Doel 4, qui a été extrapolé pour la période LTO. Le modèle prend donc, à partir de 2022, en compte des cycles annuels de 310 jours d'irradiation et 55 jours de décroissance. D'autre part, on a également appliqué une irradiation continue sans périodes d'arrêt afin d'obtenir des estimations prudentes des activités.
- iv) La composition du matériau est basée sur les données fournies pour les capsules de surveillance^{lxxx}, qui sont spécifiées pour l'enveloppe du cœur, l'anneau de transition et la soudure pour la cuve du réacteur Doel 4. La composition chimique en pourcentage massique des éléments majeurs (hors fer) est donnée dans le Tableau 63.

Tableau 63 : Composition des principaux éléments des pièces de la cuve du réacteur de Doel 4 (en % poids).

Unité	Matériel	C	S	P	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Mo	V
Doel 4	Enveloppe du cœur	0,20	0,0075	0,007	0,275	1,4	0,74	-	0,05	0,51	<0,01
	Anneau de transition	0,215	0,005	0,007	0,285	1,46	0,77	-	0,04	0,49	<0,01
	Soudure	0,062	0,006	0,015	0,15	1,11	0,8	0,075	0,093	0,480	0,019

Ces éléments déterminent le comportement thermo-chimique de l'acier. Cependant, dans les minerais et au cours du processus de production, on peut aussi retrouver des oligo-éléments (ou des impuretés) qui seront présents dans l'acier final. Ces éléments n'influencent pas le comportement de l'acier, mais peuvent être importants dans le cadre d'une gestion sûre à long terme. Comme aucune information n'est disponible sur la quantité d'oligo-éléments dans les cuves des réacteurs de Doel 1 et 2, la directive internationale NUREG-3474^{lxxxi} a été utilisée.

4.5.2 Résultats

Étant donné qu'un flux constant de neutrons de $1,4 \times 10^{11}$ [n/cm²s] a été utilisé pour tous les calculs de cette étude et que la fluence totale est plus élevée pour la cuve du réacteur de Tihange 3 en raison du facteur de charge plus élevé supposé, les résultats des calculs d'activation de l'enveloppe de Tihange 3 seront ? à ceux de Doel 4. On se reportera donc au § 7.5.2 pour une discussion des résultats.

4.5.3 Conclusions

Les conclusions concernant les calculs d'activation sont analogues à ceux effectués pour Tihange 3, voir § 7.5.3.

4.6 Effets transfrontières

4.6.1 Fonctionnement normal

La frontière avec les Pays-Bas est la plus proche, à environ 3,15 km du site de KC Doel. Cependant, compte tenu de l'impact radiologique négligeable et imperceptible (environ 0,02 mSv/an de rejets gazeux et liquides et éventuellement une dose limitée de rayonnement direct, mais dans les limites des variations locales du rayonnement naturel) lors de l'exploitation de toutes les tranches de KC Doel pour la personne la plus exposée se trouvant sur le territoire belge juste à l'extérieur du site de KC Doel et du fait que l'impact ne diminue qu'avec la distance (dilution pour les rejets et loi du carré inverse pour tout rayonnement direct de KC Doel), on peut affirmer qu'il n'y a pas d'effets transfrontières sur les personnes et l'environnement pendant le fonctionnement normal de KC Doel, c'est-à-dire pas non plus lorsque Doel 4 est prolongé pour une période de 10 ans.

4.6.2 Accidents

Pour l'évaluation des effets transfrontières dans les deux scénarios généraux d'accident de base de conception (LOCA et FHA) et le scénario d'accident hors conception, nous utilisons d'une part les calculs de Tractebel qui suivent la méthodologie basée sur les nouvelles directives de la FANC-AFCN/BEL V pour les nouvelles installations de Classe 1 pour l'impact sur les Pays-Bas (compte tenu de la courte distance, la modélisation atmosphérique utilisée convient à cette fin) et pour les autres pays voisins à une plus grande distance la méthodologie Flexpart, toutes deux abordées dans la partie méthodologie § 2.3.4.

Les deux méthodologies font une estimation prudente pour l'individu critique. Pour les calculs Flexpart, nous avons donc considéré prudemment le terme source pour le LOCA (durée 720 heures) comme étant un rejet de 6 heures (ceci provoque moins de dissémination), pour le FHA de 2 heures (durée réelle de rejet) et pour la CSBO également de 6 heures (rejets pendant différents événements et rejet continu sur 10 jours). We beschouwen in de Flexpart berekening ook alle jodium in de elementaire vorm (I₂).

Les quantités rejetées dans l'environnement qui sont supposées dans ces scénarios sont données dans le Tableau 64.

Tableau 64 : Activité rejetée des différents groupes de radionucléides importants pour l'impact.

	Scénarios de base de conception		Scénario hors conception
	LOCA	FHA	CSBO
Gaz nobles	2,5 PBq	8,89 PBq	13,7 PBq
Iode	64,5 TBq (74,4 % I-131)	7,23 TBq (43 % I-131)	0,49 TBq (14,6 % I-131)
Aérosols (Cs-137 + Cs-134)*	1,88 GBq	-	58,3 GBq

*Cs-134 applicable uniquement pour l'accident CSBO

L'impact radiologique calculé, à savoir la dose efficace totale, la dose équivalente à la thyroïde et le niveau de dépôt I-131, sont données dans le Tableau 65. Celles-ci ont été déterminées pour les Pays-Bas à une distance d'environ 3

kilomètres du site de Doel, conformément aux nouvelles directives de la FANC-AFCN/Bel V (études Tractebel⁸⁹, adaptées aux courtes distances), pour les autres pays (et dépôt aux Pays-Bas) avec la méthode Flexpart (distances plus importantes : voir méthodologie § 2.3.4.3). Les deux méthodes utilisent le même terme source total. Dans la méthode Flexpart, on utilise les concentrations maximales dans l'air et les niveaux de dépôt dans les pays concernés déterminés pour une série de simulations avec le début du rejet à chaque heure d'une année complète (données météorologiques CEPMMT 2020 pour la durée considérée du rejet (6 heures ou 2 heures, selon le scénario) et les groupes de radionucléides considérés. Les valeurs maximales en mer ont également été déterminées. Sur la base de ces concentrations dans l'air et des dépôts, la dose totale efficace, la dose équivalente à la thyroïde et les niveaux de dépôt ont ensuite été déterminés pour les différentes catégories d'âge. Pour les doses, le maximum dans toutes les catégories d'âge a été tabulé (individu critique).

Tableau 65 : La dose efficace totale (DET), la dose équivalente à la thyroïde (pour les deux individus critiques) et le dépôt maximal d'I-131 pour les différents pays voisins et pour les différents scénarios d'accidents considérés ont été déterminés en utilisant la méthodologie Flexpart. Deux valeurs sont données pour les Pays-Bas. La première valeur a été déterminée avec la méthodologie pour l'impact local, la valeur entre parenthèses avec la méthodologie Flexpart (voir texte). Pour l'évaluation nous utilisons la méthode locale pour les Pays-Bas (pour les doses) et la méthode Flexpart pour les autres pays.

Doel 4	LOCA			FHA			CSBO		
	DET (mSv)	Dose à la thyroïde (mSv)	Dep. I131 (Bq/m ²)	DET (mSv)	Dose à la thyroïde (mSv)	Dep. I131 (Bq/m ²)	DET (mSv)	Dose à la thyroïde (mSv)	Dep. I131 (Bq/m ²)
Pays-Bas	0,22 (0,55)	4,05 (16.0)	(3.4 10 ⁵)	0,44 (0,14)	4,79 (1,46)	(33202)	0,44 (12,5)	0,011 (0,51)	(5980)
Allemagne	0,01	0,26	8400	0,01	0,04	992	0,99	0,009	190
Luxembourg	0,00	0,05	4970	0,00	0,01	380	0,12	0,002	61
France	0,03	0,90	12700	0,02	0,15	1600	1,11	0,032	289
Royaume-Uni	0,01	0,29	5330	0,01	0,03	410	0,56	0,009	70
Mer	0,37	10.62	-	0,10	1,03	-	8,57	0,340	-

Nous constatons que les doses aux Pays-Bas, compte tenu de la proximité, sont les plus élevées, mais inférieures aux valeurs indicatives typiques pour les contre-mesures directes telles que la mise à l'abri ou l'administration de comprimés d'iode pour éviter l'accumulation d'iode radioactif dans la thyroïde (voir la partie Planification d'urgence §9.4.1). L'impact radiologique dans les pays voisins restera donc très limité. Le dépôt d'aérosols (Cs-137 et aussi Cs-134 pour l'accident CSBO) est inférieur à la valeur de tous les pays voisins et de tous les scénarios pour lesquels un impact sur la chaîne alimentaire peut être attendu. Pour les isotopes de l'iode et en particulier l'I-131, la valeur dérivée la plus faible pour la concentration dans le sol (4000 Bq/m² I-131) ayant un impact possible sur la chaîne alimentaire (par exemple, la contamination du lait) peut être dépassée dans tous les pays voisins pour l'accident LOCA. Il s'agit, à l'exception des Pays-Bas en raison de leur proximité, certes d'un dépassement très limité. Les valeurs de dépôt calculées sont, conformément à la méthodologie utilisée, pour le moment le plus défavorable auquel l'accident peut se produire (au regard des conditions météorologiques de l'année 2020), pour chaque pays

⁸⁹ LTO D4 - ELP - KCD4 - Radiological consequences of a Loss of Coolant Accident and a Fuel Handling Accident" CNT-KCD/4NT/29657/000/01, Tractebel Engineering, 2023 & DEC B: RC-1.5 - D4 - Radiological consequences off-site – Assessments DEC/4NT/0606802/150/04, Tractebel engineering, 2022

voisin. De plus, compte tenu de la demi-vie de l'I-131 (8,02 jours), cette contamination n'aura pas de conséquences à long terme.

4.7 Mesures d'atténuation : planification d'urgence

Ceci est décrit collectivement pour Doel 4 et Tihange 3: voir § 9.4.1

4.8 Lacunes dans les connaissances

Ceci est décrit collectivement pour Doel 4 et Tihange 3 : voir § 9.4.2

4.9 Recommandations

Dans le cadre de l'évaluation des effets radiologiques, nous tenons à formuler un certain nombre de recommandations pour la mise en œuvre du Projet :

1. La dose résultant des rejets gazeux et liquides lors de l'exploitation de Doel 4 est largement déterminée par les rejets gazeux de carbone 14, un radionucléide également présent à l'état naturel. Le rejet est basé sur des calculs et n'a été vérifié que par des relevés pour Tihange 2. Il a été constaté que les rejets réels de carbone 14 à Tihange 2 sont inférieurs à ceux calculés de manière (prudente). Dans ce contexte, si Doel 4 est prolongé, il serait opportun de quantifier les rejets de carbone 14 par des relevés, selon une méthode similaire à celle utilisée pour Tihange 2, afin d'obtenir une estimation meilleure et réaliste des doses en fonctionnement normal ;
2. Si Doel 4 est prolongé de 10 ans, l'exploitation coïncidera avec les phases post-opérationnelles et éventuellement de démantèlement des autres réacteurs et de certains bâtiments auxiliaires du site KC Doel. Il semble recommandé de distinguer dans la mesure du possible les expositions radiologiques qui résultent potentiellement du démantèlement et celles consécutives à l'exploitation pour la poursuite de la production d'électricité de Doel 4 et de les signaler séparément au public afin que l'impact de l'exploitation pour la production d'électricité industrielle de Doel 4 puisse être analysé séparément de toute activité de déclassement potentielle.

5 Synthèse et de décision site Doel – Doel 4

5.1 Synthèse des effets

5.1.1 Effets non radiologiques

La prolongation de la durée de vie de Doel 4 implique que pendant une période supplémentaire de 10 ans, les eaux usées sanitaires (épurées), les eaux usées industrielles traitées et l'eau de refroidissement (réchauffée) seront rejetées. Durant cette période, les problèmes de débordements, inhérents au réseau d'égouts mixtes du site, se perpétuera également. Cela ne mènera toutefois pas à une détérioration de l'état écologique de l'Escaut maritime, à condition que l'on continue à prêter une attention à la surveillance et à l'ajustement en temps utile. Le projet ne compromet pas non plus la réalisation du bon potentiel écologique de la masse d'eau. Il est toutefois recommandé que les rejets thermiques soient plus étroitement alignés sur l'évolution du gradient de température entre la frontière néerlandaise et Anvers.

La discipline Biodiversité a étudié les effets du plan en termes de qualité des eaux de surface, d'effet de barrière, de mortalité, de nuisance, d'occupation de l'espace, d'eutrophisation et d'acidification. Aucun effet n'était à prévoir en ce qui concerne l'effet de barrière et l'occupation directe des terres. Pour la mortalité, il peut y avoir un effet (limité) dû à l'aspiration de l'eau de refroidissement. En termes de perturbations, il faut uniquement s'attendre à des changements en ce qui concerne les nuisances sonores. L'importance de ces changements est plutôt limitée, car pendant la durée de vie de l'installation, les nuisances ne proviendront que de Doel 4. En outre, il s'agit d'un bruit existant qui est continu et prévisible, on ne s'attend donc pas à un impact significatif sur les espèces environnantes.

Les effets de l'exploitation de la centrale nucléaire en termes de retombées acidifiantes et eutrophisantes sont négligeables. De plus, d'autres facteurs tels que la qualité de l'eau de l'Escaut sont beaucoup plus décisifs pour l'état trophique à cet endroit. En revanche, des effets positifs peuvent être attendus des « émissions évitées » associées à 10 ans de production nucléaire supplémentaire.

Le rejet d'eau de refroidissement, d'eau sanitaire et d'eau industrielle entraîne une détérioration locale de la qualité de l'eau, qui reste toutefois limitée à la zone située à l'intérieur de la digue longitudinale. Des effets significatifs sur l'ensemble de l'écosystème de l'Escaut sont évités de cette manière. Localement, rien n'indique que les effets soient préjudiciables aux organismes présents. Compte tenu de la désignation de l'Escaut lui-même comme zone relevant de la directive "Habitats" et de l'importance potentielle de cette zone pour les oiseaux de la zone relevant de la directive "Oiseaux", il s'agit d'une conclusion importante.

Le fonctionnement de KC Doel peut également avoir un impact sur la qualité de l'air. Les principales sources susceptibles d'avoir un impact sont les chaudières à vapeur et les moteurs diesel, qui n'ont toutefois qu'un nombre limité d'heures de fonctionnement chaque année. Si seul Doel 4 est utilisé, le nombre d'heures de fonctionnement des chaudières à vapeur doublera presque, mais même dans ce cas, le nombre total d'heures de fonctionnement effectives restera limité. Les émissions des installations sont donc très limitées et diminueront encore à mesure que d'autres installations de combustion seront mises hors service.

Les émissions calculées les plus élevées (pour 2026) ont été utilisées comme données d'entrée du modèle pour calculer l'impact sur la qualité de l'air. Comme les caractéristiques du modèle n'étaient pas disponibles pour toutes les installations, on a eu recours à un certain nombre d'hypothèses dans ces calculs. Les calculs d'impact montrent que l'impact sur la qualité de l'air ambiant est négligeable (moins de 1% des valeurs limites ou tests retenus). Aucun dépassement des valeurs limites n'est identifié non plus, compte tenu des concentrations de fond attendues. Il n'est donc pas nécessaire de prendre des mesures d'atténuation.

Si la durée de vie de Doel 4 n'est pas prolongée, l'électricité devra plutôt être produite à partir de combustibles (partiellement) fossiles. Les émissions qui surviennent (et qui peuvent être considérées comme « évitées » lorsque la durée de vie de Doel 4 est prolongée) sont beaucoup plus élevées que les émissions générées par l'exploitation de Doel 4.

Les émissions de gaz à effet de serre qui peuvent être attribuées à Doel 4 sur la période de la prolongation de la durée de vie sont de l'ordre de 14 ktonnes (cumulées). Les émissions de gaz à effet de serre évitées en gardant Doel 4 ouvert plus longtemps sont d'un autre ordre. Sur l'ensemble de la période, le report de la désactivation de Doel 4 permet d'éviter des émissions d'environ 12 417 ktonnes de CO₂éq. Cela représente une économie annuelle équivalente à près de 10 % des émissions du secteur de la "production d'électricité et de chaleur » en Belgique en 2021 (12,8 Mtonnes). Si l'on compare avec les émissions rejetées par l'exploitation de Doel 4 sur la même période (14 ktonnes), on peut conclure que les émissions de Doel 4 sur la période couverte par la prolongation de la durée de vie ne représentent que 0,11 % des émissions évitées sur la même période.

Doel 4 n'affectent pas la résilience de l'environnement aux effets du changement climatique pendant la période de référence, compte tenu du fait que, tant dans la situation de référence que lors de la mise en œuvre du Projet, le site reste asphalté. Dans la perspective temporelle de la prolongation de la durée de vie, le site de Doel lui-même n'est pas vulnérable non plus aux conséquences du changement climatique, et cette situation est indépendante de la prolongation ou non de la durée de vie de Doel 4.

Le projet n'a pas de conséquences significatives sur la santé. Sur base d'un examen préliminaire, seuls les effets liés à la Legionella, les aspects psychosomatiques (associés à la perception du risque) et les effets sur la santé évités d'une coupure d'électricité ont été considérés comme potentiellement pertinents. L'analyse effectuée dans ce RIE révèle que la légionelle ne peut pas poser de problème compte tenu de l'eau saumâtre utilisée pour alimenter les tours de refroidissement de Doel 4. En ce qui concerne la perception du risque en matière d'accidents nucléaires, on peut affirmer qu'elle existe, mais qu'il n'y a pas de lien démontrable avec les effets psychosomatiques. Enfin, on peut confirmer que la prolongation de la durée de vie de Doel 4 réduit sensiblement les risques de coupure d'électricité (en particulier dans les premières années de la prolongation de la durée de vie), ce qui a un effet positif sur la prévention des effets sur la santé qui peuvent être associés aux coupures d'électricité.

5.1.2 Effets radiologiques

L'exposition potentielle aux rayonnements pour l'homme et l'environnement en fonctionnement normal est liée au rayonnement direct de la radioactivité présente sur le site et aux rejets gazeux et liquides contenant certaines concentrations de radioactivité.

Des relevés du réseau TELERAD exploités par le FANC-AFCN montrent que la dose de rayonnement externe à proximité de KC Doel est bien inférieure à la limite légale de 1 mSv/an et ne peut être distinguée des variations locales du fond naturel.

La centrale nucléaire de Doel n'a, dans la situation actuelle, pas d'impact radiologique mesurable significatif sur l'environnement par le biais de rejets atmosphériques ni sur l'Escaut. Cette conclusion s'applique bien entendu également si l'on ne tient compte que du fonctionnement de Doel 4.

Un calcul basé sur les limites actuelles de rejets montre que même pour la « personne la plus exposée » (hypothétiquement), la dose résultant des rejets atmosphériques et liquides sera encore plus faible que la limite de dose effective pour le public de 1 mSv par an. Étant donné que, dans la pratique, les rejets réels ne représentent qu'une fraction des limites autorisées, la dose réelle (pour l'ensemble du site de KC Doel) est évidemment encore plus faible ; elle ne s'élève (au maximum) qu'à environ 2,2 % de la limite de dose.

Une évaluation complète des risques environnementaux a été réalisée en 2013 pour estimer l'impact des rejets atmosphériques et liquides sur la faune et la flore⁹⁰. Il a été démontré que les valeurs de débit de dose pour les limites de rejets sont également bien inférieures à la valeur seuil de 10 µGy/h, en dessous de laquelle aucun effet nocif ne se produit. Les limites actuelles de rejet n'entraînent donc pas d'effets nocifs sur l'environnement, ce qui

⁹⁰ Vandehove H., Sweeck I., Vives i Batlle, Wannijn J., Van Hees M., Camps J., Olyslaegers G., Miliche C., Lance B., 2013. Predicting the environmental risks of radioactive discharges from Belgian nuclear power plants. Journal of environmental radioactivity, 126, pp. 61-76.

est également confirmé par les résultats de mesure du programme de surveillance de la FANC-AFCN et de l'exploitant à proximité du site.

L'arrêt de Doel 4 entraîne la disparition d'une partie des rejets gazeux et liquides radioactifs dans l'environnement. Les rejets directement liés au fonctionnement des réacteurs (et qui contribue également le plus à la dose résultant des rejets gazeux et liquides) vont disparaître. En revanche, certains rejets gazeux et liquides se poursuivront en phase post-opérationnelle.

Sur la base de l'expérience en Allemagne, on peut estimer de manière prudente que la dose efficace résultant des rejets gazeux et liquides, si Doel 4 n'est pas prolongé (et que donc aucun réacteur n'est en service sur le site de Doel), dans la première année après l'arrêt, sera tombée à un niveau de l'ordre de 0,007 mSv/an et dans les années suivantes diminuera encore en dessous de 0,003 mSv/an. Ceci peut être comparé à une dose efficace en 2025, qui sera de l'ordre de (maximum) 0,02 mSv/an, et à la norme de 1 mSv/an.

Si le projet est réalisé et que la durée de vie de Doel 4 est donc prolongée, on peut supposer que les rejets gazeux et liquides liés à l'exploitation de Doel 4 se poursuivront pendant 10 ans au même niveau qu'aujourd'hui, en supposant que le réacteur continuera à fonctionner à la même puissance et que le traitement des effluents gazeux et liquides restera inchangé. Une estimation prudente de la dose efficace due à l'exploitation seule de Doel 4 donne une valeur de 0,01 mSv/an ou moins, et ceci est constant sur les 10 années d'exploitation prolongée. Ceci est bien en deçà de la licence actuelle d'exploitation et également inférieur d'un facteur 100 à la limite légale de 1 mSv/an. Une dose efficace de 0,01 mSv correspond à la dose supplémentaire qu'un Belge reçoit en raison de la hausse du rayonnement cosmique s'il va skier en montagne pendant deux semaines⁹¹. La dose efficace en fonctionnement normal du projet a donc un impact négligeable.

Dans le présent RIE, les effets du projet ont également été étudiés sur la dose qui résulterait des deux accidents de base de conception et d'un accident d'extension de la conception. Une analyse sur la base du dossier de sécurité de Doel 4 révèle que les doses efficaces et les doses équivalentes à la thyroïde résultant des deux accidents de base de conception pour Doel 4 restent dans les limites fixées. Si l'analyse est basée sur les directives de la FANC-AFCN pour les installations neuves de Classe 1, le critère des doses équivalentes à la thyroïde est dépassé, ce qui signifie que dans un tel cas l'administration d'iode stable pour protéger la thyroïde serait recommandée. En cas d'accident d'extension de conception, la dose efficace semble être du même ordre que celle des deux accidents de base de conception, mais la dose équivalente à la thyroïde est plus faible. Dans les 3 scénarios d'accident, une contamination de la chaîne alimentaire pourrait également se produire, avec des niveaux d'activité typiquement dépassés dans le lait, les légumes à feuilles et la viande, par des isotopes radioactifs de l'iode. Compte tenu de la demi-vie relativement courte de ces isotopes (8,02 jours pour l'I-131), cette contamination serait limitée dans le temps.

Les impacts à long terme des deux accidents de référence sont négligeables : la dose efficace calculée tout au long de la vie (du fait de la radioactivité déposée dans le sol et de la consommation d'aliments à partir d'un an après l'accident est bien inférieure au critère de 1 Sv pour toutes les catégories d'âge. Cela s'applique également à l'impact à long terme de l'accident d'extension de conception.

Le projet comporte donc un risque limité lié à un accident (accident tant de base de conception que d'extension de conception). Pour l'ensemble du site de KC Doel, cependant, le risque tombera, car pendant la période de 10 ans où la durée de vie est prolongée, seul Doel 4 sera toujours exploité sur le site.

Il est prévu que le report de la désactivation du réacteur nucléaire de Doel 4 entraînera une quantité complémentaire de déchets faiblement et moyennement radioactifs d'environ 460 m³ pour une période de production de 10 ans. Il s'agit principalement de déchets de catégorie A, avec seulement une quantité limitée de déchets de catégorie B. Par rapport aux 50 000 m³ environ de déchets de catégorie A actuellement inclus comme terme source dans le dossier de sûreté du stockage en surface, cela représente une augmentation marginale (< 1 %).

⁹¹ Comparaison basée sur <https://afcn.fgov.be/fr/dossiers/applications-medicales/comparaison-des-doses-de-rayonnements>

En supposant que la quantité supplémentaire de déchets de catégorie B est négligeable, le volume supplémentaire de déchets correspond à environ 287 monolithes ou 0,31 module dans l'installation de stockage pour les déchets de catégorie A. La capacité (volumétrique) de ce stockage est de 34 modules.

Par ailleurs, la prolongation de l'exploitation de Doel 4 pendant 10 ans générera une quantité complémentaire d'environ 390 assemblages de combustibles usés. Cela représente une augmentation de 3,5 % par rapport à l'ensemble de l'inventaire belge de combustible en cas d'arrêt définitif.

Une solution de gestion à long terme devra être élaborée pour ces assemblages de combustibles, ce qui revient à un stockage géologique si les matières fissiles sont considérées comme des déchets. En supposant que le stockage se fera dans de l'argile peu indurée, avec des superconteneurs comme emballage primaire, la consommation supplémentaire ci-dessus correspondrait à 98 superconteneurs supplémentaires (Type SC-4) et à une longueur de galerie de stockage supplémentaire requise d'environ 600 m. Cependant, une quantité supplémentaire de combustible usé à stocker ne provoquera pas une augmentation proportionnelle de la dose ou du risque estimé.

5.2 Synthèse des effets transfrontières

La plupart des effets non radiologiques attribuables à la prolongation de la durée de vie de Doel 4 se limitent aux abords immédiats de la centrale nucléaire et sont d'une ampleur limitée ; ils n'entraînent donc pas d'effets transfrontières. Ce n'est que pour la discipline Eau qu'il peut être question d'effets transfrontières (limités). Sur base de la surveillance de la température de l'Escaut à hauteur de la frontière néerlandaise (à environ 3,4 km du point de rejet), l'influence du rejet de l'eau de refroidissement peut tout au plus être considérée comme négative limitée, ce qui implique que l'augmentation de la température due au rejet sera inférieure à 1°C. Cette augmentation de la température continuera à diminuer lentement en aval sur le territoire néerlandais.

Si la durée de vie de Doel 4 n'est pas prolongée, d'autres moyens de production devront bien entendu être utilisés pour remplacer la baisse de la capacité de production. Les effets transfrontières ne peuvent a priori pas être exclus en pareil cas. Toutefois, l'importance et la nature de ces effets transfrontières dépendront fortement des sites où la capacité de remplacement (théorique) est fournie, des caractéristiques techniques de ces centrales et de leurs caractéristiques d'autorisation.

Les rejets radiologiques gazeux et liquides provenant de l'exploitation de *toutes* les unités de KC Doel ont un impact négligeable et non perceptible (de l'ordre de 0,02 mSv/an) pour la personne hypothétiquement la plus exposée située juste à l'extérieur du site de KC Doel. La dose qui pourrait provenir d'un rayonnement direct du site reste dans les limites des variations naturelles. Compte tenu du fait que l'impact ne peut que diminuer avec la distance (dilution pour les rejets et la loi du carré inverse pour tout rayonnement direct), on peut affirmer qu'en fonctionnement normal de KC Doel, et donc aussi lors de la prolongation de la durée de vie de Doel 4, aucun d'effet transfrontières sur les personnes et l'environnement n'est à attendre.

Les calculs de l'impact radiologique transfrontière des divers scénarios d'accident révèlent que les doses aux Pays-Bas, ainsi que les autres pays voisins, tombent en dessous des valeurs indicatives pour les contre-mesures directes (comme la mise à l'abri ou l'administration de comprimés d'iode). Des contre-mesures au niveau de la chaîne alimentaire peuvent s'avérer indispensables aux Pays-Bas pour les isotopes d'iode, similaires vu leur proximité, à celles en Belgique. Dans les autres pays voisins, les dépôts où les contre-mesures sont indispensables pour la chaîne alimentaire sont très peu probables, mais ne peuvent être pleinement exclus en cas d'accident LOCA dans des conditions météorologiques très défavorables. Cependant, s'il y a un impact sur la chaîne alimentaire, y compris aux Pays-Bas, celui-ci sera de courte durée (pas de dépôt important de radionucléides de longue durée de vie tels que CS-137). L'impact radiologique dans les pays voisins restera donc limité.

Partie III. Évaluation de l'impact environnemental du report de la désactivation de la centrale nucléaire de Tihange 3

6 Effets non radiologiques Tihange 3

6.1 Généralités

La structure suivante est utilisée pour la description et l'évaluation de l'impact des différentes disciplines dans ce chapitre :

Objectifs politiques pertinents

Une description des différents objectifs politiques qui seront évalués. La source de ces objectifs est constituée par les différents documents politiques pertinents. Il s'agit d'objectifs de haut niveau.

Effets pertinents et relations de cause à effet

Une description des effets qui sont pertinents afin de pouvoir se prononcer sur la mesure dans laquelle le Projet contribue ou non à la réalisation des objectifs politiques et sur la relation de cause à effet avec le Projet.

Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence

En principe, le point de départ est la situation en 2025, l'année où Tihange 3 serait mise à l'arrêt conformément à la loi sur la production nucléaire. Nous décrivons également ici toute évolution (autonome ou contrôlée) qui pourrait faire en sorte que la situation en 2025 soit (fondamentalement) différente de la situation actuelle (2023) ainsi que celles qui pourraient influencer l'évolution la situation de référence au cours de la période de prolongation de la durée de vie. Si de tels développements se produisent, nous les prenons en compte dans la description des impacts (scénario de développement ou deuxième situation de référence).

Description des impacts

Nous décrivons ici les impacts qui sont pertinents pour l'évaluation dans l'étape suivante. Lorsque cela est possible et pertinent, nous donnons également une indication des effets cumulés sur les dix ans (par exemple, les émissions cumulées ; éventuellement en tenant compte des fluctuations annuelles des émissions).

Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques

C'est là que l'on évalue (à travers les impacts) dans quelle mesure la réalisation des différents objectifs politiques est ou n'est pas soutenue par les impacts.

6.2 Eau

6.2.1 Objectifs politiques pertinents

La Directive 2000/60/CE établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, communément appelée « Directive-cadre sur l'eau » a été adoptée le 23 octobre 2000 (J.O.C.E du 22 décembre 2000).

Elle vise, d'une part, la protection et l'amélioration de l'environnement aquatique et d'autre part, une contribution à une utilisation durable, équilibrée et équitable de l'eau.

L'objectif ultime de la Directive-cadre est d'atteindre le « bon état » de toutes les eaux communautaires. Des objectifs environnementaux distincts ont été définis pour les eaux de surface, pour les eaux souterraines et pour les zones protégées.

Concernant les eaux de surface, les principaux objectifs sont :

- Prévenir la détérioration de l'état de toutes les masses d'eau de surface ;
- Atteindre un bon potentiel écologique et un bon état chimique de toutes les masses d'eau artificielles et fortement modifiées ;

- Réduire progressivement la pollution due aux substances prioritaires et arrêter ou réduire progressivement les émissions, les rejets et les pertes de substances dangereuses prioritaires⁹².

Plans de gestion des bassins hydrographiques

Le 23 octobre 2000, l'Union européenne a adopté la Directive-cadre sur l'Eau (DCE) établissant un cadre légal pour la gestion des eaux dans l'ensemble de l'Europe. L'objectif fixé vise à améliorer l'état quantitatif et chimique de toutes les eaux européennes à l'horizon 2016. Inscrite dans quatre bassins hydrographiques ou districts hydrographiques internationaux (la Meuse, l'Escaut, le Rhin et la Seine), la Wallonie a fixé clairement les limites de quinze subdivisions naturelles, les sous-bassins. En outre, elle a elle-même redéfini le cadre de ses propres sous-bassins hydrographiques (arrêté du 13 septembre 2001).

La mise en œuvre de cette Directive prévoit notamment l'établissement de Plans de gestion en vue de protéger, d'améliorer et de restaurer les masses d'eau de surface et souterraine. Ces Plans de gestion doivent être mis à jour de manière régulière.

Les premiers Plans de gestion (2009-2015) ont été approuvés dans leur version définitive le 27 juin 2013 par le Gouvernement wallon, qui est l'autorité compétente pour la mise en œuvre de la Directive-cadre sur l'Eau dans les parties wallonnes des districts hydrographiques internationaux de la Meuse, de l'Escaut, du Rhin et de la Seine. De la même manière, les deuxièmes Plans de gestion (2016-2021) ont été approuvés dans leur version définitive le 28 avril 2016. Les projets des troisièmes Plans de gestion (2022-2027) ont été adoptés par le Gouvernement Wallon le 29 septembre 2022. Ils sont actuellement soumis à enquête publique qui prend fin le 02 mai 2023. Ceux-ci devraient ensuite être adoptés dans leurs versions finales et publiés au Moniteur belge courant juillet 2023.

Le scénario « bon état » permet de réduire à zéro les « gaps » estimés pour les différents paramètres physicochimiques et pour les différents secteurs qui impactent l'état écologique des masses d'eaux. Le gap représente, pour un paramètre physico-chimique donné, la différence entre la concentration mesurée dans la masse d'eau et la concentration acceptée (norme) dans celle-ci. Une masse d'eau peut être déclassée par plusieurs paramètres physico-chimiques. Dans le cadre du scénario « bon état », diverses mesures sont proposées pour réduire les gaps de chacune des masses d'eaux. L'ensemble de ces mesures permettrait d'atteindre le bon état/potentiel pour 72 % des masses d'eau de surface.

Le programme de mesure proposé ne comprend pas toutes les mesures du scénario « bon état » à l'atteinte du bon état des masses d'eau de surface. Ce scénario proposé permettrait toutefois d'atteindre le bon état pour 69 % des masses d'eau de surface pour autant que les mesures agricoles, notamment celles qui vont intervenir via la Politique Agricole Commune, puissent trouver un taux d'adhésion maximal (qui dépendra notamment des conditions de mise en œuvre) dans les masses d'eau concernées par les pressions agricoles. A l'inverse, si ces mesures s'appliquent peu ou uniquement dans des masses d'eau en bon état/potentiel, ou non concernées par les pressions agricoles, les masses d'eau atteignant le bon état pourraient être limitées à 58 %.

Ce programme de mesures a été élaboré en suivant les étapes suivantes, qui constituent les différents chapitres des présents Plans de gestion :

- État des lieux des pressions et incidences des activités humaines sur la qualité des ressources en eau.
- Comparaison des pressions avec les paramètres déclassants.
- Estimation de l'effort à fournir par secteur pour atteindre le bon état.
- Proposition d'un programme de mesures propre à chaque masse d'eau et proportionnel à l'importance du « Gap ».

La centrale de Tihange se situe dans le bassin hydrographique de la Meuse et plus précisément dans le sous-bassin hydrographique de la Meuse-Aval.

La partie wallonne du district international de la Meuse comprend 257 masses d'eau réparties dans 8 sous-bassins. Les masses d'eau de surface ont été définies par l'arrêté du Gouvernement wallon du 13 septembre 2012 (M.B. 12 octobre 2012) relatif à l'identification, à la caractérisation et à la fixation des seuils d'état écologique applicables aux masses d'eau de surface et modifiant le Livre II du Code de l'Environnement, contenant le Code de l'Eau.

La centrale de Tihange est situés au sein de la masse d'eau de surface « Meuse II » (code : MV35R)93. Celle-ci est une masse d'eau dite « Fortement modifiée », d'une superficie de 425 km² (336,6 km² dans le sous-bassin Meuse aval et 87,9 km² dans le sous-bassin Meuse amont). Elle comprend La Meuse, depuis sa confluence avec le Ruisseau de Tailfer jusqu'à la frontière néerlandaise. La typologie de cette masse d'eau correspond aux « Très grandes rivières condrusiennes à pente faible ». Il s'agit d'une masse d'eau fortement modifiée.

Zones protégées

Selon la Directive-cadre de l'Eau, les zones protégées se rapportent :

- Aux zones désignées pour le captage d'eau destinée à la consommation humaine ;
- Aux masses d'eau désignées en tant qu'eaux de plaisance, y compris les zones d'eaux de baignade dans le cadre de la directive 76/160/CEE ;
- Aux zones sensibles du point de vue des nutriments, notamment les zones désignées comme vulnérables dans le cadre de la directive 91/676/CEE sur les nitrates, et aux zones désignées comme sensibles dans le cadre de la directive 91/271/CEE relative au traitement des eaux résiduaires urbaines ;
- Aux zones désignées comme zones de protection des habitats et des espèces où le maintien ou l'amélioration de l'état des eaux constitue un facteur important de cette protection, notamment les sites Natura2000 pertinents désignés dans le cadre de la directive 92/43/CEE et de la directive 79/409/CEE ;
- Aux zones désignées pour la protection des espèces aquatiques importantes du point de vue économique.

La masse d'eau de surface MV35R ne comporte ni zone destinée à la consommation humaine, ni zone de baignade. Aucune zone de baignade n'est donc autorisée en aval de la centrale de Tihange.

La zone du « Crétacé de Hesbaye » et celle au « Nord du sillon de la Sambre et de la Meuse » sont désignées comme des « zones vulnérables ». Environ 1,8 % (4 918 ha) de la superficie de la zone du « Crétacé de Hesbaye » et environ 5,15 % (200 966 ha) de la superficie de la zone au « Nord du sillon de la Sambre et de la Meuse » sont localisées dans le bassin versant de la masse d'eau MV35R. Par ailleurs, l'ensemble du territoire de la Wallonie est désigné comme une « zone sensible ».

Environ 50,1 % (246,3 ha) de la superficie du site Natura2000 « BE33010 vallée de la Meuse à Huy et vallon de la Solières » sont situés dans le bassin versant de la masse d'eau MV35R. Celle-ci ne présente ni zone humide d'intérêt international dite « Ramsar », ni zone d'eau piscicole.

Aucune zone pour la protection des espèces aquatiques importantes du point de vue économique n'est désignée en Wallonie.

Plans de gestion des risques d'inondation

La Directive européenne relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation (2007/60/CE), transposée dans le Code de l'Eau, a pour objet d'établir un cadre pour l'évaluation et la gestion des risques d'inondation. Elle vise à réduire les conséquences négatives sur la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique associées aux inondations. Elle invite chaque Etat membre à travailler en 3 temps : évaluer le risque d'inondation sur son territoire, le cartographier puis le gérer par la mise en place de mesures reprises dans des plans stratégiques, les Plans de Gestion des Risques d'Inondation - PPGR (Escaut, Meuse, Rhin, Seine). Le but de ces plans est de permettre aux Etats de se fixer des objectifs à atteindre en matière de gestion des inondations en fonction

des analyses préliminaires (carte des zones inondables et carte des risques d'inondation) et en tenant compte notamment des coûts et des avantages.

Les PGRI comprennent des objectifs globaux appliqués à toute la Région wallonne, issus du Plan PLUIES, ainsi que des objectifs spécifiques à chaque sous-bassin. Afin d'atteindre ces objectifs, de nombreux projets sont planifiés et portés par un large panel d'acteurs actifs dans la gestion des inondations en Wallonie.

En 2016, les 1ers Plans de Gestion ont été approuvés par le Gouvernement wallon. En 2021, après un processus de concertation riche et transversal, la Wallonie a mis à jour ses PGRI. Les projets de PGRI 2022-2027, approuvés par le Gouvernement en mars, ont été soumis à enquête publique du 3 mai au 3 novembre 2021. Ils ont ensuite été adaptés sur base des remarques issues de l'enquête publique. Une fois les Plans validés par le Gouvernement wallon, ils seront transmis à l'Union européenne.

Les objectifs généraux de ces plans sont de :

- Limiter au maximum les dommages aux personnes et aux biens ;
- Réduire les effets négatifs des inondations sur la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique.

Des objectifs opérationnels ont été définis pour la Wallonie :

- Améliorer la connaissance des phénomènes d'inondation par une approche multidisciplinaire ;
- Diminuer la vitesse de ruissellement et augmenter l'infiltration sur le bassin versant ;
- Respecter la dynamique naturelle des rivières et favoriser l'expansion des crues et le stockage de l'eau dans leur lit majeur ;
- Réduire la vulnérabilité à l'inondation des zones soumises au débordement des rivières et aux coulées boueuses ;
- Promouvoir l'élaboration de plans d'urgence à l'échelle locale et à la mise à disposition d'un système d'alerte performant ;
- Réduire la charge financière et sociétale de la conséquence des dommages.

Le premier cycle des PGRI a entrepris la mise en œuvre, entre 2016 et 2021, de 42 Mesures Globales et 491 projets à portée plus locale. Ces projets se rattachaient majoritairement à l'étape « protection ». Pour le District Hydrographique (DH) de la Meuse, la proportion de projets clôturés par rapport aux planifiés est de 21,4 %.

Le processus de concertation a permis aux membres des Comités Techniques par Sous-Bassin Hydrographique de définir les orientations stratégiques liées aux différents sous-bassins hydrographiques auxquels ils appartiennent. Les orientations stratégiques ne sont pas définies comme des actions, il s'agit d'objectifs spécifiques par sous-bassin. De ces orientations stratégiques, découlent toute une série d'actions à réaliser pour y répondre.

Le 2ième cycle des PGRI, qui s'étendra de 2022 à 2027, s'inscrit dans la continuité du 1er cycle. Il en conserve les objectifs globaux, issus du Plan PLUIES, ainsi que les projets qui n'ont pas encore abouti. Le 2ième cycle compte de nouveaux objectifs spécifiques à chaque sous-bassin, 41 Mesures Globales (nouvelles ou prolongées) ainsi que 929 projets (dont 103 pour le sous-bassin hydrographique Meuse aval), qui pour la plupart sont des nouveaux projets.

Pour le DH de la Meuse, 79 % des projets locaux visent à résoudre un problème de débordement de cours d'eau alors que les 21 % restants sont répartis sur le territoire et touchent au ruissellement. Les projets « débordement » sont principalement des travaux au niveau du lit mineur et des plaines inondables ou des ouvrages de régulation des débits. Les projets « ruissellement » relèvent principalement de la gestion naturelle des inondations, du ruissellement et du bassin versant, mais aussi de la régulation des débits et de la gestion des eaux de surface dans des contextes urbanisés.

Objectifs

Sur la base des plans et des objectifs politiques décrits ci-dessus, les objectifs suivants concernant le système hydrographique peuvent être utilisés pour l'examen du Projet dans le cadre de l'évaluation des incidences sur l'environnement en vue du maintien ouvert de Tihange 3 pendant 10 années supplémentaires :

- Maintenir et atteindre un bon état écologique des eaux de surface et éviter leur détérioration ;
- Maintenir et atteindre un bon état physico-chimique des eaux de surface et éviter leur détérioration ;
- Limiter les risques d'inondation.

6.2.2 Effets pertinents et relations de cause à effet

Afin de juger si le Projet contribue ou non à la réalisation des objectifs politiques pour le système hydrographique et de la relation de cause à effet du Projet, un aperçu des impacts prévisibles les plus pertinents du Projet (le report de la désactivation de Tihange 3) sur le système hydrographique est fourni ci-dessous.

Après les combustibles nucléaires, l'eau est probablement la deuxième matière première ou ressource la plus importante de la centrale nucléaire. La centrale nucléaire de Tihange est très dépendante du système hydrographique pour son fonctionnement, car le circuit tertiaire est alimenté en eau de Meuse pour refroidir les condensateurs du second circuit. La centrale nucléaire de Tihange utilise des tours de refroidissement, aussi appelées aéroréfrigérants, pour faire baisser la température de l'eau de refroidissement grâce à la circulation naturelle de l'air. L'eau échauffée est pulvérisée à la base de la tour sous forme de gouttelettes et est refroidie par le courant d'air ascendant. L'essentiel de cette eau retourne vers le condenseur, tandis que le reste est rejeté en Meuse, une petite part seulement, environ 3 %, s'évaporant dans l'atmosphère : c'est le panache de condensation (panache blanc) qui s'échappe de la tour. Chaque unité a son propre circuit d'eau constitué d'une prise d'eau en Meuse, une tour de refroidissement et un rejet d'eau de refroidissement.

Deux circuits tertiaires d'eau sont présents au niveau de la centrale : le circuit d'eau brute (CEB) et le circuit d'eau en circulation (CEC). Le circuit d'eau brute (CEB) prélève l'eau dans le canal d'amenée, alimenté directement par l'eau de la Meuse et délivre de l'eau de réfrigération (eau de Meuse filtrée à 1 mm) aux auxiliaires nucléaires et conventionnels (moteurs diesel, machines frigorifiques,...) de la Centrale.

Le circuit d'eau de circulation (CEC) est la source froide qui assure la condensation de la vapeur sortant des turbines. Il prélève l'eau dans le canal d'amenée, alimenté directement par l'eau de la Meuse en amont de la centrale. L'eau du CEC est envoyée dans les condenseurs. Après passage par la tour de refroidissement, une partie de l'eau du CEC est restituée à la Meuse. Le débit de rejet en Meuse est modulable, de manière à respecter les limites d'échauffement fixées dans le permis. Il dépend donc du débit de la Meuse mais aussi de la température de l'air. Lorsque les circonstances hydrométéorologiques l'exigent, une partie du débit de l'eau de refroidissement qui sort de la tour de refroidissement peut être recirculée dans le circuit, ce qui a pour effet de réduire le débit prélevé, le débit rejeté ainsi que la charge thermique rejetée dans le milieu aquatique récepteur. Lorsque le taux de recirculation augmente, le débit prélevé, le débit rejeté et le rejet thermique diminuent de façon significative : le réglage du taux de recirculation permet donc à la centrale de limiter les impacts sur le milieu aquatique et de respecter les conditions réglementaires de rejet lorsque la disponibilité de l'eau de surface diminue ou lorsque la température est élevée au cours de l'année. Il faut noter que le fonctionnement en recirculation de l'eau de refroidissement entraîne toutefois une diminution du rendement du cycle thermodynamique interne de la centrale et donc une diminution de l'efficacité énergétique de la production d'électricité.

Rappelons qu'une centrale thermique, qu'elle soit nucléaire ou classique, répond au principe de Carnot et son rendement est fonction de la température de la source chaude (la température du réacteur, qui est fixée pour des raisons de tenue mécanique) et de la source froide (la température de l'eau à l'entrée du condenseur). Suivant ce principe de Carnot, plus la source froide est froide, plus le rendement global de l'unité est élevé. La centrale de Tihange vise donc à optimiser le rendement global des 3 unités, tout en respectant l'autorisation de rejet des eaux et ainsi favoriser la production des unités nucléaires moins polluantes en terme de pollution de l'air que les autres unités classiques.

Il en résulte qu'une grande quantité d'eau de surface est pompée, se réchauffe et s'évapore partiellement dans les tours de refroidissement, puis est rejetée dans la Meuse à une température légèrement plus élevée.

Les eaux du circuit tertiaires sont traitées via le Circuit de Traitement des Eaux (CTE). Le but du CTE est de lutter contre le développement d'algues, de mollusques et d'organisme pathogène afin d'éviter les pertes de rendement dues à un encrassement ou à un échange thermique dégradé. Ce circuit permet d'injecter :

- De l'acide sulfurique (H₂SO₄) dans le CEC pour éviter l'entartrement des condenseurs et des réfrigérants atmosphériques ;
- De l'hypochlorite de sodium (NaOCl), dans les circuits CEC et CEB pour éviter la prolifération des micro-organismes et de macro-organismes (mollusques : risque d'obstruction de tubes et de perte de capacité de refroidissement).

Dès lors, outre l'effet de la température, l'eau de refroidissement a également une teneur accrue en chlorures et substances sulfatées en raison de l'ajout de produits pour empêcher la croissance microbienne et la formation de mousse.

Les eaux de surface sont aussi parfois utilisées pour la production d'eau de traitement (eau de déminéralisation) ou pour le nettoyage des installations qui, après utilisation et épuration, est à nouveau rejetée dans la Meuse.

La centrale nucléaire consomme également de l'eau de ville (eau potable) pour les usages domestiques exclusivement (sanitaires, etc.). Les eaux usées des sanitaires sont épurées via 16 stations d'épuration avant rejet dans le réseau d'égouttage interne et sont ensuite rejetées en Meuse.

Les eaux usées domestiques et industrielles ainsi que les eaux de refroidissement doivent répondre aux normes de rejet imposées par le permis d'environnement du 09/05/2008.

En cas d'incident, de l'eau souterraine est prélevée via 15 ouvrages de manière à garantir le refroidissement (de secours) des installations. Elle peut également être utilisée pour la production d'eau déminéralisée (uniquement en back-up).

Les eaux pluviales ne sont pas utilisées dans le processus. Certaines parties minimales de Tihange 3 sont situées en zone inondable, le long de la Meuse. Ces parties ne présentent pas de bâtiments, installations ou dépôts critiques. Pour l'évaluation des impacts, il est dès lors considéré que la centrale de Tihange 3 n'est pas située dans une zone sensible aux inondations. Aucun problème majeur n'est prévu à l'avenir suite au changement climatique non plus (avec des niveaux d'eau plus élevés et des précipitations plus intenses).

À hauteur des points de captage, les poissons peuvent mourir en raison de l'aspiration dans les pompes. Cet impact et l'impact secondaire des rejets (thermiques) sur la vie aquatique sont examinés et évalués dans le cadre de la discipline de la biodiversité.

Les principaux impacts attendus sur les eaux de surface sont donc les quantités d'eau consommées en tant que matière première (bilan hydrologique), l'impact sur le débit et les conséquences sur la température et la qualité de l'eau la Meuse.

A noter que l'eau qui est rejetée dans la Meuse n'entre pas en contact avec le circuit primaire (la partie nucléaire de l'installation). Il n'y a donc aucun risque de contamination radioactive (dans des conditions normales de fonctionnement).

Comme aucun ouvrage n'est prévu aux points de rejet ou de captage existants dans la Meuse, l'impact sur la qualité structurelle de la Meuse n'est pas considéré comme important.

6.2.3 Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence

La zone d'étude pour la discipline Eau comprend toutes les eaux de surface appartenant au réseau hydrographique public, dont la qualité, la quantité et/ou la structure pourraient être affectées par le report de la désactivation de Tihange 3. La délimitation précise de la zone d'étude dépend de la portée des effets, qui fait l'objet de l'étude. Concrètement, la zone d'étude est déterminée par la Meuse et plus précisément par la zone d'influence dans laquelle les effets sur la qualité de l'eau résultant des rejets thermiques et des eaux usées peuvent se manifester. Considérant ce qui précède, la partie de la Meuse comprise entre le barrage d'Andenne-Seilles, situé en amont de

la centrale de Tihange, et la centrale de Seraing, localisée en aval des points de rejet de la centrale nucléaire, peut être définie approximativement comme la zone d'étude.

En traduisant sur les masses d'eau définies dans le plan de gestion du bassin hydrographique, l'état de la masse d'eau de surface Meuse aval est abordé.

La *situation de référence* est la situation de 2025 (année du début de la prolongation de vie). Les éventuels développements autonomes ou contrôlés qui pourraient avoir pour effet que la situation en 2025 soit (fondamentalement) différente de celle de 2023 pourraient être pour la masse d'eau Meuse aval une nouvelle amélioration de la qualité de l'eau (grâce à des efforts d'assainissement supplémentaires dans le bassin hydrographique) ; d'autre part, on peut également penser aux éventuels effets observables du changement climatique au cours de cette période (effets liés à la température ou modifications concernant le débit).

Au cours des siècles, de nombreux aménagements et plusieurs dérivations et systèmes de canaux ont été réalisés de manière à permettre ou faciliter la navigation via la Meuse. La Meuse a ainsi été rendue navigable depuis une centaine de kilomètres à partir de sa source jusqu'à son embouchure (à l'exception du tronçon à la frontière entre la Flandre et les Pays-Bas) via des ouvrages de génie civil et un ensemble d'écluses et de barrages. La Meuse est donc canalisée et se présente comme une succession de biefs séparés par des barrages ou des barrages-écluses. Ces aménagements ont entraîné des modifications importantes du caractère naturel et de la morphologie du fleuve dans de nombreux tronçons, en particulier dans le tronçon Namur – Lixhe (Visé), représenté schématiquement à la Figure ci-dessous.

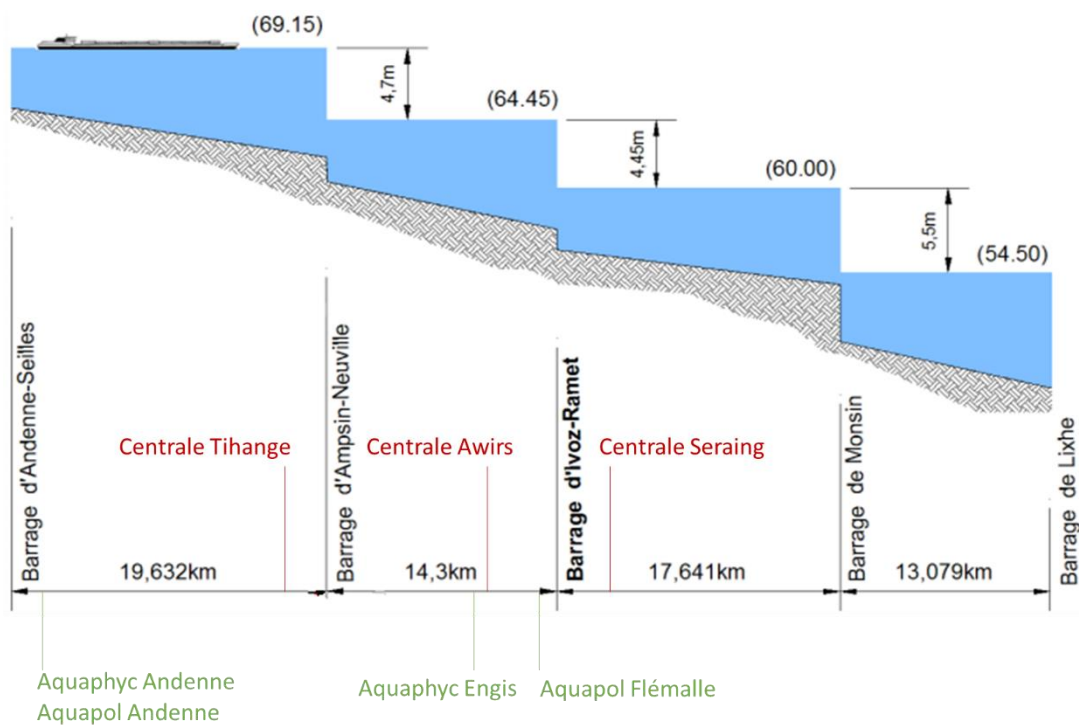


Figure 77: Barrages de la Meuse entre Andenne et Lixhe et localisation de la centrale de Tihange (Source : SPW).

Ces ouvrages modifient la relation débit-hauteur d'eau et permettent ainsi la navigation fluviale et une gestion appropriée en période de crue. L'ouvrage le plus proche du site, le barrage d'Ampsin-Neuville, se situe à environ 1 km en aval de la centrale.

En outre, la Meuse est un fleuve alimenté principalement par le ruissellement des pluies. Son débit est irrégulier et peut fluctuer considérablement d'un jour à l'autre et au cours d'une même journée. Il varie sensiblement d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre.

Les précipitations sont susceptibles de provoquer des ruissellements importants et des augmentations brusques du débit. Ces variations de débit peuvent être brutales et entraîner des crues pouvant atteindre 1 500 m³/s pendant plusieurs jours. Inversement, au cours de certaines périodes de l'année (généralement l'été et l'automne), la Meuse connaît des périodes prolongées de faibles débits (étiages). Les débits peuvent alors descendre pendant plusieurs semaines à des valeurs de 20 à 30 m³/s (débits moyens journaliers).

Les débits de la Meuse sont mesurés en différents points du fleuve. Le point de mesure le plus proche de la centrale de Tihange est la station d'Ampsin Bief Amont, située à 1 km en aval (à l'est) du site. Les débits de la Meuse y sont mesurés en continu par un appareil ultra-sonique (station de mesure SETHY 7.137 pour Ampsin).

Selon le SPW-DGH⁹⁴, le débit moyen de la Meuse mesuré sur la période de 1996 à 2021 à Amay est de 205,05 m³/s, avec un minima de 18,57 m³/s et un maxima de 1 933 m³/s.

A noter que d'autres cours d'eau se jettent dans la Meuse entre la station de mesure d'Amay et la centrale de Tihange de sorte que les débits précédents sont maximalistes pour l'analyse faite ci-après.

Pour la description et la caractérisation de la qualité des eaux de surface de l'Escaut dans la situation de référence (2025), on peut se référer à l'évaluation de la situation dans le cadre des 2^e et 3^e plans de gestion du bassin hydrographique pour la Meuse aval conformément à la directive-cadre sur l'Eau.

L'évaluation dans le cadre du 2^e plan de gestion du bassin hydrographique (2016-2021) est basée sur les résultats des mesures des années 2005-2013. L'état de la masse d'eau est décrit dans la « Fiche de caractérisation de la masse d'eau MV35R Meuse II » (SPW-ARNE, 2016) et résumé au Tableau suivant.

Tableau 66 : Etat écologique et chimique de la masse d'eau MV35R (2013).

MV35R	Éléments de qualité écologique		État écologique	État chimique	
Meuse II	Biologie	Bon et plus	Moyen	Qualité hors PBT***	Bon
	Physico-chimie (paramètres généraux*)	Bon			Qualité avec PBT*
	Physico-chimie (polluants spécifiques**)	Mauvais			
	Hydromorphologie	Médiocre			

* O₂dissous, DBO5, DCO, MES, NH₄⁺, NTK, NO₂⁻, NO₃⁻, P_{TOT}, Orthophosphate, T°, pH, Tensioactifs anioniques, Cl⁻ et SO₄²⁻

** Métaux et métalloïdes, pesticides agricoles, pesticides mixtes, hydrocarbures aromatiques monocycliques, chlorophénols, organochlorés

*** PBT ubiquistes : substances Persistantes, Bio-accumulatives et Toxiques

Comme l'illustre ce tableau, l'état de la masse d'eau peut être caractérisé comme moyen, le paramètre déclassant identifié étant le chlorure de vinyle. D'après l'annexe V de la Directive Cadre sur l'Eau, l'état d'une masse d'eau est qualifiée de moyen lorsque : « Les valeurs des éléments de qualité biologiques applicables au type de masse d'eau de surface s'écartent modérément de celles normalement associées à ce type de masse d'eau de surface dans des conditions non perturbées. Les valeurs montrent des signes modérés de distorsion résultant de l'activité humaine et sont sensiblement plus perturbées que dans des conditions de bonne qualité. ».

La fiche de caractérisation précise que, sur base de l'analyse de l'état de la masse d'eau et en projection de l'application du programme de mesures des deuxièmes plans de gestion, les objectifs écologiques et chimiques ne sont pas atteints.

L'évaluation dans le cadre du 3e plan de gestion du bassin hydrographique (2022-2027) est basée sur les résultats des mesures des années 2016-2018.

Tableau 67 : Etat écologique et chimique de la masse d'eau MV35R (2018).

MV35R	Éléments de qualité écologique		État écologique	État chimique	
Meuse II	Biologie	Médiocre	Médiocre	Qualité hors PBT*	Pas Bon
	Macropolluants (DBO ₅ , DCO, MES, N _{TOT} et P _{TOT})	Bon			
	Physico-chimie (polluants spécifiques)	Bon		Qualité avec PBT*	Pas bon

Il y a des dépassements pour les Bifenox, Cyperméthrine, PBT ubiquistes : Mercure (Biote), Heptachlore /heptachlore époxyde (Biote), PBDE (Biote)..

L'état écologique global de la Meuse II s'est légèrement dégradé, on passe d'un état moyen en 2013 à médiocre en 2018. L'annexe V de la Directive Cadre sur l'Eau définit les masses d'eau d'état médiocre comme suit : « Les eaux montrant des signes d'altérations importantes des valeurs des éléments de qualité biologiques applicables au type de masse d'eau de surface et dans lesquelles les communautés biologiques pertinentes s'écartent sensiblement de celles normalement associées au type de masse d'eau de surface dans des conditions non perturbées sont classées comme médiocres. »

On observe cependant une amélioration physico-chimique pour les polluants spécifiques.

Étant donné que le Projet peut avoir un impact sur un rejet d'eaux usées industrielles, il convient de mener une étude plus approfondie pour évaluer l'impact sur l'état de la masse d'eau concernée. La situation ne peut effectivement pas se détériorer.

Le service Aquaphyc du SPW possède 6 stations de mesures et d'analyses mensuelles sur la Meuse, dont la station d'Andenne (code 3260) localisée à environ 13 km en amont du site et la station d'Engis (code 3290) à environ 10 km en aval du site (cf. Figure ci-dessus). Après comparaison des résultats d'analyse de 2021 (dernière année disponible) aux limites inférieures des classes d'état (Annexe Xter.B.I du Code de l'Eau), il en ressort que l'état de l'eau de La Meuse est globalement très bon en amont et en aval de la centrale de Tihange. Seules les teneurs en matières azotées (azote Kjeldahl, azote ammoniacal, nitrates, nitrites) et les matières phosphatées (orthophosphates solubles et phosphore total) classent la Meuse en bon état. Il y a cependant lieu de mentionner une légère dégradation de la qualité de l'eau de l'amont vers l'aval en ce qui concerne les chlorures et sulfates.

Le SPW possède également un second réseau de mesures, dénomé Aquapol⁹⁵. Il s'agit d'un réseau de mesure en continu de la qualité physico-chimique des cours d'eau wallons. Seuls la conductivité, le pH, l'O₂ dissous, la saturation en oxygène dissous et la température sont surveillés. Les stations de mesure les plus proches sont celle d'Andenne, située en amont du projet, et celle de Flémalle, située en aval. L'évolution des températures moyennes journalières mesurées au niveau des deux stations de mesure (Andenne en amont du site et Flémalle en aval) sont représentées aux Figures ci-dessous.

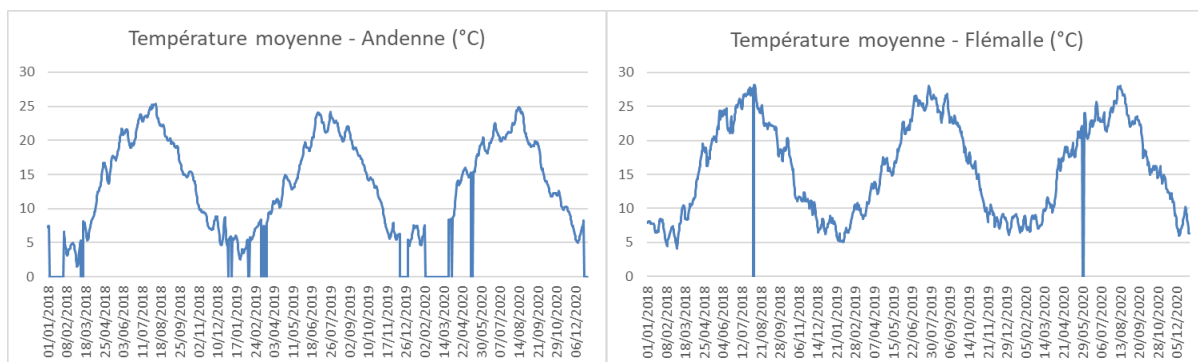


Figure 78 : Evolution de la température (2018-2020) en amont (Andenne) et en aval (Flémalle) de la centrale Tihange.

L'étude de ces graphes indique que la température de l'eau de Meuse est globalement plus élevée à Flémalle qu'à Andenne. En effet, la température journalière moyenne mesurée à Andenne varie approximativement entre 3 °C et 25 °C alors qu'à Flémalle, ces variations sont comprises entre 5 °C et 27 °C. Il peut donc être constaté que la Meuse se réchauffe entre ces deux stations. De plus, il semblerait que la température de l'eau de la Meuse augmente légèrement au fur et à mesure des années.

Le Tableau ci-après reprend, pour les années 2018 à 2020, le nombre de jours pour lesquels les températures moyennes journalières de la Meuse mesurées à Flémalle en aval de la centrale des Awirs (réseau de mesures en continu de la Région Wallonne) dépassent 24, 25, 26, 27, 28 et 29 °C, la limite inférieure des classes d'état (RIV_19) pour la température étant fixée à 24 °C.

Tableau 68 : Nombre de jours où des seuils de température donnés sont dépassés - station ANDENNE.

Année	T>24 °C	T>25 °C	T>26 °C	T>27 °C	T>28 °C	T>29 °C
2018	22	11	1	0	0	0
2019	11	0	0	0	0	0
2020	14	4	0	0	0	0

Tableau 69 : Nombre de jours où des seuils de température donnés sont dépassés - station Flémalle.

Année	T>24 °C	T>25 °C	T>26 °C	T>27 °C	T>28 °C	T>29 °C
2018	49	25	4	0	0	0
2019	92	65	30	7	3	0
2020	70	48	30	20	6	0

Ces Tableaux semblent confirmer que l'eau de la Meuse se réchauffe d'années en années d'une part, et, d'autre part, que la température de l'eau est plus élevée en aval qu'en amont du site.

Les changements hydromorphologiques ou un impact sur la masse d'eau souterraine ne sont pas applicables dans le cadre du Projet.

Une évaluation doit être effectuée pour les polluants spécifiques qui contribuent à déterminer l'état écologique et les polluants qui déterminent l'état chimique pour les paramètres pour lesquels la norme de qualité environnementale est dépassée dans l'état actuel ou pour lesquels la concentration augmenterait. Enfin, les éléments de qualité biologique doivent être évalués (si possible).

6.2.3.1 Description des effets

Cette description est basée sur les données et informations disponibles contenues dans les différents rapports annuels fournis par l'exploitant de la centrale (PISOE, déclarations environnementales, rapports d'exploitation) et les différentes études d'incidences sur l'environnement dressées au cours de la période 2018-2019 (EIE du projet SF² - Spent fuel storage facility – bâtiment d'entreposage du combustible usé). A noter que seules étaient disponibles les données pour l'ensemble de la centrale de Tihange. En l'absence de données propres à l'unité Tihange 3, il a été décidé, dans le cadre de la présente étude, d'estimer la contribution de cette unité en fonction des puissances électriques des 3 unités qui composent la centrale nucléaire.

Unité	Tihange 1	Tihange 2	Tihange 3	Total
Production d'énergie électrique (MWe)	962	1.008	1.045,8	3.015,8
Contribution de chaque unité (%)	31,9 %	33,4 %	34,7 %	100 %

Le report de la désactivation de 10 ans signifie que pendant cette période, l'eau continuera à être consommée et rejetée par la centrale de Tihange 3. La centrale utilise l'eau potable/l'eau de ville (comme eau de traitement, pour la maintenance et dans les installations sanitaires) et l'eau de la Meuse (comme eau de refroidissement). Les eaux souterraines ne sont utilisées qu'en cas d'incident et les eaux pluviales ne sont pas collectées ni utilisées sur le site. La Figure 79 illustre la consommation d'eau pour l'année 2019 pour l'ensemble de la centrale de Tihange.

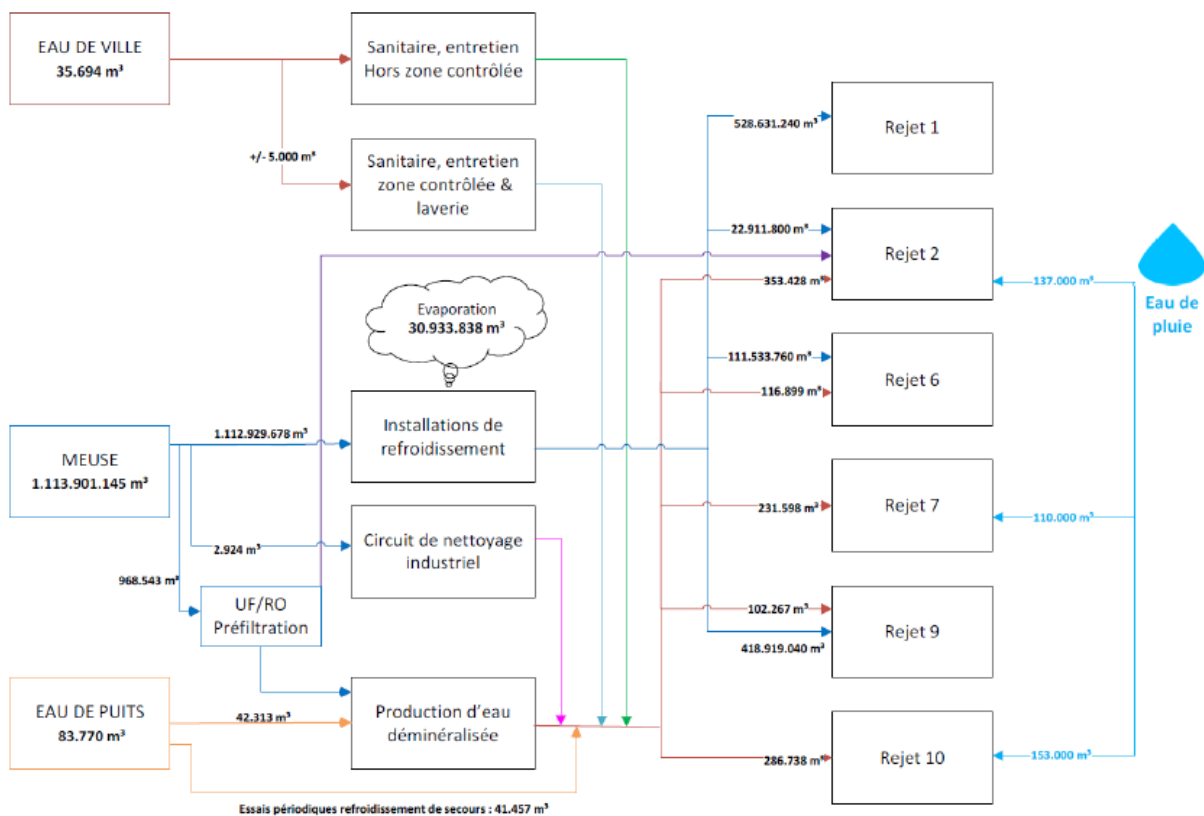


Figure 79 : Bilan hydrique de la CN Tihange pour 201.

L'eau de distribution est principalement utilisée à des fins sanitaires.

Les *eaux usées domestiques* proviennent exclusivement des sanitaires (WC, douches, lavabos...) et de l'entretien (eaux de lavage des bâtiments, etc.). Les eaux usées domestiques sont épurées via des stations d'épuration avant rejet dans le réseau d'égouttage interne et sont ensuite rejetées dans la Meuse. La centrale dispose pour cela de 16 stations d'épuration (de 5 à 700 EH) pour un total de 1 469 EH.

En 2021, la consommation d'eau potable sur le site de la Centrale s'élève à 30 877 m³. En appliquant les 34,7 % de contribution, environ 10 714 m³ serait consommé à Tihange 3. La consommation du site fluctue en fonction du nombre d'heures prestées par l'ensemble du personnel (interne et externe). En effet, l'eau potable est presque exclusivement réservée aux besoins sanitaires du personnel. Il est considéré que l'entièreté de l'eau de distribution consommée est rejetée en Meuse, après épuration.

L'eau de surface, prélevée en Meuse, est utilisée presque exclusivement pour le refroidissement des unités. Le pompage de l'eau de Meuse est variable afin de respecter l'échauffement de la Meuse comme indiqué dans l'autorisation de déversement des eaux. Le débit pompé peut varier entre 2 m³/s (mise en recirculation totale des centrales et compensation de l'évaporation par les panaches des réfrigérants atmosphériques) et environ 110 m³/s pour l'ensemble des 3 unités (valeur de rejet maximum théorique sans recirculation).

Une partie est également utilisée pour la production d'eau déminéralisée et le nettoyage des installations. Près de 97 % sont rejetées directement dans le fleuve, le reste étant rejeté dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau via les tours de refroidissement. En 2021, le volume d'eau prélevé en Meuse représente 1 453 millions de mètres cubes (± 500 Mm³ pour Tihange 3 en appliquant le facteur de contribution) dont $\pm 1 020$ Mm³ ($\pm 355 000$ m³ pour Tihange 3) ont été utilisés pour la production d'eau déminéralisée et le nettoyage des installations. En ce qui concerne la quantité évaporée dans les tours de refroidissement, en 2021, les trois réfrigérants atmosphériques ont fonctionné pendant 24 989 h cumulées. Il en résulte une évaporation calculée de 36,5 millions de mètres cubes d'eau de Meuse (± 20 Mm³ pour Tihange 3).

Les *eaux de refroidissement* sont composées des eaux de circulation (CEC - eaux prélevées pour le refroidissement des turbo-groupes) et eaux brutes (CEB - eaux utilisées pour le refroidissement en circuit ouvert d'une série d'auxiliaires). Ces eaux sont directement rejetées dans la Meuse.

Les *eaux usées industrielles* sont essentiellement composées :

- Des effluents de régénération des installations de déminéralisation des trois unités ;
- Des eaux de purge provenant des salles des machines des trois unités ;
- Des effluents en provenance de la zone contrôlée des trois unités ;
- Des purges des générateurs de vapeur (côté circuit secondaire) des trois unités.

Ces eaux sont rejetées dans le réseau d'égouttage interne du site et ensuite dans la Meuse.

En soustrayant la quantité d'eau évaporée dans les tours de refroidissement de l'eau prélevée en Meuse, le rejet d'eaux de refroidissement et d'eaux usées industrielles peut être estimé à 1 417 Mm³ en 2021 (± 500 Mm³ pour Tihange 3). Il est considéré que l'ensemble de l'eau déminéralisée est rejetée en Meuse et constitue un rejet d'eaux usées industrielles (1 020 Mm³ dont $\pm 355 000$ m³ pour Tihange 3).

Les *eaux pluviales* sont composées des eaux de ruissellement des toitures des bâtiments et des eaux s'écoulant sur les voiries asphaltées du site de la centrale. En considérant une quantité de précipitation moyenne de 850 litres par mètre carré et par an (source : www.meteo.be) et une surface de collecte d'environ 382 000 m² (toitures, allées, parkings,...), on estime la quantité d'eau de pluie rejetée à 325 000 m³ par an.

En considérant que la désactivation et le démantèlement de Tihange 1 et 2 s'étaleront sur plusieurs années, il est estimé qu'aucune différence substantielle dans les niveaux de revêtement n'est attendue au cours de la période 2025-2037. Dès lors, le volume annuel d'eaux pluviales estimé ci-avant vaut également pour les 10 prochaines années (moyennant la fluctuation de la pluviométrie annuelle).

La centrale est autorisée, via son permis d'environnement du 09/05/2008, à rejeter ses eaux usées et ses eaux pluviales via 6 points de rejets directs dans la Meuse pour les eaux de refroidissement, les eaux usées industrielles et les eaux usées domestiques traitées (rejets n°1, 2, 6, 7, 9, 10 du permis d'environnement).

La quantité d'eau de refroidissement rejetée sur la période étudiée (2025-2037) sera approximativement celle estimée pour le fonctionnement de seul Tihange 3 (± 500 Mm³/an). Pour rappel, ce volume a été estimé en appliquant un facteur calculé sur base des puissances de chaque unité, il s'agit donc d'un ordre de grandeur. En outre, il est attendu que ce volume annuel fluctue en fonction des heures de fonctionnement de l'unité, la nécessité

de refroidissement et la recirculation ou non de l'eau avant rejet afin de respecter les normes thermiques du permis. Il s'agit tout de même d'une diminution d'environ un tiers par rapport à la situation où les 3 centrales seraient en fonctionnement.

En ce qui concerne les eaux usées industrielles, le même ratio que celui utilisé pour les eaux de refroidissement peut être appliqué. Dès lors, il est estimé que la quantité annuelle d'eaux usées industrielles rejetée en Meuse fluctuera autour de 355 000 m³/an.

Pour rappel, l'eau de distribution est utilisée principalement pour les sanitaires et le nettoyage d'installations. Le volume d'eau utilisé dépend dès lors fortement du nombre de personnes présentes sur le site. Au moment de la rédaction de la présente étude, la durée de la période de démantèlement de Tihange 1 et Tihange 2 ni le nombre de personnes qui sera présent sur site lors de cette période n'étaient connus. Par conséquent, la consommation d'eau de ville lors des prochaines années ne peut être estimée avec précision. Dans le cadre de cette étude, il est considéré qu'elle sera identique lors des 10 ans de prolongation à consommation actuelle (les 3 unités de Tihange en fonctionnement).

Sur base de ce qui précède, on peut déduire que le principal impact de l'exploitation de la centrale nucléaire sur le système hydrographique est le rejet d'eaux usées et d'eau de refroidissement dans la Meuse. Il faut s'attendre à des effets sur la quantité (débit) et la qualité de la Meuse.

Quantité

Dans des circonstances normales, environ 120 000 m³/h (\pm 50 000 m³/h pour Tihange 3) d'eau de la Meuse sont pompés à des fins de refroidissement dans le circuit tertiaire (moyenne sur les 5 dernières années). Cela équivaut à 17 % (7 % pour Tihange 3) du débit moyen de la Meuse, qui est d'environ 198,55 m³/s à hauteur de Tihange (moyenne des 5 dernières années).

En 2021, la centrale nucléaire de Tihange a utilisé 1 143 000 000 m³ d'eau de Meuse. Environ 36 500 000 m³ se sont évaporés dans les tours de refroidissement et 1 106 500 000 m³ ont été rejetés dans la Meuse. A ce volume s'ajoute le rejet des eaux usées domestiques (environ 30 877 m³ en 2021), des eaux usées industrielles (1 020 036 m³ en 2021) et des eaux pluviales (5 785 m³), pour un volume total de 1 056 698 m³. Ce volume compense en majeure partie la perte d'eau par évaporation dans les tours de refroidissement (compensation d'environ 97 %), bien qu'il soit considéré comme négligeable par rapport au débit d'eau de refroidissement (environ 1.120 fois moins important).

Pour l'année 2022, une quantité annuelle similaire en ordre de grandeur est attendue (1 143 millions de m³, voir ci-dessus). A partir de 2023, après l'arrêt de Tihange 2, en appliquant le facteur de contribution de cette unité calculé ci-avant, il est estimé qu'environ 761 millions de m³ seront prélevés. A noter que de l'eau sera encore utilisée lors du démantèlement de Tihange 2 et il est estimé que la quantité d'eau puisée en Meuse sera diminuée d'environ 1/6^e pour atteindre 952 millions de m³. La même logique peut être appliquée suite à l'arrêt de Tihange 1, prévu en 2025.

Bien que l'impact sur le système hydrographique en termes de débit sera plus important que dans le scénario de référence dans lequel Tihange 1 et 3 cessent de fonctionner à partir de 2025 et Tihange 2 à partir de 2023, impliquant l'absence de rejet d'eaux usées, l'impact reste limité. Il est estimé que l'impact avec report de Tihange 3 uniquement s'élève à 34,7 % sur une base annuelle, mais est en tout cas négligeable en termes d'impact sur le débit de la Meuse.

Qualité

Concernant la qualité chimique des *eaux usées*, l'activité quotidienne des travailleurs de la Centrale et l'exploitation des circuits génèrent des eaux usées qui sont monitorées selon des paramètres classiques non radioactifs. Le déversement de ces eaux usées dans la Meuse est strictement conforme à la réglementation. Un programme de surveillance permanent vérifie que les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de ces eaux respectent les normes de rejet imposées à la Centrale nucléaire de Tihange dans son permis d'environnement.

Pour rappel, les rejets chimiques ont pour principales origines :

- Le traitement de l'eau pour les besoins en eau déminéralisée des circuits. Il produit des effluents chargés en sels provenant de la régénération des résines échangeuses d'ions et en matière en suspension provenant des effluents de l'installation de déminéralisation (concentration et rejet des matières en suspension provenant de l'eau de Meuse) ;
- Le traitement des circuits de refroidissement :
 - par injection d'acide sulfurique qui conduit à des rejets de sulfates pour éviter l'entartrement ;
 - par les traitements de chloration de l'eau de réfrigération qui ont pour objet d'éliminer la colonisation des circuits par des organismes fixés (algues, moules,...) risquant de compromettre le fonctionnement du circuit, ainsi que les légionelles. Le procédé actuellement utilisé est la chloration par injection d'hypochlorite de soude (eau de javel).
- Le rejet des effluents secondaires (purge des générateurs de vapeur et effluents des fosses d'exhaure des salles des machines - CEM) conditionné en ammoniacque et en hydrazine (traitement anti-corrosion).

Selon les déclarations environnementales de la centrale de Tihange, seuls 6 dépassements des normes de rejets ont été identifiés par le laboratoire agréé pour la période 2019-2021. Les trois dépassements de 2019 ciblaient les matières formées par sédimentation. Pour deux d'entre eux, le dépassement provenait de l'accumulation de boues dans le fond de réservoirs d'eau avant rejet. Ces deux réservoirs ont été nettoyés. En 2020, un premier dépassement en azote a pu être lié à un essai de remplacement de l'hydrazine par un produit de conditionnement moins nocif, le carbohydrazide. Le deuxième dépassement, en nitrites, concernait un apport trop important des effluents de laveries dans les réservoirs avant rejet. En 2021, seul un dépassement en DCO sur l'égout situé à l'est de l'unité 1 a été identifié. Une inspection des égouts en amont de l'hydrocollecteur de l'unité 1 a été effectuée et une obstruction partielle de l'égout en aval de la station d'épuration a été observée et nettoyée. Il n'y a plus eu de dépassement sur les prélèvements suivants.

Mentionnons qu'en 2021, un dépassement de la norme en matières sédimentables dans la fosse CEM de Tihange 3 a été constaté. Un appoint en eau de Meuse en fosse CEM a été identifié à cette période-là, ce qui permet de déduire le résultat en matières sédimentables de la Meuse pour cet échantillon. Il n'y a pas de dépassement des normes du permis, ce dépassement ne doit pas être comptabilisé.

Notons que l'ensemble de ces dépassements ne concerne pas directement les activités propres à Tihange 3. En outre, ils portent sur des polluants différents et ne sont pas récurrents ni constants dans le temps. Chacun des dépassements a pu être lié à un événement spécifique et isolé. Dès l'origine du dépassement identifié, des mesures correctives ont été apportées et les analyses ultérieures ont montré que les normes étaient à nouveau respectées. Bien que des « incidents » puissent avoir lieu sur le site, entraînant des dépassements sporadiques sur certains polluants spécifiques par rapport aux normes établies dans le permis en vigueur, ceux-ci restent assez rares et sont relativement rapidement pris en charge par l'exploitant, ce qui limite l'occurrence de ces dépassements dans le temps.

Pour rappel, l'état écologique de la masse d'eau MV35R Meuse II s'est légèrement dégradé (de moyen à médiocre) de 2013 à 2018 avec cependant une amélioration physico-chimique pour les polluants spécifiques. De plus, d'après les données du service Aquaphyc du SPW, l'état de l'eau de La Meuse est globalement très bon en amont (Andenne) et en aval (Engis) de la centrale, seule une légère dégradation de la qualité de l'eau de l'amont vers l'aval en ce qui concerne les chlorures et les sulfates est observée. A noter que de nombreuses industries telles que la sucrerie de Wanze, Recyfuel, Hydrométal, Revatech, Knauf ou encore Prayon sont localisées le long de la Meuse sur ce tronçon. Ces industries rejettent également des eaux usées dans la Meuse et pourraient contribuer à la dégradation de la qualité de ses eaux de surface, sans que la contribution de chaque industrie puisse être déterminée, en l'absence de données chiffrées.

Étant donné que la qualité de la masse d'eau de Meuse n'a pas été globalement plus mauvaise de 2013 à 2018, on peut supposer que pour cette période, aucun effet important des eaux usées sur la qualité de l'eau de Meuse n'a été observé. Pour la période future (2025-2037), dans des conditions normales et selon le même mode d'exploitation, aucun impact significatif sur la qualité de l'eau n'est attendu. L'arrêt prévu des unités Tihange 1 en 2025 et Tihange 2 en 2023 implique l'arrêt des déversements d'eaux usées liées à ces unités. Bien que la qualité des eaux rejetées en Meuse sera probablement inchangée, il est attendu que le volume d'eaux usées, et donc la charge

en polluants, soit diminué dans les prochaines années. L'impact de la centrale sur la qualité de l'eau de Meuse sera donc d'autant plus négligeable.

En ce qui concerne la qualité, il convient de faire une distinction supplémentaire entre les eaux de refroidissement rejetées, les eaux usées domestiques et les eaux usées industrielles.

L'eau de refroidissement a un impact thermique sur la Meuse, a une teneur accrue en chlorures en raison du dosage de NaOCl pour éviter la croissance microbienne et a une teneur accrue en oxygène en raison de l'aération dans les tours de refroidissement. Avant que l'eau de refroidissement ne retourne dans la rivière, elle est refroidie dans les tours de refroidissement, où le flux d'air ascendant augmente la concentration d'oxygène dans l'eau et réduit la température. Le permis d'environnement fixe des conditions à l'immission :

1. Température aval de la Meuse ;
 - 1.1. La température aval de la Meuse, mesurée après mélange au barrage d'Ampsin-Neuville ne peut dépasser 28 °C du fait des rejets thermiques de la centrale. Cette limite peut toutefois être dépassée pendant 2 % du temps sans dépasser 29 °C ;
 - 1.2. La valeur médiane annuelle de la température en aval de la centrale, mesurée après mélange du barrage d'Ampsin-Neuville est inférieure ou égale à 25 °C ;
2. Echauffement de l'eau de la Meuse :

L'échauffement maximum en valeur moyenne journalière est de 4 °C sauf :

 - 2.1. Du 01/07 au 31/03 inclus :
 - 2.1.1. L'échauffement maximum en valeur moyenne journalière est de 5 °C si le débit de la Meuse est inférieur à 300 m³/s et la température amont inférieure ou égale à 21 °C, en valeur moyenne journalière. Cette limite peut toutefois être dépassée pendant 2 % du temps ;
 - 2.1.2. Pour des débits inférieurs à 28 m³/s et la température amont inférieure ou égale à 21 °C ,l'échauffement instantané est de 5 °C mais l'échauffement maximum en valeur moyenne journalière est de 4° C. Cette limite peut toutefois être dépassée pendant 2 % du temps ;
 - 2.2. Du 01/04 au 30/06 inclus :

Soit pendant la période de frai des poissons, l'échauffement maximum en valeur moyenne journalière est de 5 °C si le débit de la Meuse est compris entre 28 et 50 m³/s. Cette limite peut toutefois être dépassée pendant 2 % du temps.

Les périodes de fortes chaleurs et de sécheresses ou de faibles débits nécessitent donc une vigilance accrue dans la gestion des rejets thermiques.

L'échauffement de la Meuse dont il est question est déterminé par la différence entre la température aval et la température amont de la Meuse par rapport au site de la centrale. Ces températures sont mesurées dans 5 stations de mesures exploitées par Electrabel nv et contrôlées par un organisme indépendant agréé par le Service Public de Wallonie.

Pour ce faire, il existe un protocole entre le Service Public de Wallonie, Electrabel nv sa et la société Luminus concernant le suivi de la température de la Meuse entre Huy et Liège. Ce protocole a été signé le 12 novembre 1997 pour une durée de 10 ans et est renouvelé tacitement tous les 10 ans.

Les 5 stations de mesure constituent le réseau appelé le « Réseau Température », localisées sur le tronçon de la Meuse compris entre Huy et le pont du Val Benoit, une en amont (Huy) et 4 en aval de la centrale (barrage d'Ampsin-Neuville, Amay, Serai et Liège).

Afin de vérifier le respect des normes du permis, le rejet thermique total est estimé en additionnant le rejet thermique calculé de chaque centrale. Ce rejet thermique total, exprimé en MJ/s doit être inférieur ou égal à 4 fois le débit de la Meuse.

La valeur médiane annuelle de la température en aval de la Centrale nucléaire de Tihange était de 15,40 °C en 2019, 16,25 °C en 2020 et 14,85 °C en 2021 pour une valeur maximale autorisée de 25 °C. L'échauffement moyen annuel de la Meuse dû à la Centrale était de 2,29 °C en 2019, 2,01 °C en 2020 (Tihange 1 à l'arrêt pendant plus de 11 mois ; Tihange 2 et 3 à l'arrêt pour révision périodique) et 2,61 °C en 2021.

En 2018, 2019 et 2020, aucun dépassement de la limite de température Meuse aval site n'a été observé. Le maximum autorisé est de 28 °C en moyenne tri-horaire. De plus, aucun dépassement de l'échauffement autorisé n'a été observé. A titre indicative, l'évolution du percentile 98 de l'échauffement de la Meuse de la centrale de Tihange depuis 2006 est repris au Tableau ci-dessous. On constate que l'échauffement est relativement constant dans le temps.

Evolution du percentile 98 de l'échauffement de la CNT depuis 2006 :

Année	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
°C	4,78	4,75	4,68	4,59	4,54	4,59	4,24	4,28	4,03	4,46	4,61	4,33	3,47	4,06	3,74

Comme susmentionné, les normes de qualité environnementale en matière de température dans la Meuse ne sont pas toujours respectées, que ce soit en amont (station d'Andenne) ou en aval (station de Flémalle) de la centrale de Tihange, bien que les dépassements soient plus fréquents et plus importants en aval. La contribution des rejets d'eaux de refroidissement de la centrale sur l'échauffement de l'eau de la Meuse ne peut être écartée.

Comme les 3 unités de la Centrale de Tihange modulent leurs rejets thermiques (via l'utilisation, parfois en recirculation, des réfrigérants atmosphériques) de manière à utiliser au maximum les possibilités de refroidissement données par l'autorisation de rejet et que les rejets thermiques dépendent également des heures de fonctionnement des unités, il n'a pas été possible de déterminer le rejet thermique spécifique à l'unité Tihange 3. Cependant, avec l'arrêt de Tihange 1 et 2, le volume d'eau de refroidissement déversé en Meuse sera uniquement imputable à Tihange 3 et sera *de facto* plus faible que le volume actuellement déversé. De ce fait là, il peut être estimé que, pour une température du rejet similaire à celle mesurée actuellement, mais avec un débit plus faible, l'échauffement de la Meuse sera moindre, sa capacité de refroidissement étant inchangée.

Cependant, il y a lieu de mentionner que, sur base du cadre politique de la sortie du nucléaire et des objectifs de réduction de consommation énergétique primaire fixés par le PACE 2030, la Région wallonne a octroyé des permis à la société Luminus pour la création d'une nouvelle centrale à gaz à cycle combiné – CCGT et la reconversion de la centrale CCGT existante en une centrale à gaz à circuit ouvert – OCGT à Seraing et à la société Engie pour la construction d'une CCGT à Flémalle (Les Awirs). Ces deux centrales rejettent et rejeteront également des volumes importants d'eaux de refroidissement dans la Meuse et contribuent et contribueront à l'échauffement de celle-ci. Bien qu'il soit attendu que l'échauffement de l'eau de la Meuse due aux activités de la centrale de Tihange diminue dans les prochaines années suite à l'arrêt de deux unités sur trois, l'ampleur de cette diminution sera toutefois limitée par la mise en exploitation des deux centrales thermiques.

Le réseau de température Meuse permet également de gérer les rejets thermiques de la Centrale des Awirs au regard des modalités relevant de son autorisation de déversement en eaux de surface reprise dans son Permis d'Environnement. Il permet également de fournir à la Centrale de Seraing certaines des données indispensables à la gestion de ses rejets thermiques suivant les modalités indiquées dans l'autorisation de déversement des eaux usées. En effet, les permis des CCGT reprennent des dispositions relatives à la température et font référence au réseau de surveillance de la Meuse. L'effet est cadré dans les permis d'environnement de manière à assurer une augmentation de la température acceptable au sein de la Meuse (pour la biodiversité). Pour rappel, les CCGT étaient prévues pour compenser en partie la fermeture totale du parc nucléaire. Si certaines unités du parc nucléaire sont prolongées, on pourrait s'attendre à ce que les CCGT fonctionnent moins. Dans tous les cas, sur base des contraintes légales imposées dans les différents permis des trois centrales (Tihange, Awirs et Seraing), on peut conclure que le milieu ne sera pas détérioré. En outre, d'après les données fournies par Tihange, l'ensemble des conditions thermiques des rejets de ces deux centrales étaient respectées en 2020.

L'impact éventuel de l'échauffement de l'eau de la Meuse sur la faune et la flore aquatique est discuté au chapitre relatif au milieu biologique.

À plus long terme, le changement climatique pourrait avoir un impact négatif sur la Meuse. Il entraîne une série de modifications sur tous les compartiments de l'environnement, dont le cycle de l'eau. De manière globale, les impacts concerneront la recharge des nappes aquifères, le risque d'inondations, la température des cours d'eau et, dans une

moindre mesure, peut-être la consommation d'eau. Les données de l'European Climate Assessment & Dataset⁹⁶ montrent que :

- Les températures maximales et minimales sont plus élevées aujourd'hui qu'au 19^{ème} siècle, avec une augmentation qui semble constante au moins depuis le début des années 60 ;
- Un accroissement des précipitations totales sur le long terme est constaté, avec un effet plus particulièrement constaté en été. Il pleut actuellement environ 100 mm de plus par an qu'à la fin du 19^{ème} siècle. Il est ainsi constaté davantage une augmentation moyenne de l'intensité des précipitations que du nombre de jours de pluies.

Ces changements risquent d'accentuer la saisonnalité du régime hydrologique de la Meuse, et notamment les crues, les étiages et la qualité de l'eau⁹⁷.

Il n'y a pas d'observation d'une augmentation de la fréquence des étiages au cours du 20^e siècle sur le bassin de la Meuse. Néanmoins, il semblerait que les étiages les plus sévères sur le bassin de la Meuse surviendraient les années où un été sec est précédé d'un hiver sec.

Les inondations et les étiages vont modifier la qualité de l'eau directement par dilution ou concentration des substances dissoutes. La température de l'air doit également être considérée puisqu'elle influence la quasi-totalité des équilibres physico-chimiques et des réactions biologiques. Une dégradation générale de la qualité des eaux de la Meuse serait observée durant les sécheresses où respectivement la température de l'eau, l'eutrophisation, les éléments majeurs et certains métaux lourds interviennent dans ce phénomène. Cette diminution de la qualité des eaux serait principalement due aux conditions favorables ainsi obtenues pour le développement d'algues et à une diminution de la capacité de dilution dans les zones de relâchage d'effluents suite à la diminution des débits estivaux.

Selon l'étude européenne « Impacts of Europe's changing climate — 2008 indicator-based assessment » (European Environment Agency, 2008), la température de l'eau de plusieurs rivières européennes et de lacs a augmenté de 1 à 3 °C au cours du 20^{ème} siècle, principalement suite à l'augmentation de la température de l'air, mais aussi de l'effet des rejets d'eaux liés aux activités anthropiques, parmi lesquels les eaux de refroidissement des centrales thermiques qui peuvent avoir un impact local non négligeable. Cette tendance se confirme suite à l'analyse des mesures du réseau Aqualim mis en place en 2012 qui enregistre, à l'aide de 240 stations réparties sur l'ensemble du territoire wallon, la température de l'eau des cours d'eaux non navigables en continu⁹⁸.

Concernant le débit de la Meuse et le volume d'eau disponible pour être prélevé et utilisé comme eau de refroidissement, étant donné que la Meuse est une voie d'eau navigable, un débit minimum devra en tout temps être assuré. Or, le débit de la Meuse permet les prélèvements envisagés. De plus, il a été estimé que la quasi-totalité des eaux prélevées est restituée en Meuse, ce sera toujours le cas suite à l'arrêt de Tihange 1 et 2 (diminution du volume d'eau prélevé et d'eau restitué).

Si la température de la Meuse augmente en raison du changement climatique, la température de l'eau de refroidissement rejetée augmentera proportionnellement, avec la possibilité d'une limitation plus fréquente des charges thermiques maximales à rejeter quotidiennement (cf. conditions du permis), surtout en été. En ce qui concerne l'effet du changement climatique sur la température des eaux de surface, l'Institut pour la Recherche sur la Nature et la Forêt du Gouvernement Flamand (2015)⁹⁹ indique pour les « eaux de surface en général » qu'il faut

⁹⁶ Klein Tank, A.M.G, and Coauthors, 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment, *Int. J. of Climatol.*, 22, pp. 1441-1453.

⁹⁹ Van der Aa B., Vriens L., Van Kerckvoorde A., De Becker P., Roskams P., De Bruyn L., Denys L., Mergeay J., Raman M., Van den Bergh E., Wouters J., Hoffmann M. (2015). Effecten van klimaatverandering op natuur en bos. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2015 (INBO.R.2015.9952476). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Bruxelles.

tenir compte d'une augmentation de 0,5 à 0,6 °C par 10 ans. Cela signifierait théoriquement que la température de l'eau de la Meuse pourrait augmenter de 0,5 à 0,6 °C lors des 10 années d'exploitation supplémentaires. Cependant, en supposant que cela doit être considéré comme un maximum pour la Meuse, cette perte de capacité de refroidissement ne devrait probablement pas poser de problèmes majeurs (une augmentation de la charge thermique, un dépassement des normes de rejet, une barrière thermique plus importante en été et ce, pendant la période la plus sensible – les périodes d'étiage) grâce à une meilleure surveillance de la température de la Meuse et un contrôle adapté de la capacité de refroidissement présente. En outre, Tihange 1 et 2 seront mis hors service en 2023 et 2025, ce qui signifie que la charge thermique sera déjà réduite.

Le fait de maintenir Tihange 3 en exploitation pendant 10 ans de plus signifie donc que lors de ces 10 années d'exploitation supplémentaires, un volume d'eaux usées réduit d'environ un tiers mais de composition similaire (et donc une charge polluante totale annuelle plus faible) sera déversé. En considérant ce qui précède, il est estimé que la prolongation d'exploitation de Tihange 3 aura un impact négligeable sur la Meuse.

Par rapport au scénario de référence (Tihange 2 ferme en 2023 et Tihange 1 et 3 ferment en 2025), les *concentrations* de polluants dans l'eau de refroidissement, y compris la température et les chlorures, devraient être similaires à celles de la situation actuelle et à celles de 2013-2014. Dans le nouveau scénario (seul Tihange 3 est prolongé jusqu'en 2037), les unités Tihange 1 et 2 et leur circuit de refroidissement ne seront plus en service, ce qui signifie que l'utilisation de l'eau de la Meuse comme eau de refroidissement diminuera également pour atteindre environ 397 millions de m³ (voir ci-dessus). Les charges polluantes rejetées et les charges thermiques de l'eau de refroidissement devraient donc également diminuer dans le scénario de référence par rapport au Projet avec report de la désactivation

Qualité structurelle

Comme aucun ouvrage n'est prévu aux points de rejet ou de captage existants dans la Meuse dans le cadre de la prolongation de Tihange 3, l'impact sur la qualité structurelle de la Meuse n'est pas considéré comme pertinent.

Inondations

Le risque d'inondation externe est lié à une forte crue de la Meuse située au nord des installations du site de Tihange, à une rupture accidentelle du barrage d'Ampsin-Neuville ou à un débordement des aérorefrigérants de Tihange 2 et Tihange 3.

Afin d'éviter les risques d'inondation, une digue de protection disposée en bordure de Meuse et en amont du dispositif de protection du site de la centrale de Tihange contre les inondations dues aux crues de la Meuse (mur anti-inondation) a été construite. En outre, le site de Tihange, y compris ses parties basses, est intégralement protégé par un dispositif anti-inondation (mur anti-inondation, digue, valves anti-retour).

Notons également que la centrale prévoit la mise en place de projets de collecte et réutilisation des eaux pluviales.

6.2.3.2 Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques

Il est ensuite possible d'évaluer dans quelle mesure les effets décrits ci-dessus, qui peuvent se produire du fait du maintien de Tihange 3 en activité pendant 10 années supplémentaires, contribuera dans une plus ou moins grande mesure à atteindre ou éventuellement à entraver les objectifs politiques considérés comme importants pour le système hydrographique. Les objectifs politiques pertinents qui entrent en jeu dans ce Projet sont la réalisation d'un bon état des eaux de surface, la poursuite d'une gestion durable de la chaîne de l'eau, la limitation des risques d'inondation et la poursuite d'un approvisionnement durable en eau.

Atteindre un bon état des eaux de surface

Le maintien en service de Tihange 3 pendant 10 années supplémentaires signifie que les eaux usées domestiques (épurées), les eaux usées industrielles traitées et l'eau de refroidissement (réchauffée) seront rejetées pendant 10 ans. Comme les normes de rejet sont bien respectées pour les différents paramètres et que la contribution calculée à l'augmentation de la concentration est limitée (localement) à négligeable, cela signifie qu'une pollution

résiduelle se retrouvera dans la Meuse pendant 10 ans. La masse d'eau dans laquelle le rejet a lieu est actuellement encore dans un état écologique « médiocre » et ne respecte pas toutes les normes de qualité environnementale. En termes de charge polluante totale, la centrale nucléaire peut quoiqu'il en soit être qualifiée de contributeur important. La capacité d'auto-épuration de la Meuse n'a pas encore été suffisamment rétablie.

Étant donné les effets limités de la centrale nucléaire sur la qualité de l'eau et les efforts continus qui seront fournis pour réduire davantage les effets au cours de la période 2025-2037, il peut être considéré que le Projet ne compromet pas la réalisation du bon potentiel écologique des eaux de surface. Depuis la mise en service de la centrale nucléaire, l'état de la Meuse ne s'est pas dégradée ; les efforts fournis et à fournir pour respecter les normes de rejet permettront de ne pas altérer la qualité de l'eau de Meuse. Il n'y a aucune raison de craindre que l'état actuel (certes) insatisfaisant de la Meuse se détériore suite au maintien en activité de Tihange 3 dix ans de plus. La désactivation (scénario de référence) apportera bien sûr une contribution positive, mais il n'est pas certain que cela suffise à faire évoluer l'état insatisfaisant de la Meuse vers un bon état.

limiter les risques d'inondation

En ce qui concerne les risques d'inondation, il n'y a aucun problème dans la situation actuelle et aucun problème n'est prévu à court ou moyen terme. La centrale nucléaire n'est pas située dans une zone sensible aux inondations et est également suffisamment protégée contre d'éventuels risques d'inondation futurs suite à des pluies plus intenses (dus au changement climatique). Rien n'indique non plus que la centrale causera ou maintiendra des risques d'inondation indésirables en aval. Par conséquent, le fait de garder Tihange 3 ouvert plus longtemps ne contribuera pas de façon notable à réduire ou à provoquer les risques d'inondation.

6.2.3.3 Résumé des principales conclusions

L'évaluation par rapport aux objectifs pour le système hydrographique est résumée dans le Tableau 70.

Tableau 70 : Résumé de l'évaluation des objectifs par rapport au système hydrographique.

Objectif	Contribution Projet (report 10 ans)	Score
Bonne situation des eaux de surface	Pas de détérioration de l'état.	Neutre
Limitation des risques d'inondation	Aucune contribution notable	Neutre
Approvisionnement durable en eau	Pas d'efforts/plans sur l'utilisation circulaire de l'eau	Négatif

6.2.4 Mesures d'atténuation

- Séparer l'eau de pluie des eaux usées sanitaires et réutiliser l'eau de pluie comme eau sanitaire, éviter autant que possible la consommation d'eau de ville.
- Adoucir (infiltration), installer des toits verts ou des plans d'eau (tampon) sur le site pour réduire l'effet d'îlot de chaleur et retenir et stocker l'eau plus localement ;
- Ajustement précis anticipé de la capacité de refroidissement sur la base du suivi de la température de la Meuse.

6.2.5 Lacunes dans les connaissances et suivi

Il n'y a pas de lacunes dans les connaissances qui empêcheraient l'évaluation des impacts sur le système hydrographique d'être suffisamment précise. Cependant, il y a un manque d'informations sur la proportion d'eaux usées provenant des différentes unités et donc sur la contribution exacte de l'exploitation de Tihange 3 à la pollution résiduelle se retrouvant dans la Meuse pendant les 10 années d'exploitation supplémentaires.

Une surveillance supplémentaire par rapport au programme de suivi existant n'est pas jugée nécessaire.

6.3 Biodiversité

6.3.1 Objectifs politiques pertinents

La Loi sur la Conservation de la Nature (LCN) du 12 juillet 1973 tend à sauvegarder le caractère, la diversité et l'intégrité de l'environnement naturel par des mesures de protection de la flore et de la faune, de leurs communautés et de leurs habitats. Dans cette optique, il est important de s'assurer que les projets, y compris la décision de prolonger l'activité du réacteur de Tihange 3, n'est pas incompatible avec la protection de ces espèces (mise à mort, perturbation de la nidification, destruction/endommagement/perturbation/etc. des nids, détention, vente, cueillir, couper, etc.) ou avec les réserves naturelles érigées dans le but de sauvegarder les territoires présentant un intérêt pour la protection de la flore et de la faune, des milieux écologiques et de l'environnement naturel.

Le Décret du Gouvernement wallon du 6/12/2001 (Décret Natura2000) transpose en droit wallon la Directive 79/409/CEE concernant la conservation des oiseaux sauvages, ainsi que de l'annexe II de la Convention de Berne, relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe.

En outre, la mise en œuvre des directives européennes dans la LCN garantit que, pour les sites Natura2000, c'est-à-dire les zones relevant des directives Habitats et Oiseaux, il faut non seulement démontrer que des effets négatifs significatifs sont évités par rapport à la situation actuelle, mais aussi que la prolongation de l'exploitation de la centrale n'entrave pas la réalisation des objectifs naturels fixés pour ces zones. Cette question est examinée dans le cadre d'une évaluation appropriée.

L'Arrêté de l'Exécutif régional wallon du 8 juin 1989 relatif à la protection des zones humides d'intérêt biologique (ZHIB) vise à protéger les étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est statique ou courante, et dont la valeur écologique et scientifique est reconnue par arrêté du Ministre chargé de la conservation de la nature, sur avis du Conseil supérieur wallon de la conservation de la nature (tel que défini dans l'Art. 1^{er} de l'Arrêté). À nouveau, dans cette optique, il est important de s'assurer que la prolongation du réacteur de Tihange 3 n'apportera pas de perturbation aux espèces présentes dans les ZHIB. Ces objectifs n'apparaissent pas pertinents dans le cadre du présent projet de prolongation étant donné que le site n'est pas inclus dans une ZHIB. Ils sont tout de même rappelés du fait qu'une ZHIB est retrouvée à moins de 3 km du site étudié.

L'Arrêté du Gouvernement wallon du 26 janvier 1995 organisant la protection des cavités souterraines d'intérêt scientifique (CSIS) a notamment pour objectif de protéger les CSIS d'une destruction, même partielle, ou d'une détérioration par exploitation directe de matière première, par exploitation touristique ou sportive, par pollution ou par toute autre forme d'intervention volontaire conduisant à une réduction sensible de son intérêt. Encore une fois, ces objectifs n'apparaissent pas pertinents dans le cadre du présent projet de prolongation étant donné que le site ne dispose pas d'une CSIS. Ils sont tout de même rappelés du fait qu'une CSIS est retrouvée à moins de 3 km du site étudié.

Un autre objectif réside dans le Projet des Troisièmes Plans de gestion des Districts Hydrographiques Wallons (PGDH3 – Cycle 2022-2027)¹⁰⁰ qui transpose la Directive-Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) dans la législation wallonne. Le § 6.2.2 de ce projet cite les différents objectifs environnementaux pour les eaux de surfaces, les eaux souterraines ainsi que les zones protégées. L'un des objectifs relatifs aux eaux de surface consiste en l'atteinte d'un état écologique « bon » pour les différentes masses d'eau tandis que l'un des objectifs relatifs aux zones protégées vise à l'atteinte du bon état (ou du bon potentiel) des masses d'eau dans tous les sites Natura2000. Il est donc pertinent d'étudier si la prolongation de Tihange 3 aura un impact sur la réalisation des objectifs de l'état écologique pour la masse d'eau MV35R Meuse II et les sites Natura2000 - avec les espèces et habitats d'intérêt communautaire - que l'on retrouve en son sein.

Les différentes composantes du projet de prolongation seront vérifiées par rapport à ces objectifs sur la base des questions ci-dessous :

- Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le projet puisse éviter les perturbations aux espèces protégées (cfr. LCN) ?
- Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le projet puisse éviter des perturbations aux réserves naturelles (cfr. LCN) ?
- Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le projet puisse éviter des impacts significatifs par rapport aux zones Natura2000 (cfr. LCN) ?
- Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le projet puisse éviter des perturbations aux ZHIB (cfr. Arrêté de l'Exécutif régional wallon du 8 juin 1989) ?
- Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le projet puisse éviter des impacts significatifs par rapport aux CSIS (cfr. AGW du 26 janvier 1995) ?
- Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que la mise en œuvre du projet n'entrave pas la réalisation des objectifs formulés dans le projet des troisièmes plans de gestion des districts hydrographiques wallons pour le cycle 2022-2027 (cfr. Directive 2000/60/CE) ?

6.3.2 Discussion des impacts à étudier

Le projet de prolongation du réacteur Tihange 3 peut impacter de plusieurs façon le milieu biologique. L'étude des incidences vise à estimer les impacts que pourrait avoir la prolongation de l'activité de Tihange 3 sur les objectifs liés à la conservation de la biodiversité dans la législation wallonne, transposant elle-même certains objectifs venant de directives européennes. La compatibilité du projet de prolongation avec les politiques de conservation de la nature pourra alors être déterminée.

Dans le cadre de l'étude des effets du projet sur la biodiversité, la plupart des impacts attendus sont indirectement liés aux effets que la prolongation du réacteur aura sur les eaux, l'environnement acoustique ou encore l'air. Il est néanmoins important de noter que, dans le cas où les impacts du projet sur ces thématiques sont jugés non significatifs, ils ne sont pas abordés dans le présent chapitre.

Plusieurs potentiels impacts sur la biodiversité sont liés aux prises et rejets d'eau dans la Meuse. En effet, le site de la centrale est situé juste en face d'une darse incluse dans un site Natura2000, il est possible que la prolongation de Tihange 3 induise des effets sur les habitats et les espèces d'intérêt communautaires visés par ce site. En outre, cette prolongation pourrait également influencer les objectifs formulés par le plan de gestion du district hydrographique au sein duquel est incluse la Meuse.

L'impact de la prolongation de la durée de vie de Tihange 3 se manifeste dans différents domaines significatifs :

- Rejets de chaleur dans la Meuse : une augmentation de la température de la Meuse due au rejet thermique pourrait induire une diminution de la concentration de saturation de l'oxygène dissous dans l'eau, rendant ainsi la zone moins favorable pour certaines espèces (Exemple : les salmonidés) ;
- Modification de la qualité des eaux de surface causé par des rejets d'eaux usées. À noter que le présent chapitre n'est pas voué à étudier l'impact que la radioactivité peut induire sur les eaux de la Meuse. Ces aspects sortent du cadre de l'étude conventionnelle des incidences sur l'environnement. Ils sont discutés dans la section relative aux effets radiologiques ;
- Effet physique du pompage sur les poissons, mollusques, crustacés et autres invertébrés dû au captage d'eau de refroidissement directement en Meuse. Le courant important généré par le pompage est susceptible d'entraîner des poissons vers les pompes, induisant la mort de ceux-ci.

Outre les impacts que pourrait avoir la prolongation de Tihange 3 sur la Meuse, des impacts liés aux nuisances sonores, lumineuses et autres impacts liés à la présence humaine seront également discutés dans la présente étude.

De manière indirecte, le projet de prolongation est également susceptible de former des retombées acidifiantes et d'eutrophisation à la suite des rejets émis par les installations de combustion et au trafic au sein du site. À noter que les émissions de dioxydes de soufre, oxyde d'azote et ammoniac provenant de l'activité d'un réacteur nucléaire

sont faibles en situation normale ; il apparaît donc plus pertinent d'étudier l'impact évité par rapport aux émissions d'une centrale TGV (Turbine-Gaz-Vapeur) de puissance équivalente. Toutefois, au vu de la présence de générateurs de secours pouvant émettre des gaz de combustion de façon plus significative, lorsque leur utilisation s'avère nécessaire, il apparaît tout de même pertinent d'en discuter dans la présente étude d'impact.

Des effets sur l'occupation directe des terres peuvent en principe être considérés, puisque la prolongation de l'exploitation des centrales signifie que l'espace occupé ne peut pas être utilisé pour le développement de la nature.

Aucune modification de l'hydrologie de la Meuse n'est attendue. En effet, l'eau de refroidissement captée est presque entièrement rejetée dans le fleuve, de sorte qu'aucun impact sur la biodiversité lié à des modifications de débit ou de niveau de la Meuse n'est attendu.

6.3.3 Délimitation de la zone d'étude

La zone d'étude généralement utilisée pour tous les aspects liés à la biodiversité dans les études d'impacts est le rayon de 3 km autour du site d'étude. Au-delà de ce périmètre, les incidences du projet de prolongation peuvent être considérées comme non significatives.

Ainsi, l'ensemble des zones de protection, au moins partiellement comprises dans la zone d'étude sont considérées dans la présente étude d'impact.

Les zones de protection de la nature retrouvées au sein de la zone d'étude sont les suivantes : le site Natura2000 « Vallée de la Meuse à Huy et vallon de la Solières » (Code : BE33010) situé au niveau de la darse sur la rive opposée, juste en face du site de la centrale. À noter que la zone d'étude comprend également des zones boisées et des coteaux mosans accueillant des habitats d'intérêt communautaire.

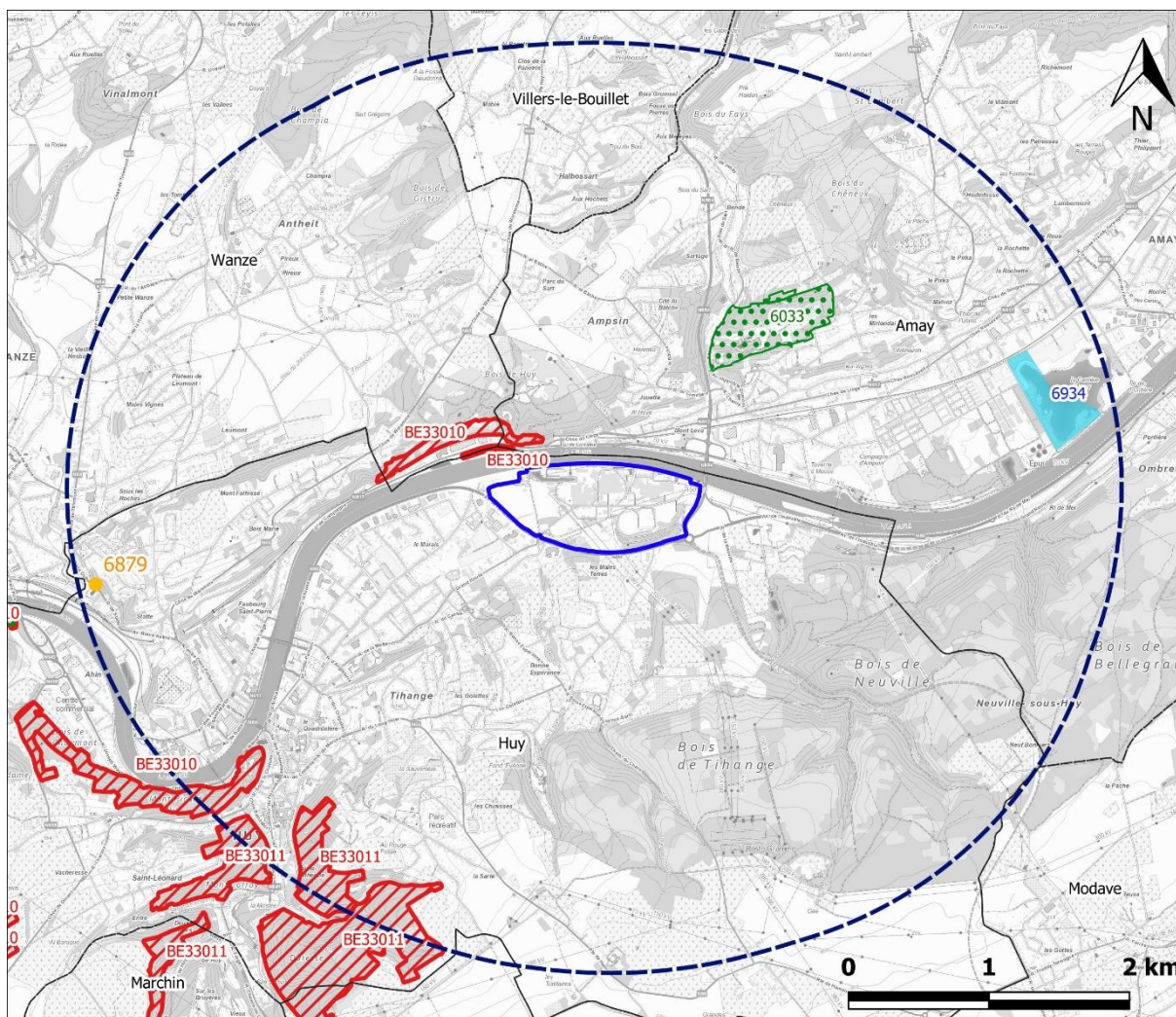
À 785 m au nord-est du site est retrouvée la réserve naturelle domaniale « Carrière d'Ampsin » (Code : 6033). Cette carrière renferme des biotopes assez variés : rochers exposés, éboulis, plans d'eau, friches herbeuses interrompues par des espaces plus ouverts et rocailleux, massifs buissonneux et boisés. Ces milieux présentent un grand intérêt entomologique et les mares accueillent un riche cortège d'odonates et d'amphibiens.

Une zone d'intérêt biologique est également retrouvée à environ 2,4 km à l'est du site de la centrale ; il s'agit de la « Gravière d'Amay » (Code : 6934) qui présente un intérêt ornithologique en accueillant la nidification ou en offrant un lieu de halte ou d'hivernage pour plusieurs espèces d'intérêt patrimonial. L'endroit accueille également une riche faune d'amphibiens et d'odonates.

Un second site Natura2000 un peu plus éloigné est retrouvé à environ 2,4 km au sud-ouest du site de Tihange : « Vallées du Hoyoux et du Triffooy » (Code : BE33011). Elle abrite un massif abritant plusieurs variétés de forêt (calcicoles, neutrophiles, acidophiles, thermophiles, de ravin, alluviales). « *Le site est par ailleurs jalonné d'une série de milieux rocheux et de pelouses, et abrite plusieurs prairies maigres d'intérêt communautaire [...] la présence de plusieurs grottes et cavités en fait un site important pour les chauves-souris* » (SPW)¹⁰¹. Il présente, par ailleurs, un intérêt ornithologique non négligeable.

Enfin, la cavité souterraine d'intérêt scientifique « Galerie minière de Statte à Huy » (Code : 6879) est retrouvée à environ 2,8 km à l'est du site de la centrale. Cette galerie a été classée CSIS dans l'optique de préserver les populations de chauves-souris et d'intégrer ce site dans le réseau des sites d'hivernage en Région wallonne.

La localisation de ces différents sites est illustrée à la figure suivante.



- Légende :**
- Limite du site
 - Périmètre de 3 km autour du site
 - Limite communale
 - Zone Natura 2000
 - Réserve naturelle domaniale
 - Zone humide d'intérêt biologique (ZHIB)
 - Cavité souterraine d'intérêt scientifique (CSIS)

Figure 80 : Zones de protection de la nature.

6.3.4 Description de la situation de référence

Zones Natura2000

Comme décrit précédemment, la zone du projet se trouve dans une région accueillant plusieurs zones de protection spéciale appartenant au réseau Natura2000. Les objectifs naturels qui ont été fixés pour ces zones constituent donc une référence importante pour l'évaluation des impacts. Le Tableau 71 illustre les espèces cibles pour toutes les deux zones Natura2000 situées dans la zone d'étude, à moins de 3 km du site du réacteur de Tihange 3.

Tableau 71 : Espèces cibles pour les zones Natura2000 se trouvant à moins de 3 km du site de la centrale de Tihange.
x : espèce explicitement reprise comme objectif ; / : l'espèce n'est pas un objectif.

Espèce cible	Vallée de la Meuse à Huy et vallon de la Solières BE33010	Vallées du Hoyoux et du Triffoy BE33011
Oiseaux		
Cigogne noire (<i>Ciconia nigra</i>)	/	X
Bondrée apivore (<i>Pernis apivorus</i>)	X	/
Grand-duc d'Europe (<i>Bubo Bubo</i>)	X	X
Harle piette (<i>Mergellus albellus</i>)	X	/
Martin pêcheur d'Europe (<i>Alcedo atthis</i>)	X	X
Milan royal (<i>Milvus milvus</i>)	/	X
Pic noir (<i>Dryocopus martius</i>)	X	X
Pie-grièche écorcheur (<i>Lanius collurio</i>)	/	X
Mammifères		
Barbastelle d'Europe (<i>Barbastellus barbastellus</i>)	/	X
Castor d'Europe (<i>Castor fiber</i>)	X	/
Grand Murin (<i>Myotis myotis</i>)	X	/
Grand Rhinolophe (<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>)	X	/
Murin de Bechstein (<i>Myotis bechsteini</i>)	X	/
Murin des marais (<i>Myotis dasycneme</i>)	X	/
Murin à oreilles échancrées (<i>Myotis emarginatus</i>)	X	X
Petit Rhinolophe (<i>Rhinolophus hipposideros</i>)	X	X
Poissons		
Chabot (<i>Cottus gobio</i>)	/	X
Lamproie de Planer (<i>Lampetra planeri</i>)	/	X
Insectes		
Ecaille chinée (<i>Callimorpha quadripunctaria</i>)	X	X
Lucane cerf-volant (<i>Lucanus cervus</i>)	/	X

En plus des espèces, des habitats sont visés par les deux sites Natura2000 précédemment cités. Il est toutefois important de noter que tous les habitats listés dans la fiche de ces deux sites ne sont pas pertinents dans le cadre de cette EIE étant donné qu'ils ne sont pas représentés dans le rayon de 3 km autour du site du Demandeur. Seuls les habitats Natura2000 se trouvant dans la zone d'étude sont abordés ici.

- Type d'habitat 6110 : Pelouses rupicoles calcaires ou basiphiles ;
- Type d'habitat 91E0 : Forêts alluviales ;
- Type d'habitat 8160 : Eboulis sur roches calcaires ;
- Type d'habitat 9180 : Forêts de ravins et de pentes ;
- Type d'habitat 9150 : Hêtraies calcicoles ;
- Type d'habitat 8210 : Pentences rocheuses calcaires.

En Wallonie, les habitats Natura 2000 sont regroupés en unités de gestion (UG) nécessitant des mesures dans l'objectif de les maintenir dans un état de conservation favorable.

Les différentes unités de gestion auxquelles sont associées les habitats d'intérêt communautaires présent au sein des deux zones Natura2000 reprises dans le périmètre de 3 km autour du site de la centrale de Tihange, ainsi que leur objectif principal¹⁰², sont repris ci-après :

- UG2 « Milieux ouverts prioritaires » : Ces milieux deviennent de plus en plus rares dans nos paysages. Les mesures de gestion ont pour objectif d'éviter l'altération de leur composition végétale – **Types d'habitat : 6110, 8160 et 8210** ;
- UG7 « Forêts prioritaires alluviales » : Maintenir cet habitat forestier le long des cours d'eau en évitant son morcellement – **Type d'habitat : 91E0** ;
- UG8 « Forêts indigènes de grand intérêt biologique » : Maintenir cet habitat forestier en évitant toute altération de sa structure et de sa composition – **Type d'habitat : 9150**.

Réserve naturelle

Le site de la centrale nucléaire de Tihange se trouve à 786 m au sud d'une réserve naturelle domaniale. Pour rappel, il s'agit de la « Carrière d'Ampsin » (code : 6033). Cette ancienne carrière a reçu le statut de réserve naturelle par l'Arrêté du Gouvernement wallon du 21 mai 2015 créant la réserve naturelle domaniale « La Carrière d'Ampsin » à Ampsin (Amay).

Cette réserve naturelle fait l'objet d'un plan particulier de gestion approuvé par ce même arrêté.

Les principaux objectifs de ce plan de gestion sont de favoriser la diversification biologique en s'appuyant sur les potentialités naturelles et artificielles du milieu¹⁰³ :

1. Maintenir la diversité des habitats résultant des activités extractives et contribuant à l'intérêt biologique des carrières (parois verticales, éboulis, pierriers, friches, plans d'eau, etc), propices à diverses espèces et rares ou remarquables dans la région, par exemple, milieux humides pour les amphibiens ;
2. Améliorer l'intérêt écologique du site par la gestion ou la reconversion partielle des zones plus banales (friches à orties, groupements arbustifs, etc) en veillant toutefois à conserver des zones témoins de ces végétations ; maintenir un maximum de zones ouvertes propices aux espèces originales des groupements végétaux pionniers et des pelouses, etc. ;
3. Aménager de nouveaux milieux nécessaires au développement d'espèces animales et végétales particulières (mares permanentes ou temporaires, cavités dans les parois rocheuses, rafraîchissement de falaises sableuses ou terreuses, etc) ;
4. Préserver le site d'exploitation comme témoin de l'histoire.

Zone humide d'intérêt biologique

Pour rappel, l'Arrêté de l'Exécutif régional wallon du 8 juin 1989 vise à protéger les milieux aquatiques et humides identifiés au sein des zones humide d'intérêt biologique. Dans cette optique, une convention a été signée entre la commune d'Amay et le SPW Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement (SPW ARNE) pour assurer la gestion du site de la « Gravière d'Amay » (Code : 6934) se trouvant à 2 357 m à l'est du site de la centrale de Tihange. Il est dès lors nécessaire de s'assurer que la prolongation du réacteur n'engendrera pas d'impact significatif sur les milieux désignés ZHIB ainsi que sur les espèces qui les fréquentent.

A titre informatif, la Gravière d'Amay présente surtout un intérêt ornithologique et des aménagements favorables à la nidification de l'Hirondelle de rivage, espèce d'intérêt communautaire, y ont été installés.

Cavité souterraine d'intérêt scientifique

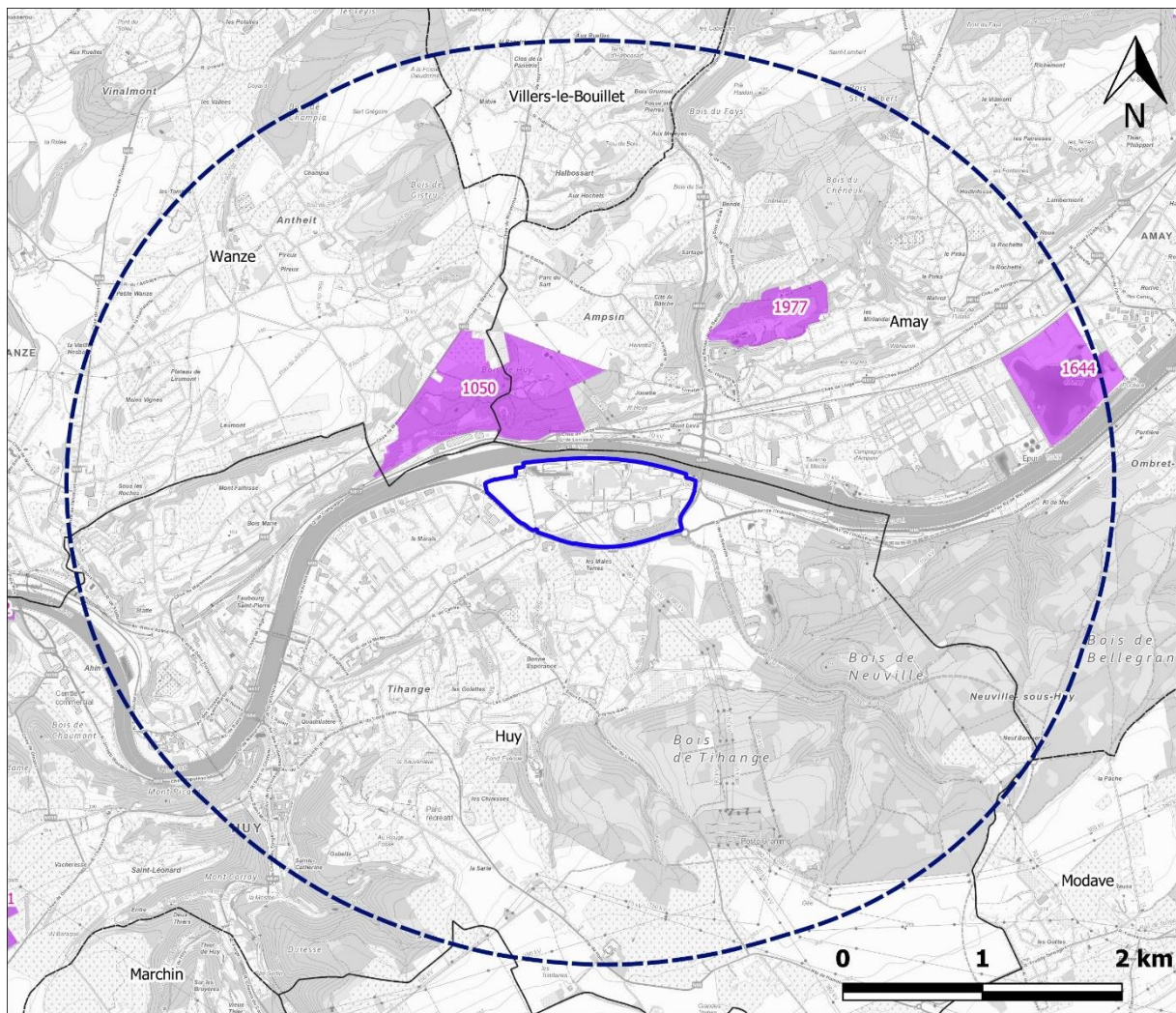
La Galerie minière de Statte à Huy, se trouvant à 2,8 km à l'est de la centrale de Tihange, a été désignée par l'Arrêté ministériel du 10 octobre 2008 portant création de la CSIS. Cet arrêté implique la mise en œuvre de mesures de protection et de gestion particulières de la cavité. Ces mesures de protection et de gestion consistent à aménager le site en vue de permettre sa conservation d'un point de vue biologique et d'augmenter son attractivité pour les chiroptères (Art. 1 & 2).

Site de Grand Intérêt Biologique

L'inventaire des sites de grand intérêt biologique (SGIB) a pour but de recenser (identifier, localiser et décrire) les espaces naturels ou semi-naturels terrestres ou aquatiques remarquables en Wallonie. Il rationalise le recueil et la gestion de nombreuses données biologiques (faune, flore, habitats) et constitue un outil fondamental de la connaissance scientifique du patrimoine naturel en Wallonie. Il apporte une information technique sur la nature aux gestionnaires du territoire et constitue une base de réflexion pour l'élaboration d'une politique de protection de la nature, en particulier pour les milieux les plus sensibles.

Le but de la base de données est de rassembler dans un seul système toutes les informations décrivant l'intérêt biologique des sites. Il reprend donc toutes les informations de la fiche descriptive élaborée début 1990 et y ajoute d'autres informations de manière à obtenir une fiche standard la plus complète possible. Ce masque descriptif est appliqué à tous les inventaires existants pour qu'ils puissent être rassemblés dans une seule base de données. Certains inventaires sont toutefois trop peu détaillés, trop anciens ou trop vastes pour être incorporés directement comme fiches SGIB. Ils sont alors stockés dans des fichiers spécifiques auxquels les fiches SGIB détaillées peuvent faire référence.

À nouveau les SGIB n'impliquent aucune contrainte d'un point de vue législatif, de sorte que ces SGIB sont renseignés dans un rayon de 3 km autour du site de la centrale à titre indicatif (voir figure suivante). Il peut toutefois être noté que certains de ces sites abritent des espèces reprises en Annexe I de la Directive 79/409 ou Annexe XI du Décret relatif à la conservation des sites Natura 2000.



Légende :





-  Limite du site
-  Périmètre de 3 km autour du site
-  Limite communale
-  SGIB

Figure 81 : Sites de grand intérêt biologique dans la région du projet.

Trois SGIB (présentés à la figure précédente) sont retrouvés à moins de 3 km du site de la centrale de Tihange, il s'agit de :

- « Corphalie » (code : 1050), situé à 150 m au nord du site. « Il occupe un versant rocheux très escarpé d'exposition sud. On y rencontre des friches et des pelouses calcicoles, des pelouses calaminaires, des mares temporaires, un ancien bassin de décantation, des forêts de pente, une buxaie, des rochers exposés, etc. Cette étonnante mosaïque de milieux est à l'origine de l'installation d'une flore et d'une entomofaune d'une richesse exceptionnelle, comprenant beaucoup d'espèces remarquables et souvent présentes en grande densités (papillons, orthoptères, etc.) »¹⁰⁴ ;
- « Carrière d'Ampsin » (code : 1977), située à 967 m au nord du site, qui est une carrière calcaire dont l'exploitation a été arrêtée et qui a été érigée en réserve naturelle domaniale (cfr. ci-avant) ;

- « Gravière d'Amay » (code : 1644), située à 2,4 km à l'est du site, dont l'intérêt réside principalement en la présence de milieux humides et aquatiques intéressants et, en partie, repris en ZHIB (voir ci-avant).

Plan communal de développement de la nature

En vertu de l'article D.48. de la partie décrétable du code de l'environnement, le conseil communal peut établir un plan communal de l'environnement et de développement de la nature. Celui-ci est établi pour une durée de cinq ans et reste d'application tant qu'il n'a pas été remplacé. Le plan communal de développement de la nature (PCDN) est un outil proposé aux communes pour organiser de façon durable la prise en compte de la nature sur leur territoire en intégrant le développement économique et social. Le PCDN vise à maintenir, à développer ou à restaurer la biodiversité au niveau communal en impliquant tous les acteurs locaux, après avoir réalisé un diagnostic du réseau écologique et dégagé une vision conjointe de la nature et de son avenir au niveau local (biodiversité.wallonie.be).

La mise en place de ce PCDN n'impose aucune contrainte du point de vue de la législation mais engage la commune à promouvoir et restaurer le patrimoine naturel et paysager sur son territoire.

L'objectif du PCDN est de « *de préserver ou d'améliorer le patrimoine naturel et paysager d'un territoire, dans ses composantes physiques et biologiques, tout en respectant et en favorisant le développement économique et social des habitants. Il s'agit de promouvoir le développement des valeurs, naturelles et paysagères, et de maintenir ou de reconstituer un réseau écologique au niveau communal, en faisant participer tous les acteurs locaux concernés* » (SPW ARNE).

La commune de Huy dispose d'un PCDN mis en place en 2012 et n'a pas été remplacé depuis lors, de sorte qu'il peut être considéré que celui-ci est toujours d'application sur le territoire communal.

Dans son application à la gestion de la diversité biologique, le concept de réseau écologique est plutôt considéré comme un outil de planification territoriale qui vise à une partition du territoire en zones d'objectifs permettant le maintien de la diversité biologique. En général au moins trois types de zones correspondant à trois fonctions sont retenus¹⁰⁵ :

- Les zones centrales (ZC) sont des zones recelant des populations d'espèces et des habitats de grande valeur patrimoniale et encore en bon état de conservation. L'objectif de conservation du patrimoine naturel y est prioritaire et ces zones méritent un statut de conservation fort. On distinguera également parmi ces zones centrales des ZC caractéristiques (ZCc), c'est-à-dire hébergeant des populations d'espèces ou des habitats en bon état de conservation, et des ZC restaurables (ZCr), qui hébergent quant à elles des populations d'espèces ou des habitats dégradés pour lesquels des actions de restauration doivent être menées afin d'atteindre un état de conservation favorable ;
- Les zones de développement (ZD) (ou zones associées) sont des zones d'intérêt biologique moindre mais recelant néanmoins un potentiel important en matière de biodiversité. Ce sont des zones qui nécessitent a priori une moindre protection que les zones centrales et dans lesquelles la coexistence de différents objectifs est compatible. Dans le cadre de notre étude du réseau écologique de Huy, ces zones de développement se déclineront en 4 sous-catégories :
 - ZD forestières feuillues (ZDff) – Ces zones correspondent à des milieux forestiers feuillus, faisant partie intégrante de la Structure Ecologie Principale, mais ne comportant pas d'habitats ou d'espèces particulièrement rares. Ceux-ci ont néanmoins un rôle important à jouer au sein de la Structure Ecologique Principale. Une exploitation forestière traditionnelle, complétée de mesures favorables à la biodiversité, peut y être pratiquée ;
 - ZD forestières résineuses (ZDfr) – Ces zones correspondent à des milieux forestiers résineux (plantés de conifères). Ces plantations d'espèces exotiques sont d'un moindre intérêt écologique que les peuplements feuillus mais hébergent néanmoins certaines espèces intéressantes. Il est également possible de restaurer des habitats forestiers feuillus, ou parfois des habitats semi-naturels ouverts à partir de ces plantations de résineux ;

- ZD de prairies bocagères (ZDb) – Ces zones correspondent à des prairies à valeur biologique relativement élevée, en raison soit de particularités qui ne permettent pas une intensification excessive (pente, humidité du sol,...), soit de par la présence d'éléments bocagers diversifiant la structure verticale de la prairie (haies, saules têtards, alignements d'arbres, etc.). Ces deux paramètres sont également souvent liés ;
- ZD de prairies exploitées intensivement (ZDp) – Ces zones correspondent à des prairies de faible valeur biologique, car fortement fertilisées, pâturées et/ou artificialisées. Néanmoins, elles se distinguent d'une matrice agricole constituée de terres labourées, ce qui leur confère un certain intérêt au sein du réseau écologique ;
- ZD à valeur biologique intrinsèque autre (ZDa) – Ces zones recèlent des espèces ou des habitats non strictement forestiers ou prairiaux qui ont une valeur biologique importante, mais ne justifiant pas pour autant un statut de zone centrale car les mesures nécessaires à leur conservation ne sont pas particulièrement contraignantes. Ces zones peuvent englober des parcs de château, des espaces verts publics, des vergers hautestiges, etc.

Les zones centrales et zones de développement constituent la Structure Ecologique Principale (SEP). La localisation du site de la centrale par rapport au réseau écologique de la commune de Huy est reprise à la figure suivante.

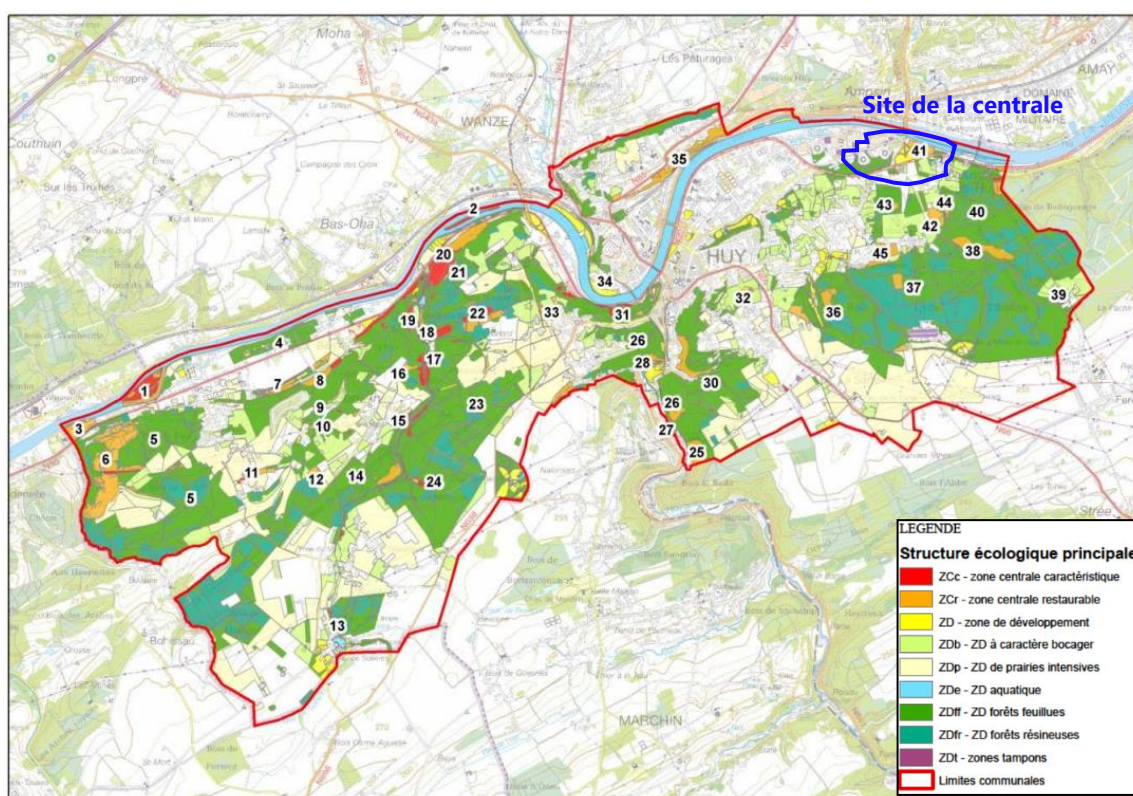


Figure 82 : Structure écologique principale (Source : GxABT 2012).

Une portion du site de la centrale nucléaire de Tihange est comprise dans le réseau écologique de la commune de Huy. Il s'agit de surfaces reprises en zone de développement forêts feuillues (ZDff).

Dans le cadre de l'étude d'incidences sur l'environnement réalisée par Vinçotte Environnement dans le cadre d'une demande de permis unique sur le site de la centrale de Tihange, en octobre 2007, des relevés biologiques de terrain ont été effectués et permettent de citer plusieurs espèces végétales plantées et constituant les ZDff au sein du site :

- *Cotoneaster franchetii* ;
- *Cotoneaster* « Coral Beauty » ;

- *Viburnum plicatum* « *mariesii* » ;
- *Viburnum rhytidophyllum* ;
- *Spiraea arguta* ;
- *Paulownia tomentosa* ;
- *Lonicera nitida* « *Elegant* » ;
- *Weigelia* « *Eva Rathke* » ;
- *Osmanthus burkwoodi* ;
- *Deutzia gracilis* ;
- *Prunus glandulosa* ;
- *Prunus serotina* ;
- *Corylus maxima* « *Purpurea* » ;
- *Sambucus racemosa* ;
- *Fagus sylvatica* ;
- *Fagus purpurea tricolor* ;
- *Pinus nigra* « *Nigra* » ;
- *Pinus nigra* « *Austriaca* » ;
- *Rosa nitida* ;
- *Pyracantha rogersiana* « *Orange glow* » ;
- *Pinus mugo*.

À noter que la commune d'Amay, se trouvant de l'autre côté de la Meuse par rapport au site de Tihange, dispose d'un PCDN dont la charte aurait été signée en 2008. Toutefois, le service communal d'Amay n'a pas été en mesure de fournir les documents qui s'y rapportent.

Aménagements au sein et autour du site

Comme expliqué par l'étude d'incidences sur l'environnement rédigée par CSD Ingénieurs Conseils SA et SCK-CEN SA en date du 24 avril 2019, Electrabel nv SA a réalisé un projet de réaménagement de promotion de la biodiversité en collaboration avec Natagora. Deux hectares de terrain jouxtant la centrale et situés le long de la N90 en direction de Namur ont été aménagés pour réhabiliter des prés fleuris, des haies, des zones humides et des zones forestières. L'objectif de ce projet était de renforcer la biodiversité de cette parcelle et d'y favoriser le développement de la faune et la flore. Au total, près de 4 000 arbres et arbustes ont été plantés.



Figure 83 : Prise de vue au niveau des deux hectares réhabilités le long de la N90 (Source : Electrabel nv 2018).

D'autres aménagements ont également été réalisés : installation de ruches sur la parcelle Natagora et de nichoirs. En 2014, une quinzaine de nichoirs ont été placés à différents endroits du site de la centrale et une cinquantaine d'oisillons ont été bagués.

En 2015, Electrabel nv SA a réalisé une cartographie des espaces verts présent sur le site et a défini, pour chacune des parcelles, une méthode d'entretien adéquate. Vingt nichoirs supplémentaires ont également été installés et un kilomètre de haie d'aubépines a été planté le long du mur longeant la Meuse. Cette haie accueille les abeilles qui sont, en collaboration avec un apiculteur local, élevées sur la parcelle Natagora.



Figure 84 : Photographies des aménagements réalisés sur le site de la centrale et sur la parcelle Natagora (Source : Electrabel nv 2017)

À noter que ces aménagements n'ont pas été imposés par les conditions du permis ni par une quelconque obligation législative.

Plan de gestion des districts hydrographiques

La centrale de Tihange est implantée dans le bassin hydrographique de la Meuse et plus particulièrement dans le sous-bassin hydrographique « Meuse Aval ».

La masse d'eau concernée par les activités du Demandeur est celle de la « Meuse II » (code : MV35R). A partir de la confluence avec le Ruisseau de Tailfer, la Meuse s'écoule jusqu'à la frontière néerlandaise.

Dans le cadre du plan de gestion des districts hydrogéographiques (PGDH) qui transpose la Directive-Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) dans la législation wallonne, une évaluation des états biologiques est réalisée tous les 6 ans. Dans le cadre du deuxième PGDH, une évaluation de la qualité de ces masses d'eau a été réalisée en 2013. Une synthèse de cette évaluation est reprise dans les Tableaux suivants.

L'état écologique des masses d'eau est évalué à l'aide d'indicateurs biologiques comme les macro-invertébrés, les diatomées, les poissons et les macrophytes, d'indicateurs physico-chimiques (bilan en oxygène, pH, matières azotées et phosphorées, polluants spécifiques) et des indicateurs hydromorphologiques telles que la continuité des cours d'eau et la nature des berges. L'état chimique est quant à lui évalué par la prise en compte des normes de qualité environnementale relative à 45 substances prioritaires.

Il peut être constaté, dans le Tableau ci-dessous, que la masse d'eau de la Meuse II, fortement modifiée, a une qualité moyenne. Il peut d'ailleurs être signalé que la comparaison de l'état écologique de cette masse d'eau entre les évaluations de 2007 et 2013 montre un maintien de la qualité moyenne.

Pour rappel, l'objectif du projet du troisième plan de gestion des districts hydrogéographiques est d'atteindre un état écologique « bon » pour cette masse d'eau. Au stade de l'écriture de la présente étude, ce projet de PGDH3 est à l'enquête publique.

Tableau 72 : Évaluation des états écologique et chimique des masses d'eau les plus proches du site en 2013 (Source : eau.wallonie.be¹⁰⁶).

Masse d'eau MV35R – Meuse II	État écologique PGDH 2		
	Moyen		
	Qualité biologique	Qualité physico-chimique	Qualité hydromorphologique
	Bon et plus	Paramètres généraux	Médiocre
		Bon	
		Polluants spécifiques	
		Mauvais	
	État chimique PGDH 2		
	Qualité hors PBT		
	Bon		
	Qualité avec PBT		
	Pas bon		
	Légende : PBT = substances persistantes, bio-accumulatives, toxiques et ubiquistes		

Contrat rivière

Un Contrat de Rivière résulte d'une démarche volontaire des acteurs de la rivière qui vise à mettre en place une gestion intégrée du bassin-versant, de ses cours d'eau et ressources en eau en misant sur la concertation, la sensibilisation et la participation.

Le rôle des Contrats de Rivière (au nombre de 14 en Région Wallonne) est de mettre autour d'une même table tous les acteurs impliqués dans la gestion des ressources en eau d'un bassin versant afin de définir un programme d'actions.

Pour ce faire, les missions des Contrats de Rivière sont multiples : réaliser un inventaire des atteintes aux cours d'eau, élaborer un programme d'actions sur base de cet inventaire, promouvoir et contribuer à une gestion globale et intégrée de l'eau (notamment via l'information et la sensibilisation des acteurs locaux et de la population) mais aussi contribuer à la mise en place des Plans de Gestion de l'eau par Districts Hydrographiques, des Plans de Gestion des Risques d'Inondations et collaborer à des initiatives communales comme les PCDN, les PCDR ou encore les CRIE. Les modalités d'élaboration des Contrats rivière sont fixées par le Code de l'Eau dont le livre II a été modifié par l'Arrêté du Gouvernement Wallon du 13 novembre 2008 relatif aux contrats de rivière.

La centrale nucléaire de Tihange se trouve en bord de Meuse. Celle-ci est incluse dans le Contrat de rivière « Meuse en aval » où un comité local pour la Meuse fluviale a été créé récemment. Toutefois, la consultation du programme d'action pour 2023-2025 ne laisse pas apparaître des actions au niveau de la portion du fleuve où s'implante le site de Tihange.

6.3.5 Description des effets

Impact sur les écosystèmes aquatiques

L'exploitation des centrales nucléaires peut avoir un impact sur les organismes présents dans la Meuse de différentes manières. Une distinction est faite entre les eaux usées sanitaires/eau de pluie, les eaux usées industrielles et les eaux de refroidissement. Tous ces rejets sont examinés en détail dans l'étude des impacts sur les eaux (§6.2.2) et leur impact sur la qualité de l'eau y est abordé.

- **Qualité des eaux**

Pour rappel, la centrale nucléaire de Tihange rejette des eaux usées domestiques et industrielles en Meuse. Un programme de surveillance permanent vérifie que les caractères physiques, chimiques et biologiques de ces eaux respectent les normes de rejet imposées par la législation wallonne au travers du permis d'environnement remis par la Région wallonne en 2008.

La norme de rejet est généralement respectée pour l'ensemble des paramètres même si, au cours de ces cinq dernières années, les déclarations environnementales pour l'ensemble de la centrale de Tihange ont renseigné des dépassements réels aux matières formées par sédimentation (2018 et 2019), au chlore libre (2018), aux nitrites (2020), à la concentration en azote (2020) et au DCO (Demande Chimique en Oxygène) (2021)¹⁰⁷. Chacun de ces dépassements a fait l'objet d'une déclaration au fonctionnaire chargé de la surveillance du site de la centrale et une recherche des causes était systématiquement menée pour éviter la récurrence.

En raison de la complexité des facteurs pouvant impacter les organismes retrouvés au sein de la darse comprise en zone Natura2000, il est difficile de déterminer avec exactitude si les rejets y ont localement un impact significatif. Il peut toutefois être considéré, en situation normale, que la prolongation de la durée de vie du réacteur de Tihange 3 n'est pas de nature à rejeter des eaux plus concentrées éléments polluants qu'actuellement dans la Meuse pour impacter la faune aquatique et, plus particulièrement, pour celle se trouvant au niveau de la darse reprise en zone Natura2000. La prolongation de la durée de vie de Tihange n'engendre pas d'impacts supplémentaires au niveau de la Meuse sur ce point. A contrario, dans l'éventualité de la fermeture de la CNT3, les émissions et incidences corollaires seront progressivement réduites jusqu'au terme du démantèlement inévitable de la centrale.

- **Eaux de refroidissement**

A cause des mortalités de biomasse induites par le passage de l'eau dans les circuits de la centrale, l'eau restituée au fleuve contient moins de phytoplancton vivant et actif, ce qui entraîne une diminution de la production d'oxygène dans la zone située en aval du rejet. De plus, l'eau restituée au fleuve contient des biomasses mortes, ce qui constitue une quantité supplémentaire de matière organique dont la décomposition par le compartiment microbien entraîne une consommation d'oxygène. Les deux effets - baisse de la production et hausse de la consommation d'oxygène dissous - agissent de concert et entraînent un abaissement de la teneur en oxygène dissous des eaux de la Meuse qui peut être perceptible à certaines époques de l'année dans la zone située en aval de la centrale¹⁰⁸. Certaines espèces de poissons sont particulièrement sensibles à la disponibilité de l'oxygène, et pourraient se raréfier. Il n'y a pas d'espèces de poissons très exigeantes au niveau de la disponibilité en oxygène (comme les salmonidés) : de telles espèces ne peuvent vivre que dans les rivières à courant rapide ou dans les milieux oligotrophes. Seuls des individus en migration (tels que la Saumon atlantique ou l'Anguille européenne) pourraient passer au niveau du tronçon au bord duquel s'implante la centrale. Ces poissons semblent toutefois capables de détecter et d'éviter les

rejets d'eau de refroidissement¹⁰⁹, de sorte qu'il est peu probable que la prolongation du réacteur Tihange 3 impacte significativement la migration des espèces de poissons sensibles.

Ces espèces sont plutôt menacées par les barrages et centrales hydroélectriques. En Meuse, de graves perturbations au niveau de la dévalaison tant de l'anguille argentée que des smolts de saumon et de truites de mer sont signalées. La perturbation de la dévalaison constitue actuellement, selon des experts, un des obstacles les plus importants pour une restauration durable des populations de poissons migrateurs dans le bassin de la Meuse en aval de l'Ourthe¹¹⁰. A la suite de ce constat, Luminus – exploitant de plusieurs centrales hydroélectriques sur la Meuse – a lancé, en collaboration avec le SPW-ARNE, le projet Life4Fish¹¹¹. Diverses mesures ont été prises dans le cadre de ce projet pour favoriser la reprise des populations de saumons et d'anguilles (barrières répulsives, exutoires de dévalaison, turbines ichtyocompatibles, etc.). Le prolongement du réacteur de Tihange 3 n'impactera aucunement l'efficacité de ces actions étant donné que le projet n'exige pas l'installation d'ouvrages susceptibles de perturber la dévalaison de ces espèces.

Les espèces présentes sont de type cyprinidés, dont les exigences en matière d'oxygène dissous sont moindres. Des espèces telles que la carpe, la tanche, le brème, le sandre, le gardon, le rotengle, la perche ou encore le goujon, présentes dans les eaux de la Meuse, s'accommodent d'eaux modérément oxygénées et ont une certaine tolérance du point de vue de l'élévation de la température.

Les déclarations environnementales de la centrale de Tihange déclarent que la température des eaux rejetées est strictement contrôlée afin de respecter les normes en vigueur. Le permis d'environnement fixe un seuil qui varie selon les périodes de l'année : un échauffement de maximum 4 ou 5° C est autorisé entre l'amont et l'aval de la Centrale. Néanmoins, la température de la Meuse ne peut jamais dépasser le pic de 28° C en aval. Les périodes de fortes chaleurs et de sécheresses ou de faibles débits nécessitent donc une vigilance accrue dans la gestion des rejets thermiques. Un logiciel permet une gestion optimale des rejets thermiques en s'adaptant en permanence aux conditions de débit en Meuse ainsi qu'aux événements d'exploitation des trois unités. Les résultats des mesures effectuées en continu sont disponibles en temps réel dans les salles de commande, ce qui permet de prendre immédiatement les mesures adéquates si la température s'approche du seuil autorisé. Ce monitoring est également fourni aux autorités wallonnes. Aucun dépassement du seuil fixé par le permis d'environnement de la centrale n'a été renseigné au cours des cinq dernières années.

Les impacts sur les populations de macroinvertébrés et de phytoplancton n'ont pas été étudiés. Au sein de ces populations, on peut s'attendre à des changements locaux favorisant les espèces moins sensibles ou thermophiles au détriment d'autres espèces, peut-être plus typiques. Toutefois, la plupart de ces effets ne se produiront que localement, à hauteur du rejet d'eau de la centrale dans la Meuse, et n'affecteront pas le reste du système fluvial. De plus, cette zone de la Meuse accueille peu d'espèces exigeantes considérant qu'il s'agit d'un fleuve fortement artificialisé par les activités humaines ; les espèces rencontrées sont généralement plus ubiquistes et ne sont pas dérangées par de légers changements dans leur environnement. La possibilité de changements significatifs dans la composition des espèces est donc plus limitée ici que dans d'autres écosystèmes.

Il est également important de noter que certaines études suggèrent que la pollution thermique pourrait constituer un terrain de reproduction local pour les espèces exotiques. Il y a toujours un risque que les espèces développent un caractère plus invasif (par exemple, par adaptation au froid) et se propagent davantage grâce aux rejets thermiques. Comme de nombreuses espèces possèdent des stades larvaires planctoniques, cette dispersion peut être très rapide et de grande envergure.

¹⁰⁹ Kerkum, L.C.M., bij de Vaate, A., Bijstra, D., de Jong, S.P. & Jenner, H.A. (2004). Effecten van koelwater op het zoete aquatische milieu (Effets de l'eau de refroidissement sur le milieu aquatique frais). RIZA rapport 2004.033. Rijkswaterstaat.

¹¹⁰ Baudouin, J-M ; Burgun V. ; Chanseau, M. ; Larinier, M. ; Ovidio, M. ; Sremski, W. ; Steinbach P. ; Voegtle B. (2014) Informations sur la Continuité écologique - ICE - Évaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes. ONEMA.

¹¹¹ <https://www.life4fish.be/fr>.

Après la désactivation de Tihange 1 et 2, il y aura toujours un effet thermique dû à l'eau de refroidissement de Tihange 3 dans le cas où la durée de vie de ce dernier venait à être prolongée, même si la zone impactée thermiquement sera moins conséquente que celle qui l'a été au cours de ces dernières années avec l'exploitation simultanée des trois réacteurs. Si l'effet thermique de la centrale sur la Meuse sera toujours présent suite à la prolongation de l'exploitation de la centrale, celui-ci sera largement réduit par rapport à la situation où les 3 réacteurs sont en fonctionnement (seul Tihange 3 sera encore exploité).

- **Prises d'eau dans la Meuse**

La centrale nucléaire extrait l'eau de refroidissement de la Meuse par une prise d'eau. L'effet physique du pompage sur les poissons est à considérer. Le courant généré par le pompage est susceptible d'entraîner des poissons vers les pompes, où ils sont interceptés par les installations de dégrillage. Cette problématique est particulièrement importante pour les prises d'eau installées en estuaires ou sur la côte. Les quantités de poissons interceptés sont plus faibles en eaux douces. D'après une étude réalisée par l'ULiège au niveau des prises d'eau de Tihange¹¹², une moyenne d'environ 1 poisson par 1 000 m³ était entraîné dans la prise d'eau entre 2001 et 2004, soit 1,5 à 2 millions d'individus correspond à une biomasse de 15 à 20 tonnes de poissons sur 4 années de suivi. Pour cette raison, les conditions du permis d'exploitation de la centrale, lors du renouvellement en 2008, a imposé à l'exploitant d'installation un système de répulsion par infrasons au niveau de ces prises d'eau (voir figure suivante).

Etant donné que l'eau sera pompée uniquement pour le réacteur de Tihange 3 et que le système de répulsion a bien été installé par l'exploitant, la mortalité résiduelle des poissons causées par ces prises d'eau ne sera pas significative. Il peut donc être conclu que la prolongation de l'exploitation de Tihange 3 n'entraînera pas une augmentation significative de la mortalité des poissons dans la Meuse.

¹¹⁶ CNT – IED – Dossier technique, Tractebel Engineering SA, 2019

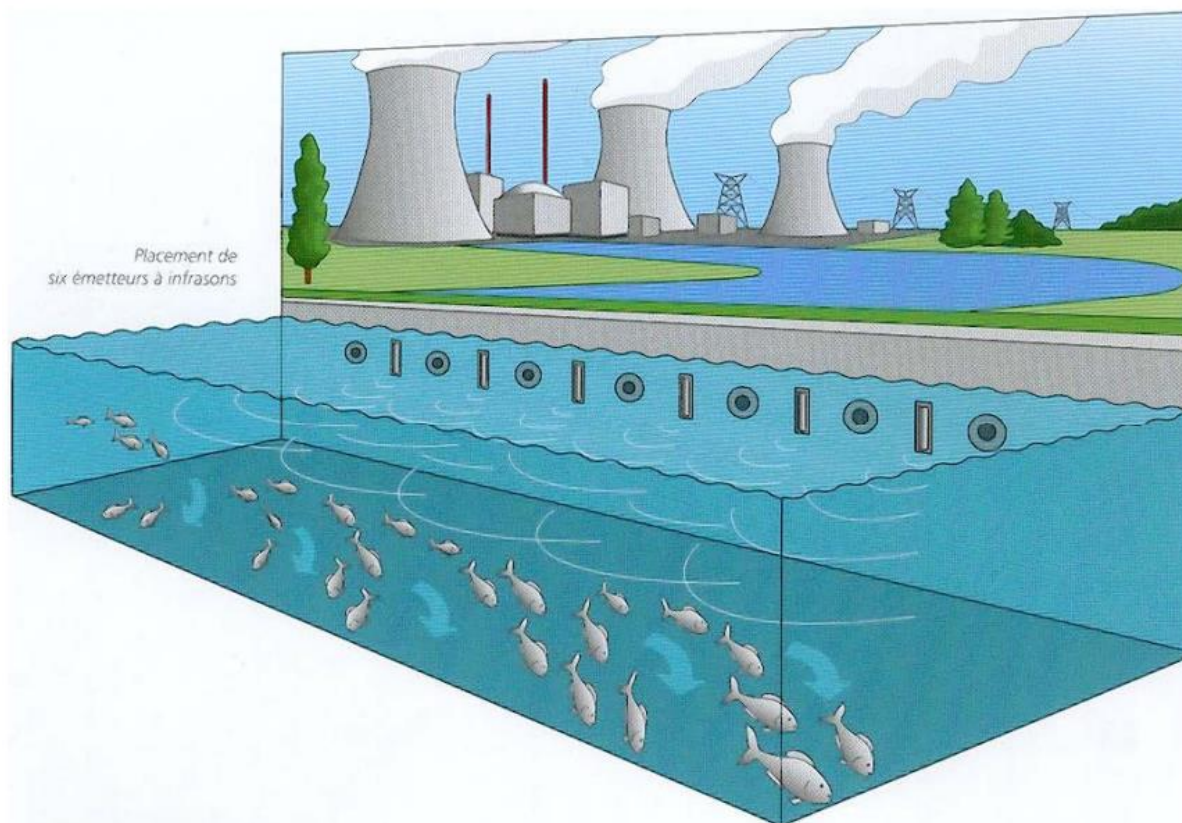


Figure 85 : Système de répulsion (6 émetteurs à infrasons) au niveau des prises d'eau dans la Meuse (Source : ULiège 2009).

Perturbation

Les centrales nucléaires sont susceptibles de provoquer des perturbations en termes de lumière, de bruit et de présence humaine. Nombre de ces facteurs sont difficiles à réduire à la seule exploitation de Tihange 3.

▪ Eclairages

L'asbl ASCEN a publié un document¹¹³ sur l'impact de l'éclairage au sol sur les chauves-souris. Cette asbl reprend le terme de « puits écologique », énoncé par le DNF, qu'elle définit comme étant un « milieu artificiel où des phénomènes écologiques particuliers s'y produisent. Les espèces du milieu adjacent y disparaissent en plus grand nombre, car y subissant une prédation accrue ». Selon l'ASCEN, l'éclairage public et privé coupe les routes de vol des chauves-souris qui fuient la lumière, en plus de perturber leurs proies et de réduire leurs terrains de chasse. Pour l'ASCEN, seul le Murin à oreilles échancrées (*Myotis emarginatus*) tolère de la lumière dans son gîte, les autres espèces désertent les clochers, les bâtiments, les cavités où elles trouvent refuge dès lors que les entrées ou sorties sont éclairées. Quelques espèces semblent s'être localement adaptées à l'éclairage. La Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*) a localement appris à chasser autour des lampadaires, mais au risque de faire régresser ses proies. Les espèces les plus impactées seraient les Grand et Petit Rhinolophes (*Rhinolophus ferrumequinum* et *Rhinolophus hipposideros*) et les Oreillardes (*Plecotus sp.*).

Bruxelles Environnement parle d'ailleurs d'un effet « aspirateur » causé par la pollution lumineuse : « L'éclairage nocturne agit comme un aspirateur qui attire vers lui une partie des animaux qui vivent aux alentours. Conséquence :

¹¹⁶ CNT – IED – Dossier technique, Tractebel Engineering SA, 2019

l'éclairage artificiel nocturne, parfois visible de loin, vide littéralement les environs non éclairés directement de tous les animaux attirés par la lumière. »¹¹⁴

Au niveau de la centrale de Tihange, comme plusieurs routes bordent le site (N90, N684, voiries internes à Tihange) et vu la situation de la centrale entre les villes de Huy et Amay, l'éventuelle nuisance lumineuse dans les environs ne changera pas si seul le réacteur de Tihange 3 venait à être désactivé.

- **Bruit**

Concernant le bruit, en 2010, une étude acoustique du site de la Centrale nucléaire de Tihange et de son environnement direct avait permis d'identifier les principales sources de bruit générées par l'activité de la Centrale. À la suite de cette étude, des travaux ont été réalisés en 2012 et 2013 par l'exploitant afin de réduire les nuisances sonores perceptibles par les riverains.

Selon la déclaration environnementale de 2022 de la centrale de Tihange, les bruits spécifiques (ronronnement de moteur) resteront sans doute perceptibles et se différencieront toujours du bruit ambiant généré par la Centrale et le trafic routier. Mais ils ne devraient plus générer de nuisances sonores chez les riverains, même en envisageant un fonctionnement nocturne des groupes Diesel de réserve et de secours. Il est donc peu probable que la prolongation du réacteur Tihange 3 cause un effarouchement des oiseaux étant donné que le site de la centrale émet des bruits en continu, et depuis de nombreuses années. Il ne s'agit pas de bruits soudains et forts qui pourraient survenir, par exemple, dans le cadre de tirs de mine dans des carrières et qui pourraient alors surprendre la faune locale.

- **Aménagements en faveur de la biodiversité**

Par ailleurs, il est important de rappeler que des aménagements de promotion de la biodiversité ont été réalisés à l'ouest du site sous forme de prés fleuris, de haies, de zones humides et de zones forestières. Des nichoirs et des ruches y ont également été installés. Ces aménagements ont été réalisés sur base volontaire par l'exploitant et seront maintenus après le prolongement du réacteur Tihange 3. Ils sont favorables à la nidification de diverses espèces d'oiseaux ainsi qu'à la chasse des chauves-souris.

¹¹⁶ CNT – IED – Dossier technique, Tractebel Engineering SA, 2019



Figure 86 : Aménagements en faveur de la biodiversité (Source : Engie 2022).

Considérant les éléments qui précèdent, aucune perturbation sur la faune locale provenant des perturbations en termes de lumière, de bruit et de présence humaine n'est attendue sur la faune locale à cause du prolongement du réacteur.

Retombées acidifiantes et azotées

Les installations principales de la Centrale nucléaire de Tihange, en utilisant l'uranium comme combustible, ne génèrent pas directement de gaz de combustion responsable des pluies acides. Mais les installations auxiliaires de production de vapeur et les générateurs de secours, eux, fonctionnent au mazout (fuel léger). L'usage de ces installations produisant des gaz de combustion est relativement limité. En effet, quand les unités fonctionnent, elles génèrent elles-mêmes leurs propres besoins en vapeur, ne font pas appel aux chaudières auxiliaires et ne produisent donc pas de gaz de combustion. Quand une unité est à l'arrêt, elle bénéficie, si possible, d'abord de la vapeur du circuit principal émise par les autres unités avant de faire appel aux chaudières auxiliaires. En 2021, la disponibilité des unités a été très bonne. Les réacteurs Tihange 1 et 3 ont tourné à 100 % de puissance toute l'année. Tihange 2 a été à l'arrêt lors de deux courtes périodes en 2021 pour des travaux de maintenance (du 1er janvier au 21 janvier inclus et du 14 mai au 29 mai inclus). Les chaudières auxiliaires ont donc été peu sollicitées.

Il apparaît donc que le prolongement du réacteur nucléaire de Tihange 3 ne causera non seulement aucune augmentation de la fréquence des pluies acides dans la région mais, en plus, si l'on prend en compte les émissions de NO_x et NH_3 qui seront dégagées par la nouvelle centrale TGV des Awirs (d'une puissance totale théorique de 875 MW électrique), la prolongation de ce réacteur peut être considéré comme positif étant donné que l'électricité qui sera produite par le réacteur ne devra pas être produite par les centrales TGV.

Par ailleurs, même si la prolongation de Tihange 3 devait entraîner des émissions supérieures en gaz de combustion (du fait d'une utilisation plus fréquente des groupes de secours), il faut noter que les sols moyennement à fortement

acides (dont le pH est inférieur à 5,5) sont les plus vulnérables avec risque d'élimination de l'aluminium et dépérissement des plantes¹¹⁵. Or, les habitats d'intérêt communautaires à végétation basses présents au sein des deux seuls site Natura2000 présents dans la région du projet ont des sols avec un pH généralement supérieur étant donné qu'ils s'implantent sur des sols calcaires (pH > 7). Aucun impact venant de retombées acidifiantes n'est donc attendu sur ces habitats protégés à l'échelle européenne (6110, 91E0, 8160, 9180, 9150 et 8210).

Utilisation directe des terres

Théoriquement, la décision de maintenir les centrales nucléaires de Tihange 3 ouverte plus longtemps pourrait avoir un impact négatif en termes d'utilisation des terres. Si la centrale devait disparaître, cela libérerait une zone qui pourrait potentiellement être consacrée au développement de la nature, étant donné la proximité de la Meuse et des différentes zones de développement de la nature (PCDN). Ce raisonnement est toutefois discutable.

En effet, le site de Tihange est situé dans une zone industrielle entourée par des zones urbanisées (Huy, Amay). Par conséquent, après l'arrêt, il existe une réelle possibilité qu'un nouveau développement industriel ait lieu, plutôt qu'un développement pour la nature. Il peut donc être considéré que la décision de reporter la désactivation n'a aucun impact en termes d'occupation directe de terres.

6.3.6 Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques

Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le projet puisse éviter les perturbations aux espèces protégées (cfr. LCN) ?

Le captage de l'eau de Meuse et les rejets des eaux de refroidissement sont identifiés comme les opérations les plus impactantes pour les espèces locales. Néanmoins, les mesures prises par l'exploitant sur bases des conditions du permis d'environnement en vigueur permettent de réduire drastiquement les incidences liées à ces opérations.

Les autres perturbations potentielles pouvant impacter les espèces protégées (éclairage, bruit, etc.) ont été jugées non significatives du fait de la situation de la centrale (milieu urbanisé, pas d'habitats sensibles à proximité, etc.) et des conclusions tirées de la bibliographie. La prolongation du réacteur de Tihange 3 ne déroge pas à la LCN et aucune recommandation n'est formulée.

Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le projet puisse éviter des perturbations aux réserves naturelles (cfr. LCN) ?

Vu l'éloignement de la réserve naturelle la plus proche du site de la centrale (presque 800 mètres) et considérant que son intérêt est principalement botanique, les activités de la centrale de Tihange ne peuvent impacter les habitats et les espèces de cette réserve naturelle si ce n'est qu'indirectement par l'augmentation de la fréquence des retombées acidifiantes.

Toutefois, la prolongation du réacteur nucléaire devrait diminuer la nécessité d'exploiter des centrales TGV pour produire de l'électricité (Ex. : Centrale des Awirs). Le projet a donc plutôt des effets positifs par rapport à cette thématique. La prolongation du réacteur ne perturbera donc pas les réserves naturelles.

Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le projet puisse éviter des impacts significatifs par rapport aux zones Natura2000 (cfr. LCN) ?

Au même titre que les espèces protégées par la LCN, les espèces d'intérêt communautaires visées par les sites Natura2000 de la région ne devraient pas être impactées par la prolongation du réacteur. Les habitats au sein et aux alentours du site de la centrale ne sont pas favorables à la présence de la plupart de ces espèces.

À nouveau, les activités de la centrale ne peuvent impacter qu'indirectement les habitats d'intérêt communautaire par le biais des pluies acides. Or, si l'on omet le fait que la prolongation du réacteur ne risque pas d'augmenter la

¹¹⁶ CNT – IED – Dossier technique, Tractebel Engineering SA, 2019

fréquence de ces retombées, il faut rappeler que les habitats d'intérêt communautaires à végétation basses présents dans la région du projet n'y sont pas sensibles.

Le projet de prolongation n'a donc pas d'impact sur le réseau de conservation européen.

Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le projet puisse éviter des perturbations aux ZHIB (cfr. Arrêté de l'Exécutif régional wallon du 8 juin 1989) ?

De manière générale, aucun impact significatif sur les écosystèmes aquatiques ou sur les espèces les fréquentant n'a été décelé dans la présente étude.

Si on ajoute à cela le fait que le seul ZHIB de la région vise avant-tout la protection de l'Hirondelle de rivage qui ne fréquente pas les milieux directement retrouvés au sein et autour du site de la centrale de Tihange, aucune perturbation ne devrait venir du projet.

Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le projet puisse éviter des impacts significatifs par rapport aux CSIS (cfr. AGW du 26 janvier 1995) ?

Le projet ne compromet aucunement l'intégration de la seule CSIS de la région dans le réseau des sites d'hivernage pour chauves-souris ni son objectif de préservation des chiroptères.

Les potentielles nuisances que pourrait avoir la centrale sur les chiroptères sont faibles étant donné que la région est déjà fortement urbanisée et des aménagements en faveur de la biodiversité installés par l'exploitant sont positifs pour la chasse des chauves-souris. Aucun impact significatif n'est donc attendu sur le CSIS et ses objectifs de conservation, aucune recommandation n'est formulée.

Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que la mise en œuvre du projet n'entrave pas la réalisation des objectifs formulés dans le projet des troisièmes plans de gestion des districts hydrographiques wallons pour le cycle 2022-2027 (cfr. Directive 2000/60/CE) ?

L'exploitant de la centrale doit respecter des normes de rejets dictées par son permis d'environnement et chacun des dépassements remarqués au cours de ces cinq dernières années ont fait l'objet d'une correction systématique. Pour ce qui est des rejets thermiques, les débits seront conséquemment réduits du fait de l'extinction prochaine des réacteur Tihange 1 et 2. Il n'est donc pas considéré que la prolongation du réacteur Tihange 3 constitue un frein à l'atteinte des objectifs de bon état écologique des eaux au niveau de la Meuse en 2027.

6.3.7 Conclusions

Plusieurs sites de protection de la nature sont retrouvés dans la région de la centrale de Tihange. Ces sites sont légalement protégés dans le but d'atteindre des objectifs de conservation. Ces objectifs, inscrits dans la législation wallonne, ont notamment pour but de protéger des espèces et des habitats protégés à l'échelle internationale. Il est donc important de déterminer si la prolongation du réacteur Tihange 3 n'entrave pas la poursuite de ces objectifs de conservation. C'est la raison pour laquelle la présente étude a tenté d'évaluer au mieux les impacts que pourrait avoir le projet sur ces espèces et habitats protégés.

Il a été déterminé que le projet pouvait impacter ces espèces et habitats par pompage des eaux dans la Meuse, rejet d'eaux de refroidissement et modification de la qualité des eaux de ce même fleuve, par nuisance acoustique ou lumineuse, par effet indirect dû aux pluies acides et par le fait que le site occupe des terres pouvant potentiellement servir à des fins de conservation.

Les différentes analyses ont permis de conclure que les impacts du projet sur les milieux aquatiques n'étaient pas de nature à mettre à mal les stratégies de conservation de ces écosystèmes au vu des mesures prises volontairement par l'exploitant de la centrale ou dans le cadre des normes imposées par son permis d'environnement (contrôle des rejets, système de répulsion, etc.). Considérant que le fleuve au bord duquel s'implante la centrale ne présente pas une grande valeur écologique (espèces ubiquistes) et qu'un seul réacteur sur les trois est voué à être maintenu dans les prochaines années, aucune évolution négative du milieu n'est attendu.

Concernant les nuisances liées à la présence humaine (bruit, éclairages, etc.), celles-ci ne devraient pas être significatives étant donné que la centrale s'implante dans une région déjà fortement urbanisée et que l'exploitant a également mis en place des mesures pour réduire ses impacts acoustiques. De plus, des aménagements en faveur de la biodiversité ont été placés au niveau du site.

Enfin, la contribution de la prolongation de Tihange 3 aux pluies acides ne sera pas significative. En outre, il s'avère que le projet aura des incidences positives étant donné que l'électricité qui sera produite par le réacteur ne devra pas être produite par les centrales TGV qui dégagent nettement plus de gaz de combustion responsables de l'augmentation des fréquences des retombées acides.

En prenant en compte l'ensemble des éléments qui précèdent, il peut être considéré que la prolongation du réacteur Tihange 3 ne semble pas incompatible avec les objectifs de conservation fixés par la législation wallonne, transposant elle-même les objectifs européens visant à protéger les espèces et habitats d'intérêt.

6.3.8 Mesures d'atténuation

Étant donné que le projet n'a pas d'effets notables sur les objectifs politiques, aucune mesure d'atténuation n'est recommandée.

6.4 Air

6.4.1 Objectifs politiques pertinents

Les objectifs politiques les plus pertinents importants aux fins de la présente évaluation de l'impact environnemental concernent les objectifs de réduction des émissions tels que fixés au niveau européen par rapport au niveau fédéral et répartis ensuite au niveau régional.

Directive européenne sur les plafonds d'émissions nationaux

La Directive 2001/81/CE, communément appelée directive NEC (National Emission Ceilings), adoptée le 23 octobre 2001, concerne la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques. Cette Directive a défini des plafonds d'émissions qui ne pouvaient plus être dépassés à partir de 2010 pour différents composés, à savoir :

- Dioxyde de soufre (SO₂) ;
- Oxydes d'azote (NO_x) ;
- Composés organiques volatils (COV) autres que le méthane ;
- Ammoniac (NH₃).

Cette directive a été abrogée par la 2016/2284/EU, qui comporte elle des objectifs pour 2020 et 2030, formulés comme des réductions relatives par rapport aux émissions de 2005.

Cette directive élargit la liste des composés pour lesquels des plafonds sont définis aux PM_{2,5}.

Les objectifs de réduction des émissions définis par la directive pour les années 2020 et 2030 sont repris dans le tableau suivant.

Tableau 73 : Plafonds pour la réduction des émissions définis dans la directive 2016/2284/UE pour la Belgique (Source : Plan Air Climat Energie 2030).

	Directive NEC révisée – 2020	Directive NEC révisée - 2030	Émissions 2005
	% par rapport à 2005	% par rapport à 2005	ktonnes/an
SO _x	43 %	66 %	142,1
NO _x	41 %	59 %	303,5
COVNM	21 %	35 %	145,8

NH ₃	2 %	13 %	75,2
PM _{2,5}	20 %	39 %	34,8

La directive a imposé aux Etats membres de définir, pour le 31 mars 2019, un Programme national de lutte contre la pollution atmosphérique. En Wallonie, le Décret portant assentiment à l'accord de coopération du 24 avril 2020 entre l'Etat fédéral et les régions (Région flamande, Région wallonne et Région de Bruxelles-Capitale) relatif à l'exécution de plusieurs dispositions de la Directive 2016/2284 du Parlement européen et du Conseil du 14 décembre 2016, a été adopté le 19 novembre 2020.

Comme la période à évaluer est 2027-2036, l'évaluation sera basée sur les objectifs 2030 actuellement applicables au niveau fédéral belge.

En plus des objectifs d'émission, il est également fait référence aux objectifs de qualité de l'air. Ces objectifs sont également basés sur la législation européenne.

Plan Air Climat Energie (PACE)

Dans le cadre de sa vision énergétique et climatique à 2030, la Commission européenne a publié en 2016 le paquet législatif destiné à orienter les politiques climatiques et énergétiques des Etats Membres entre 2020 et 2030. Ce paquet est appelé « Clean Energy Package ». Ce package impose aux Etats membres d'établir un plan stratégique Energie-Climat, intégrant 5 dimensions, à savoir :

- La décarbonation ;
- L'efficacité énergétique ;
- La sécurité d'approvisionnement ;
- L'organisation du marché et l'énergie ; et
- La recherche et innovation.

La Wallonie, compte tenu des synergies importantes entre l'air, l'énergie et le climat, a décidé d'intégrer les trois politiques dans une vision commune. Ainsi, pour répondre aux impositions de la directive concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques (voir point *Directive européenne sur les plafonds d'émissions nationaux* ci-dessus) et aux impositions du « Clean Energy Package », la Wallonie a créé son propre Plan Air Climat Energie (PACE). Ce Plan a donc pour objectif de contribuer au Plan national Energie Climat de la Belgique et au Programme national de lutte contre la pollution atmosphérique pour permettre de rencontrer les objectifs climatiques et de qualité de l'air à l'horizon 2030.

Le PACE 2021-2030 a été adopté par le Gouvernement wallon le 4 avril 2019, et la contribution wallonne définitive au Plan national Energie Climat de la Belgique a été approuvée par le Gouvernement wallon le 28 novembre 2019.

Le PACE a fait l'objet d'une mise à jour, qui prend en compte les recommandations de la Commission européenne. Le PACE actualisé a été adopté en première lecture par le Gouvernement wallon le 16 décembre 2022 et est actuellement soumis à une consultation des acteurs en vue d'une adoption définitive en mars 2023.

Le plan comprend 255 actions permettant d'agir sur 10 thématiques, le but étant de mobiliser tous les secteurs et pans de la société en anticipant et planifiant les transformations nécessaires, en informant tous les acteurs des échéances, en soutenant les entreprises et les ménages et en investissant dans les alternatives durables. Les thématiques sont les suivantes :

- Sortir des énergies fossiles ;
- Déployer massivement les énergies renouvelables ;
- Renforcer l'accès à l'énergie et soutenir la transition énergétique ;
- Accélérer et massifier la rénovation des bâtiments ;
- Améliorer la transition énergétique et climatique des entreprises et des industries ;
- Assurer la durabilité de l'agriculture, des sols et des forêts ;
- Transformer les territoires et la mobilité ;

- Assurer l'acceptabilité des mesures du PACE ;
- Soutenir la politique locale énergie climat ;
- Améliorer la qualité de l'air.

A noter que le PACE 2030 considère une sortie du nucléaire en Wallonie en 2025.

Le PACE répartit les objectifs de plafonds d'émissions définis par la Directive sur les plafonds d'émissions nationaux entre les régions. Les objectifs à l'échelle de la Wallonie et de la Belgique sont repris dans le Tableau ci-dessous.

Tableau 74 : Répartition des plafonds d'émission belges pour 2030 entre les Régions (Source : PACE 2030)

Polluant	Emissions Belgique 2005 [kt/an]	Plafonds d'émission 2030 pour la Belgique [kt/an]	Plafonds d'émissions 2030 pour la Wallonie [kt/an]
NO _x	303,5	124,4 (-59 %)	49,4
SO _x	142,1	48,3 (-66 %)	15,4
PM _{2,5}	34,8	21,1 (-39 %)	8,8
NMCOV	145,8	94,8 (-35 %)	32,1
NH ₃	75,2	65,4 (-13 %)	27

Directive européenne concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe

Un des principaux éléments fixant des limites pour les polluants en Europe est la directive européenne 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. Cette directive stipule que la qualité de l'air doit être maintenue lorsqu'elle est bonne et améliorée dans les autres cas.

La directive fixe des valeurs limites et objectifs chiffrés pour les composés suivants :

- Anhydride sulfureux ;
- Dioxyde d'azote et oxydes d'azote ;
- Particules (PM₁₀/PM_{2,5}) ;
- Plomb ;
- Benzène ;
- Monoxyde de carbone.

Il est également stipulé que, lorsque la norme définie est dépassée pour un ou plusieurs polluants, la période de dépassement doit être la plus courte possible.

Directive IED

La Directive 2010/75/EU, ou Directive IED, est relative aux émissions industrielles et concerne les entreprises européennes ayant un impact potentiel majeur sur l'environnement. Elle a pour objectif d'atteindre un haut niveau de protection de la santé humaine et de l'environnement. Cette protection se fait via l'application de Meilleures Techniques Disponibles existantes pour toute une série de secteurs d'activité.

La Directive IED est basée sur différents piliers, qui sont les suivants :

- Une approche intégrée qui doit prendre en compte l'ensemble de la performance environnementale de l'industrie ;
- Les conditions des permis, notamment les valeurs limites d'émissions sont basées sur les Meilleures Techniques Disponibles (MTD) ;
- De la flexibilité pour les autorités compétentes sur les valeurs limites d'émissions qu'elles imposent ;
- La réalisation d'inspections environnementales ;
- La participation du public dans les prises de décision.

La Directive IED est pertinente dans le cadre de cette étude car la centrale de Tihange est concernée par l'activité IPPC/IED-1.1. – Grandes installations de combustion dans des installations d'une puissance thermique nominale égale ou supérieure à 50 MW. En effet, si l'on considère les installations de combustions (chaudières, groupes électrogènes) liées au fonctionnement du réacteur 3, le cumul des puissances des installations est supérieur à 50 MW. Il est important de préciser que les valeurs limites d'émissions définies dans l'autorisation d'exploiter non radiologique (permis d'environnement) de la centrale sont basées sur les MTD applicables et leurs valeurs limites associées.

Objectifs

En résumé, les objectifs politiques relatifs à l'air qui seront évalués dans le cadre de cette évaluation d'impact environnemental sont les suivants :

- Maintenir une bonne qualité de l'air ou l'améliorer ;
- Contribuer à l'atteinte des plafonds d'émissions fixés pour 2030 à l'échelle nationale.

6.4.2 Effets pertinents et relations de cause à effet

Afin de juger si le Projet contribue ou non à la réalisation des objectifs politiques concernant les émissions dans l'air et de la relation de cause à effet du Projet, un aperçu des impacts prévisibles les plus pertinents du Projet sur les émissions dans l'air est fourni ci-dessous.

Pour une centrale nucléaire du type de la centrale de Tihange, les émissions dans l'air sont principalement liées à la présence d'installations de combustion sur le site qui sont nécessaires à l'entretien et à la sécurité de la centrale. Ces installations fonctionnent de manière intermittente et ne sont pas utilisées lorsque la centrale est en fonctionnement normal.

Divers types d'installations de combustion sont présents sur le site et ont des rôles spécifiques :

- Les **chaudières auxiliaires** servent à produire de la vapeur nécessaire pour le démarrage des installations nucléaires et pour assurer le chauffage de certains bâtiments en cas d'indisponibilité des générateurs de vapeur. Celles-ci fonctionnent uniquement pendant les phases de démarrage des unités (en principe une fois tous les 18 mois après l'entretien), ou comme back-up en cas d'indisponibilité des transformateurs de vapeur sur les installations nucléaires ;
- Les **groupes électrogènes de secours** (GDS) ont pour fonction de fournir l'énergie nécessaire à la mise et au maintien en sécurité des installations de la centrale, en cas de perte totale des alimentations électriques extérieures ;
- Les **groupes électrogènes d'urgence** (GDU) servent à alimenter les équipements de sauvegarde d'ultime secours nécessaires à la mise et au maintien en sécurité des installations de la centrale, en cas d'accident avec perte totale des réseaux extérieurs et des groupes diesel de secours ;
- Les **groupes électrogènes de moyens ultimes** (GMU) sont placés sur les points les plus hauts du site afin d'être capables d'assurer leur fonction de sauvegarde en cas d'inondation exceptionnelle (temps de retour de 10.000 ans) ;
- Les **groupes électrogènes du Centre Opérationnel de Repli** (COR) permettent de renforcer la gestion de l'urgence.

Afin d'assurer leur disponibilité, l'ensemble des installations citées ci-dessus est testé 1h par mois et un essai de 24h a, en plus de cela, lieu tous les 54 mois.

Les effets pertinents qui sont examinés dans la présente évaluation de l'impact environnemental dans le cadre de la discipline Air concernent principalement les émissions dans l'air liées à l'utilisation et aux tests de ces installations de combustion, qui seront maintenues fonctionnelles pour l'unité de Tihange 3 en raison de son utilisation est prolongée de 10 ans.

Dans le cadre de cette étude il peut être pertinent d'estimer les émissions qui seraient générées pour compenser la production d'électricité perdue si le Projet n'est pas réalisé (arrêt de Tihange 3). En effet, dans le cas où l'unité

Tihange 3 est mise à l'arrêt, la production d'électricité sera reprise par une autre technologie utilisant d'autres vecteurs énergétiques. Il peut donc être pertinent d'évaluer les potentielles émissions de polluants atmosphériques liées aux autres technologies utilisées. En Wallonie, il est par exemple prévu que des centrales au gaz remplacent partiellement le nucléaire, malgré la progression de l'électricité renouvelable. On parlera d'émissions « évitées » grâce à la réalisation du projet, si les émissions estimées pour une autre technologie s'avèrent être plus importantes que celles générées par Tihange 3.

Des effets éventuels peuvent être liés au trafic à proximité du site, relatifs à la circulation à destination et en provenance du site. Néanmoins, ces impacts seront limités au bord de la route et diminueront fortement avec la distance à la route.

Enfin, des effets sur l'air pourraient être supposés au niveau du panache qui sort de la tour de refroidissement du réacteur. On peut rappeler que le panache consiste uniquement en de la vapeur de l'eau du circuit tertiaire (le refroidissement du réacteur est expliqué dans le chapitre sur l'*Eau*). Il s'agit donc simplement de vapeur d'eau de la Meuse, qui a été traitée avec de l'acide sulfurique (H_2SO_4) pour éviter l'entartrement des condenseurs et réfrigérants atmosphériques et avec de l'hypochlorite de sodium ($NaOCl$) pour éviter la prolifération des micro-organismes et macro-organismes. A noter que seule une petite fraction de l'eau du circuit tertiaire est évacuée sous forme de vapeur, le reste étant condensé pour être réinjecté dans le circuit ou rejeté dans la Meuse.

Le Groupe Electricité de France (EDF) a entrepris d'importantes études en vue d'améliorer la connaissance du fonctionnement des réfrigérants atmosphériques¹¹⁶. Ces études ont permis d'estimer l'influence des panaches des aéroréfrigérants sur l'air local. La principale conclusion qui s'en est dégagée est que le seul impact décelable du fonctionnement d'un aéroréfrigérant est une faible réduction de l'insolation à moins de quelques kilomètres d'une centrale, et que cette valeur est inférieure à la fluctuation naturelle inter-annuelle de l'ensoleillement. Les impacts sur l'air générés par le trafic et la tour de refroidissement étant considérés comme non significatifs, ceux-ci ne seront pas analysés en détail dans la section sur la *Description des effets*.

6.4.3 Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence

Le maintien d'une qualité de l'air correcte est un point qui suscite grand intérêt et qui est repris dans de nombreux textes réglementaires. Etant donné que les polluants peuvent présenter des risques pour la santé publique et les écosystèmes, de nombreuses normes et outils de mesure sont mis en place.

Les normes de *qualité de l'air* visées par plusieurs Directives européennes sont fixées sur base des concentrations maximales dans l'air des divers polluants atmosphériques établies par l'Organisation Mondiale de la Santé. En Belgique, l'indice *BelaQi* permet de classer la qualité de l'air en un point donné en se basant sur les effets de la pollution de l'air sur la santé. Cet indice est calculé grâce à la mesure des concentrations de 4 polluants dans l'air ambiant, à savoir les particules fines PM_{10} et $PM_{2,5}$, l'ozone (O_3) et les oxydes d'azote (NO_x). En moyenne, le site wallon de l'Agence wallonne de l'Air et du Climat¹¹⁷ indique une qualité de l'air au niveau de la commune de Huy comme « assez bonne » sur l'échelle de classification de l'indice *BelaQi*. Il n'est pas aisé de déterminer la zone dans laquelle les émissions atmosphériques de la centrale peuvent avoir un impact significatif sur la qualité de l'air, celle-ci est estimée à quelques kilomètres. L'impact sera le plus élevé à proximité directe du site de la centrale et s'atténuera avec la distance.

Les *charges de polluants* émis dans l'air sont estimées grâce à des impositions réglementaires qui imposent des analyses des rejets dans le secteur industriel. Des niveaux d'émissions sont définis, à l'échelle de l'industrie, mais également à l'échelle nationale et européenne, afin de pouvoir caractériser ces émissions. Des plafonds sont alors fixés pour inciter à réduire ces émissions. Etant donné que les émissions de la centrale sont concernées par ces niveaux d'émissions, c'est au niveau du territoire fédéral que les répercussions seront évaluées, afin de pouvoir analyser leur contribution aux objectifs.

¹¹⁶ CNT – IED – Dossier technique, Tractebel Engineering SA, 2019

¹¹⁷ Wallonair, [Accueil \(wallonair.be\)](http://Accueil.wallonair.be).

La *situation de référence* considérée est la situation juste avant le 1^{er} septembre 2025, qui correspond à un arrêt des unités Tihange 1 et Tihange 2 et au fonctionnement de l'unité Tihange 3 « as usual ». Au 1^{er} septembre 2025, bien qu'il est prévu que le démantèlement des unités 1 et 2 ait été entamé (en tout cas la phase de préparation), il est difficile d'estimer la part des installations qui sera encore en activité et susceptible de générer des émissions. Ces questions devant être traitées dans le cadre des permis de démantèlement, la situation de référence que nous allons considérer dans ce chapitre prendra uniquement en compte les installations liées à l'exploitation de Tihange 3.

6.4.4 Description des effets

Le report de la désactivation de Tihange 3 de 10 ans implique que, durant cette période, des émissions continueront à être générées pour les activités liées au fonctionnement de l'unité. Comme mentionné ci-dessus, les sources d'émissions atmosphériques au niveau de la centrale sont liées à plusieurs activités sur le site. Les activités et les types de polluants émis sont repris dans le tableau suivant.

Tableau 75 : Activités et types de polluants émis au niveau de la centrale de Tihange.

Activité	Type de polluants émis
Chaudières auxiliaires	Gaz de combustion (CO ₂ , NO _x , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , CO)
Groupes diesel	Gaz de combustion (CO ₂ , NO _x , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5})
Tour de refroidissement	Aérosols salins
Trafic à destination et en provenance du site	Gaz de combustion (CO ₂ , NO _x , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5})

Émissions des installations fixes (installations de combustion)

Comme précisé ci-avant, les installations de combustion présentes sur le site sont les chaudières auxiliaires et les groupes électrogènes de secours. Chaque unité de la centrale comporte ses propres installations de combustion. Sur l'ensemble de la centrale de Tihange, la puissance cumulée des installations de combustion en 2019 s'élevait à 264,86 MWth.

La liste des installations liées à l'activité de Tihange 3 est reprise dans le Tableau 76. A noter que la chaudière domestique, le groupe diesel COR et la pompe incendie sont des installations générales à la centrale de Tihange, mais en situation de référence, avec l'arrêt des unités 1 et 2, il est considéré qu'elles sont liées à l'activité de Tihange 3. La puissance cumulée des installations liées à Tihange 3 est de 93,2 MWth.

Tableau 76 : Description des installations de combustions liées au fonctionnement de Tihange 3.

Élément fonctionnel	Type	Combustible	Puissance [MWth]	Temps de fonctionnement (moyenne 2015-2019) [h]
PCT3-CVA-G19	Chaudière auxiliaire	gasoil	29,28	442,36
PCT3-GDS-M01	Groupe diesel de secours	gasoil	13,24	37,10
PCT3-GDS-M02	Groupe diesel de secours	gasoil	13,24	31,34
PCT3-GDS-M03	Groupe diesel de secours	gasoil	13,24	34,72
PCT3-GDU-M01	Groupe diesel d'urgence	gasoil	6,4	32,59
PCT3-GDU-M02	Groupe diesel d'urgence	gasoil	6,4	36,08
PCT3-GDU-M03	Groupe diesel d'urgence	gasoil	6,4	30,30
PCT3-GMU-G01	Groupe diesel de moyen ultime	gasoil	4,3	0,20

Élément fonctionnel	Type	Combustible	Puissance [MWth]	Temps de fonctionnement (moyenne 2015-2019) [h]
PCT3-OOO-Q01	Chaudière domestique	gasoil	0,08	n.d.
PCT3-COR-G01	Groupe diesel	gasoil	0,12	pas encore existante
PCT1-CEI-P02EI	Pompe incendie	gasoil	0,5	8,4
Total			93,2	

Les conditions particulières du Permis d'environnement d'exploitation de la centrale de 2008 imposent que les polluants atmosphériques NO_x et CO doivent être mesurés tous les trois ans sur les émissions des chaudières fonctionnant plus de 360 h par an. Le contrôle des rejets des moteurs diesel et des chaudières fonctionnant moins de 360 h par an est réalisé uniquement à la demande du fonctionnaire chargé de la surveillance.

Pour les installations de combustion liées à l'activité de Tihange 3, la seule source d'émission analysée est celle de la chaudière auxiliaire, qui fonctionne en moyenne environ 450 h par an. Les dernières mesures de la chaudière ont été réalisées par le bureau d'étude Vinçotte en février 2021. Il n'y a néanmoins pas de résultats de mesures existants pour les autres installations. Ceci est dû à leur très faible temps d'utilisation annuel d'environ 30 h, ce qui représente moins de 0,5 % du temps. Il ne sera dès lors pas possible d'évaluer de manière précise les émissions de polluants atmosphériques totaux de l'unité Tihange 3.

A titre informatif, il est quand même intéressant d'estimer un ordre de grandeur des émissions. Une hypothèse peut-être considérée pour faire cette estimation sur base des données de la chaudière. En effet, si l'on pose l'hypothèse que les concentrations des polluants et que le débit de gaz est similaire pour la chaudière auxiliaire et l'ensemble des groupes électrogènes d'une puissance supérieure à 1 MWth, et que l'on considère tous les groupes électrogènes à la même puissance que la chaudière, les concentrations des polluants peuvent être élargies à toutes les installations. Les heures de fonctionnement des groupes électrogènes peuvent alors être ajoutées à celles de la chaudière, pour considérer une seule grosse installation. Ceci permet de faire une estimation maximaliste de la consommation et des émissions de l'ensemble des installations.

Les installations de moins d'1 MWth ne sont pas considérées dans l'estimation, car proportionnellement aux autres installations leur impact est peu significatif, dû à leur puissance plus basse et leur très faible utilisation (généralement moins de 10 h/an).

Une grosse incertitude existe quant aux rejets des groupes électrogènes. Le fait de reporter les groupes électrogènes à une puissance de près de 30 MWth, à savoir le double ou le quintuple de leurs puissances initiales, permet de faire une estimation maximaliste. Il est considéré qu'elle englobe largement l'incertitude liée aux émissions de ces groupes.

Ainsi, la charge de polluants estimée sur base des données de débit et des mesures de la chaudière peut-être calculée sur un fonctionnement annuel des installations de 645 h par an, qui correspond aux heures cumulées de la chaudière et de tous les groupes électrogènes de plus d'1 MWth.

Le Tableau 77 reprend le calcul et l'estimation des charges de polluants pour l'unité Tihange 3.

Tableau 77 : Estimation de la charge des polluants générée annuellement pour l'activité de Tihange 3.

Données	Débit de gaz [Nm ³ /h]	22 214
	Heures de fonctionnement cumulées des installations [h/an]	645
	Concentration NO _x [mg NO ₂ /Nm ³]	155,5
	Poussières totales [mg/Nm ³]	2
	Concentration SO ₂ [mg/Nm ³]	< 29

	Concentration CO [mg/Nm ³]	5
Calculs	Charge NO _x [kg/an]	2 228
	Charge en poussières totales [kg/an]	28,7
	Charge SO ₂ [kg/an]	415,5
	Charge CO [kg/an]	71,6

Les ordres de grandeur des charges de polluants générées pour l'activité de Tihange 3 sont donc les suivants :

- NO_x : ~ 2.230 kg/an;
- Poussières totales : ~30 kg/an;
- SO₂ : ~ 416 kg/an;
- CO : ~ 72 kg/an.

L'émission la plus importante sur le site semble être celle de NO_x, avec une charge annuelle de plus de 2 tonnes. Cela représente moins de 0,05 % du plafond d'émission fixé à 50 kt/an pour la Wallonie.

Bien que la chaudière auxiliaire et certains groupes électrogènes sur le site aient une puissance importante, la faible utilisation de ces installations rend les charges de polluants émis annuellement faibles. Si l'on considère une utilisation de 450 h par an pour la chaudière auxiliaire, cela représente seulement 5 % du temps, ce qui est très peu.

Emissions évitées de la centrale

Dans la section précédente, un ordre de grandeur des charges de polluants émis a été estimé pour le fonctionnement de Tihange 3. Dans le cas où Tihange 3 serait mise hors service, la capacité perdue devra être produite d'une autre manière. En fonction de la technologie et du vecteur énergétique utilisé, cela aura un impact différent sur l'air et les autres aspects environnementaux. Dans les paragraphes suivants, nous allons donc évaluer les possibles émissions directes liées à la production d'électricité par d'autres vecteurs.

Etant donné qu'il existe un grand nombre de possibilités de compenser la perte de production de Tihange 3 (énergies renouvelables, centrales au gaz, etc.) et que cela dépend des importations d'électricité dans le pays, la présente étude ne portera que sur les possibilités suivantes :

- *Scénario 1* : capacité reprise par le mix énergétique wallon ¹¹⁸, il s'agit du scénario le plus réaliste, mais à prendre néanmoins avec précautions, car le mix énergétique risque d'évoluer beaucoup au cours des prochaines années, et donc au cours de la période 2027-2036 avec la mise en activité des nouvelles centrales de gaz et le développement grandissant des énergies renouvelables ;
- *Scénario 2* : capacité reprise complètement par une centrale au gaz naturel de dernière génération (en tenant compte des limites d'émissions imposées par les conclusions MTD). Il s'agit d'un scénario qui n'existe qu'en théorie mais qui permet, à titre indicatif, de donner des ordres de grandeur.

Les calculs seront basés sur la moyenne de la production nette connue de Tihange 3 sur les 10 dernières années (2012-2021, au cours desquelles il y a eu à la fois des années d'activité complète et des années présentant des périodes d'arrêt plus ou moins longues pour des entretiens de la centrale, la moyenne étant donc pertinente pour l'évolution normale de l'activité. Ces données sont indiquées dans le Tableau 82, la moyenne mesurée étant de 7.500 GWh/an.

Scénario 1 : Mix énergétique wallon

Des données d'émissions de la production d'électricité sont disponibles pour la Wallonie pour l'année 2020. C'est donc sur cette année que vont se baser les calculs. Il aurait été plus pertinent de baser le calcul sur le mix énergétique

¹¹⁹ Bilan énergétique de la Wallonie 2020, SPW, mai 2022

non nucléaire, mais les données d'émissions sans le nucléaire n'ont pas été trouvées. Le calcul se base uniquement sur la Wallonie, ce qui permettra de comparer les résultats obtenus aux plafonds d'émissions fixés pour la région.

A noter que l'objectif est de donner un ordre de grandeur des émissions, car il faut garder en tête que la situation en 2020 ne sera pas la même que celle durant la période 2027-2036 au vu de l'évolution du mix énergétique (centrales au gaz, développement du renouvelable, etc.).

La production énergétique en Wallonie pour 2020 était de 28.983 GWh¹¹⁹. Les charges d'émissions pour le secteur « énergie » sont disponibles sur le site de l'AWAC (awac.be). L'ensemble des données est estimations réalisées à partir de celles-ci sont reprises dans le Tableau 78.

Tableau 78 : Données utilisées pour estimer les émissions qui seraient générées par le mix énergétique wallon (Sources : Bilan énergétique de la Wallonie 2020 ; AWAC, 2020).

	Paramètre	
Données	Production électrique nette Wallonie [GWh]	28 983
	Emissions NO _x [kt]	2 587
	Emissions poussières [kt]	0,647
	Emissions SO _x [kt]	0,268
	Production électrique nette Tihange 3 [GWh/an]	7 500
	Facteur d'émission NO _x [kg/GWh]	89
	Facteur d'émission poussières [kg/GWh]	0,02
	Facteur d'émission SO _x [kg/GWh]	0,009
Calculs	Emissions NO _x [t/an]	668
	Emissions poussières [t/an]	0,15
	Emissions SO _x [t/an]	0,068

Les émissions le plus élevées et les plus pertinentes sont les émissions d'oxydes d'azote. Pour estimer les émissions « évitées » dans le cas où le Projet est réalisé, et donc que l'activité de Tihange 3 est prolongée de 10 ans, il faut soustraire aux émissions qui seraient générées par le mix énergétique, les émissions qui seraient générées par le fonctionnement de Tihange 3.

Pour rappel, les ordres de grandeur des émissions générées par Tihange 3 estimés dans la section précédente sont d'environ 70 kg/an pour le CO, 415 kg/an pour le dioxyde de soufre (SO₂), 2 225 kg/an pour les oxydes d'azote (NO_x) et 30 kg/an pour les poussières totales.

Les émissions « évitées » seraient donc des ordres de grandeur suivants :

- NO_x : ~ 666 t/an;
- Poussières : ~ 0,12 t/an;
- SO_x : pas d'émissions évitées, les émissions seraient plus importantes pour Tihange 3 (415 kg/an contre 150 kg/an).

Scénario 2 : Centrale TGV de dernière génération (Type : centrale des Awirs)

¹¹⁹ Bilan énergétique de la Wallonie 2020, SPW, mai 2022

Pour les estimations de remplacement uniquement par une centrale TGV au gaz naturel de dernière génération, reprises dans le Tableau 79, l'estimation est réalisée sur base des facteurs d'émissions des centrales TGV au gaz naturel de dernière génération¹²⁰. Seules les émissions de NO_x et NH₃ sont en fait pertinentes lors de l'utilisation de centrales TGV (au gaz naturel). Il est tenu compte à ce niveau de respecter les valeurs limites légales, et il est donc considéré qu'il sera nécessaire d'utiliser une unité de denox, ce qui peut entraîner d'importantes émissions de NH₃. Malgré le fait que d'importantes émissions de SO₂ pourraient aussi se produire sur base des valeurs limites, celles-ci ne sont pas incluses étant donné la faible teneur en S du gaz naturel que Fluxys suit en permanence.

Tableau 79 : Estimation des émissions qui seraient générées si la capacité est entièrement reprise par une centrale TGV au gaz naturel de dernière génération.

	Paramètre	
Données	Production électrique nette Tihange 3 [MWh/an]	7 500 632
	Facteur d'émission NO _x TGV [kg/MWh]	0,144
	Facteur d'émission NH ₃ TGV [kg/MWh]	0,048
Calculs	Emission TGV NO _x [t/an]	1 080
	Emission TGV NH ₃ [t/an]	360

Pour estimer les émissions « évitées » dans le cas où le Projet est réalisé, et donc que l'activité de Tihange 3 est prolongée de 10 ans, il faut soustraire aux émissions qui seraient générées par la centrale TGV, les émissions qui seraient maintenues pour le fonctionnement de Tihange 3.

Pour rappel, les ordres de grandeur des émissions générées par Tihange 3 estimés dans la section précédente sont d'environ 70 kg/an pour le CO, 415 kg/an pour le dioxyde de soufre (SO₂), 2 225 kg/an pour les oxydes d'azote (NO_x) et 30 kg/an pour les poussières totales. Les émissions de NH₃ de Tihange 3 sont considérées comme négligeables.

Les émissions « évitées » sont donc des ordres de grandeur suivants :

- NO_x : ~ 1 080 t/an;
- NH₃ : ~ 360 t/an.

Si l'on considère toute la durée de la prolongation du réacteur de Tihange 3 (2025-2037), cela reviendrait à des émissions « évitées » totales d'environ 13 000 t de NO_x et de 4 320 t de NH₃.

6.4.5 Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques

Objectif « Impact sur la qualité de l'air »

Dans le cas où le Projet est réalisé, l'impact sur la qualité de l'air de l'environnement autour de la centrale ne sera pas impacté de manière plus importante qu'il ne l'est à l'heure actuelle. Les émissions émises pour l'activité de l'unité Tihange 3 seront maintenues, mais elles n'augmenteront pas. Si l'on considère une qualité de l'air « assez bonne » comme indiqué par l'indice BelAQi, l'objectif serait de maintenir cette bonne qualité de l'air, voire de l'améliorer. Ce sera le cas si le Projet est réalisé et cela répond donc bien aux objectifs visés par la Directive concernant la qualité de l'air ambiant. Le Projet contribue à la réalisation de cet objectif.

Si l'on considère la qualité de l'air à proximité directe du site, celle-ci sera améliorée au moment du Projet dû à la désactivation de Tihange 1 et 2, qui génèrent, et génèreront jusqu'à leur arrêt des émissions localisées sur la même

¹²⁰ Les facteurs d'émissions considérés sont repris de l'Évaluation de l'impact environnemental réalisée par SCK-CEN en 2021 dans le cadre du report de la désactivation des centrales nucléaires de Doel 1 et Doel 2.

zone que l'unité Tihange 3. La prolongation de Tihange génèrera par contre toujours des émissions, qui seraient évitées en cas d'arrêt.

Objectif « Contribution à l'atteinte des plafonds d'émission »

Le Tableau 80 compare les chiffres d'émission calculés ci-dessus avec les objectifs NEC pour la Wallonie. L'exploitation de Tihange 3 génère des émissions très limitées dues aux paramètres de combustion. Cela s'explique par le faible taux de fonctionnement des installations (entre 0,5 % et 5 % du temps pour les installations de plus d'1 MWth). Ces émissions sont négligeables par rapport aux émissions totales et aux plafonds d'émission, elles sont de l'ordre de maximum 0,004 % (pour les oxydes d'azote). Les émissions sont également si limitées qu'elles ne causent que peu, voire pas d'influence par rapport à l'impact sur la qualité de l'air et les dépôts acidifiants et eutrophisants.

Tableau 80 : Estimation de la part relative des émissions « évitées » par rapport à l'objectif NEC¹²¹-2030.

Polluant	Plafonds d'émissions 2030 pour la Wallonie (PACE) [t/an]	Emissions maintenues par l'activité de Tihange 3 [t/an]	Emissions évitées par l'activité de Tihange 3 – mix énergétique [t/an]	Emissions évitées par l'activité de Tihange 3 – centrale TGV [t/an]
NO _x	49 900	~ 2 (0,004 %)	~668 (1,3 %)	~ 1 080 (2 %)
SO _x	15 400	~ 0,4 (0,003 %)	~ 0,068 (0,0004 %)	n.d.
Poussières	8 800	~ 0,03 (0,0003 %)	~ 0,15 (0,002 %)	n.d.
NH ₃	27 000	n.d.	n.d.	~ 360 (1 %)

En ce qui concerne les émissions qui résulteraient de la mise hors service des installations de Tihange 3, il peut être affirmé qu'elles auraient un impact plus conséquent par rapport aux objectifs de réduction pour les oxydes d'azote, les poussières et le NH₃, dans le cas où le mix énergétique est utilisé, les émissions de dioxyde de soufre pourraient être plus faibles que celles générées par Tihange 3. De manière générale, la part de ces émissions par rapport aux plafonds d'émission régionaux peut être évaluée comme relativement limitée pour la plupart des paramètres. En ce qui concerne les NO_x, cependant, ces émissions peuvent être considérées comme plus significatives. Sur la période 2025-2037, de 1,3 à 2 % du plafond national de NO_x serait évité.

L'impact sur la qualité de l'air des sources possibles responsables de la « production de remplacement » de Tihange 3 peut être évalué comme limité à proximité immédiate de ces sources (quelques kilomètres). À plus grande distance, les effets sont considérés comme négligeables en raison de la dispersion croissante.

Il est évident que si Tihange 3 est maintenu en activité plus longtemps, les émissions qui seraient générées sur la période 2025-2037 par les installations de combustion liées au réacteur seraient beaucoup plus faibles que les émissions qui seraient générées sur la même période si le réacteur était désactivé en 2025, hormis pour les émissions de SO_x (415 kg/an contre 150 kg/an), qui pourraient être plus élevées. Pour les autres polluants (NO_x, poussières et NH₃), les émissions attribuables au maintien des centrales en service plus longtemps sont très faibles par rapport aux émissions évitées. Cela s'applique aussi, bien sûr, aux effets qui en résultent sur la qualité de l'air et sur les dépôts acidifiants et eutrophisants (voir chapitre 6.1.3).

¹²¹ Basé sur la directive européenne 2016/2284.

6.4.6 Résumé des principales conclusions

L'évaluation par rapport aux objectifs pour l'air est résumée dans le Tableau 81.

Tableau 81 : Résumé de l'évaluation des objectifs par rapport à la discipline aérienne.

Objectif	Contribution Projet (report 10 ans)	Score
Maintenir une bonne qualité de l'air ou l'améliorer	Emissions maintenues pour Tihange 3 Contribution positive sur l'environnement immédiat si on prend en compte la désactivation de Tihange 1 et 2	Neutre à positif
Contribuer à l'atteinte des plafonds d'émissions fixés pour 2030	Positif pour les émissions de NO _x , poussières et NH ₃ , potentiellement négative pour les SO _x	Neutre à positif

6.4.7 Mesures d'atténuation

Aucune mesure d'atténuation n'est jugée nécessaire.

6.4.8 Lacunes dans les connaissances et suivi

Aucun résultat de mesure n'est disponible pour les groupes électrogènes présents sur le site de la centrale. Les mesures n'ont pas été réalisées car le temps de fonctionnement de ces installations est faible (de l'ordre de 30 h/an) et que des mesures ne sont pas obligatoires dans ce cas-là. Néanmoins, au vu de leur puissance (parfois plus grande que 10 MWth), il serait intéressant de pouvoir en connaître les émissions pour calculer les émissions de polluants atmosphériques totales liées au réacteur.

6.5 Climat

6.5.1 Objectifs politiques pertinents

Système d'échange de quotas d'émissions « SEQE-UE »

L'Union européenne a mis sur pieds un système d'échange de quotas d'émissions, appelé « SEQE-UE ». Parmi les gaz à effet de serre, certaines émissions sont couvertes par ce système, les émissions qui ne sont pas couvertes par ce système sont dites « hors SEQE ». Ce système d'échange de quotas entre dans le cadre de l'objectif d'atteindre une neutralité climat d'ici 2050, qui inclut un objectif intermédiaire de réduire d'au moins 40 % les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030, par rapport aux émissions de 1990.

Depuis 2005, ce système instaure donc un marché du carbone visant à réduire les émissions de GES, en restreignant le volume de gaz qui peut être émis par les secteurs industriels énergivores, les producteurs d'électricité et les compagnies aériennes. Le SEQE s'applique notamment aux « Installations de combustion d'une puissance calorifique de combustion supérieure à 20 MW » (cf. Annexe I de la directive 2003/87/CE), donc également au présent projet. En 2016, l'Union européenne s'est engagée, dans le cadre de sa Nationally Determined Contribution (NDC), à réduire d'au moins 40 % ses émissions totales de gaz à effet de serre d'ici 2030, par rapport aux émissions de l'année 1990¹²².

Le système SEQE est régi par la Directive 2003/87/CE qui établit le système d'échange de quotas de gaz à effet de serre de l'Union européenne. Cette directive, publiée le 13 octobre 2003, repose sur un principe de plafonnement et d'échange, elle a depuis été modifiée à plusieurs reprises.

¹²² Voir le Cadre d'action européen en matière de climat et d'énergie à l'horizon 2030.

Afin d'atteindre l'objectif visé d'une réduction d'au moins 40 % d'ici 2030 (par rapport aux émissions de 1990), les secteurs visés par le SEQE devront réduire leurs émissions de 43 % d'ici 2030 (par rapport aux émissions de 2005), et ce pour l'ensemble de l'Union. Il n'existe donc pas d'objectifs spécifiques au niveau des États membres pour les secteurs SEQE. L'objectif est d'encourager les secteurs SEQE à réduire les émissions de gaz à effet de serre dans des conditions équitables au niveau de l'UE. Une révision majeure de la Directive 2003/87/CE (via la Directive (UE) 2018/410), applicable pour la période 2021-2030 (quatrième phase), vise à atteindre cet objectif SEQE. Cela comprend notamment une trajectoire de réduction plus stricte, selon laquelle, à partir de 2021, le nombre de quotas d'émission est réduit de 2,2 % par an (au cours de la troisième période d'échanges, ce chiffre était de 1,74 %).

Le 18 décembre 2022, un accord a permis de conclure un volet substantiel « Ajustement à l'objectif 55 », mis en avant dans le « Green Deal », par la Commission en juillet 2021. Le « Green Deal » comprend l'ambition de porter l'objectif de réduction de 40 % (voir ci-dessus) à au moins 55 % et d'être neutre sur le plan climatique d'ici 2050. Une réduction de cet ordre est également nécessaire (au niveau mondial) si l'on veut limiter le réchauffement climatique à 1,5° C au-dessus des niveaux de la période préindustrielle.

En conséquence, le SEQE sera à la fois renforcé et élargi aux secteurs du bâtiment et des transports routiers. Ainsi, la réduction en 2030 par rapport à 2005 passera de 43 % à 62 %. Le taux de réduction annuel de volume de quotas passera donc de 2,2, % à 4,3 % par an entre 2024 et 2027 et à 4,4 % entre 2028 et 2030.

Pour les secteurs hors SEQE, une réduction de 30 % a été supposée, également par rapport à l'année 2005.

Au niveau des États membres, seules les émissions *hors SEQE* (transports, bâtiments, déchets et agriculture) sont soumises à des objectifs. Par le biais de l'Effort Sharing Regulation, l'objectif européen de 30 % de réduction pour la Belgique a été traduit en une réduction de 35 % (en 2030, par rapport à 2005). Il est donc clair que « l'espace climatique » (politique) disponible à l'avenir sera plus restreint qu'aujourd'hui. En outre, un parcours de réduction encore plus strict doit être suivi après 2030. En 2009, les dirigeants européens ont convenu de réduire d'ici 2050 les émissions européennes de gaz à effet de serre de 80 à 95 % par rapport aux niveaux de 1990. Cette ambition a été réaffirmée en 2011 avec la publication d'une « *Feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité de carbone à l'horizon 2050* », qui définit également une série d'étapes à moyen terme. Comme indiqué ci-dessus, les propositions incluses dans le Green Deal européen affinent encore cette ambition de neutralité climatique en 2050.

Directive concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement

La directive EIE 2011/92/UE telle que modifiée par la directive 2014/52/UE est pertinente dans le cadre de cette étude. En effet, l'Annexe IV de cette directive (modifiée) stipule qu'une évaluation de l'impact environnemental doit comprendre, outre une description de l'effet du projet sur le climat (*émissions de gaz à effet de serre* notamment), une évaluation de *la vulnérabilité du projet au changement climatique*.

Convention des Maires

La Convention des Maires est une initiative européenne qui rassemble les collectivités locales et régionales majoritairement européennes. La Ville de Huy, dans laquelle se trouve la centrale de Tihange, a adhéré à cette convention. Elle s'engage dès lors à œuvrer pour une réduction des émissions de CO₂ sur son territoire d'au moins 40 % d'ici 2030 et d'augmenter sa résilience au changement climatique.

La Convention des Maires demande d'inclure un volet démontrant qu'une évaluation de la vulnérabilité du territoire au changement climatique a été réalisée et que des actions ou options d'adaptation ont été prévues. La vulnérabilité au changement climatique porte également sur le secteur de l'énergie, il est dès lors pertinent de l'évaluer dans le cadre de cette étude.

Plan Air Climat Energie (PACE)

Comme expliqué dans le chapitre Air, le Plan Air Climat Energie concerne également le climat et a pour objectif de décrire de manière intégrée les actions menées dans la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre (GES) afin de viser une meilleure adaptation climatique.

Dans le PACE 2016-2022, une série de mesures étaient formulées concernant l'adaptation aux changements climatiques, à savoir :

- Construire une solide base de connaissances ;
- Poursuivre la lutte contre l'érosion des sols et contre les risques accrus d'inondations ;
- Encourager les initiatives pour une sylviculture durable et respectueuse du fonctionnement naturel de l'écosystème ;
- Améliorer la connaissance des impacts et de la vulnérabilité au niveau des villes et des communes.

En résumé, les objectifs politiques relatifs au climat qui seront évalués dans le cadre de cette étude sont les suivants:

- La plus grande réduction possible des émissions de gaz à effet de serre ;
- Atteindre une résilience maximale de l'environnement et de la société aux conséquences du changement climatique ;
- Minimiser la vulnérabilité du projet aux impacts du changement climatique.

6.5.2 Effets pertinents et relations de cause à effet

Le Projet qui fait l'objet de l'évaluation environnementale présente un certain nombre de relations potentielles avec la réalisation ou non des objectifs politiques résumés ci-dessus.

La production d'électricité nécessite une source primaire : charbon, gaz, uranium, soleil, vent ou eau. L'électricité, en raison de ses modes de production, est la principale source des émissions mondiales de CO₂. En ce qui concerne la production d'électricité nucléaire, le fonctionnement des centrales est lié à des installations auxiliaires qui génèrent des gaz à effet de serre, à savoir des groupes électrogènes et des chaudières. Ces installations ne sont pas utilisées en fonctionnement normal de la centrale. En effet, comme précisé dans le chapitre *Air*, les chaudières sont utilisées pour le démarrage du réacteur et pour assurer la production de vapeur, et les groupes électrogènes servent en cas de panne. Ces installations sont néanmoins allumées de manière régulière pour pouvoir effectuer les contrôles permettant de tester leur fonctionnement et génèrent des émissions de gaz à effet de serre lors de ces tests ou utilisations. Concernant l'objectif de la plus grande réduction possible des émissions de GES, deux effets sont pertinents à prendre en compte.

Le premier est la fraction des émissions de GES de la centrale qui sera maintenue dans le cas où le Projet (prolongation de 10 ans de l'unité Tihange 3) est réalisé.

Le second effet concerne l'estimation des émissions qui seraient générées pour compenser la production d'électricité perdue si le Projet n'est pas réalisé (arrêt de Tihange 3). En effet, la technologie utilisée pour produire de l'électricité est déterminante pour maîtriser les émissions de CO₂. Dans le cas où l'unité Tihange 3 est mise à l'arrêt, la production d'électricité sera alors réalisée au moyen d'autres vecteurs énergétiques. Il peut donc être pertinent d'évaluer les potentielles émissions liées aux autres technologies utilisées. En Wallonie, il est par exemple prévu que des centrales au gaz remplacent partiellement le nucléaire, malgré la progression de l'électricité renouvelable. On parlera d'émissions « évitées » grâce à la réalisation du projet, si les émissions estimées pour une autre technologie s'avèrent être plus importantes que celles générées par Tihange 3.

Au niveau de la vulnérabilité du projet au changement climatique, la centrale est soumise aux potentielles conséquences que pourrait avoir le changement climatique, à savoir par exemple des inondations ou des épisodes de chaleur.

Enfin, l'implantation de la centrale peut en elle-même avoir un impact sur la résilience de l'environnement immédiat par rapport aux effets du changement climatique, dû par exemple à l'imperméabilisation d'une superficie importante.

6.5.3 Délimitation de la zone d'étude et description de la situation de référence

Les *émissions de gaz à effet de serre* touchent à une problématique à l'échelle de la planète, qui n'est autre que le réchauffement climatique. L'impact des émissions n'est pas déterminé par le lieu où elles sont générées. Les émissions de gaz à effet de serre qui seraient générées dans le cas où le Projet n'est pas réalisé (cas où Tihange 3 est démantelé), pourraient venir de partout en Belgique, voire même à l'étranger dans le cas où des importations d'électricité ont lieu.

Pour tout ce qui concerne *la vulnérabilité et la résilience environnementale*, la zone du projet correspond au site de la centrale ainsi que son environnement immédiat qui pourrait être affecté par un impact environnemental lié, ou amplifié, par la présence de la centrale.

La *situation de référence* est la situation juste avant le 1^{er} septembre 2025, qui correspond à un arrêt des unités Tihange 1 et Tihange 2 et au fonctionnement de l'unité Tihange 3 « as usual ». Au 1^{er} septembre 2025, bien qu'il est prévu que le démantèlement des unités 1 et 2 ait été entamé (phase de préparation à tout le moins), il est difficile d'estimer la part des installations qui sera encore en activité et susceptible de générer des émissions. Ces questions devant être traitées dans le cadre des permis de démantèlement, la situation de référence que nous allons considérer dans ce chapitre tiendra uniquement en compte les installations liées à l'utilisation de Tihange 3.

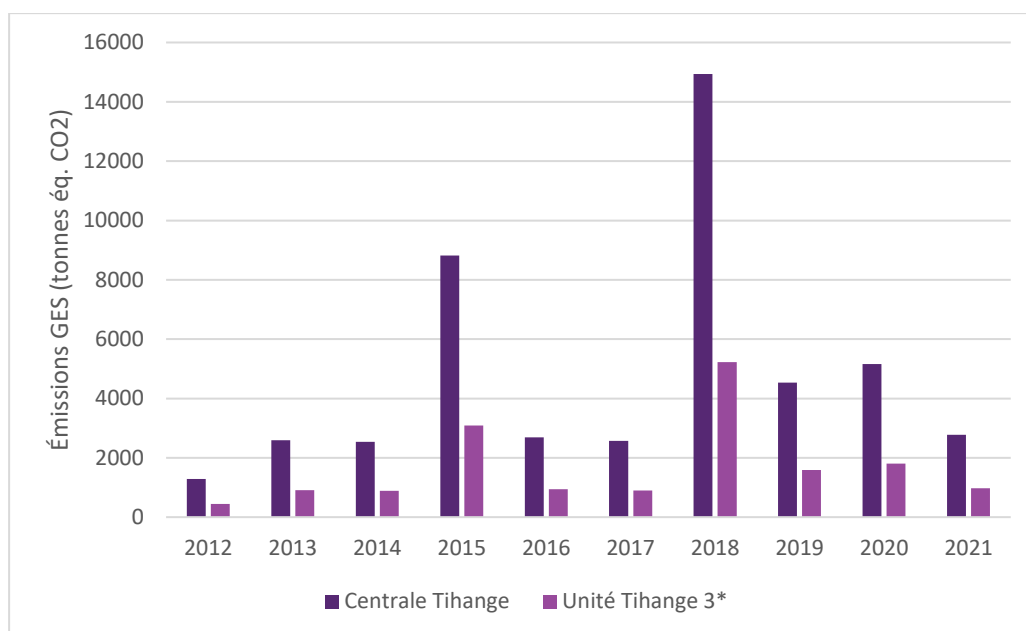
Les éventuels développements qui pourraient avoir pour effet que la situation en 2025 soit (fondamentalement) différente de celle de 2023 pourraient concerner les émissions de gaz à effet de serre de la production non nucléaire, qui pourraient d'un côté être tirées vers le haut au vu d'une utilisation plus importante de centrales au gaz, et d'autre part tirées vers le bas avec le développement des énergies renouvelables.

6.5.4 Description des effets

Émissions de la centrale

Comme mentionné ci-dessus, les émissions de gaz à effet de serre de la centrale proviennent du fonctionnement d'un certain nombre de groupes électrogènes (qui alimentent les pompes et les générateurs de secours) et de chaudières au fuel léger. L'inventaire des installations sources d'émissions de gaz à effet de serre de la centrale nucléaire de Tihange, réalisé en 2019 par Tractebel Engineering, distingue 4 chaudières au fuel léger, pour une puissance totale de 87,8 MWth, 23 groupes électrogènes de secours, pour une puissance totale de 176,56 MWth et une pompe incendie d'une puissance de 0,5 MWth.

Si l'on considère uniquement les installations liées à l'unité de Tihange 3, ce qui correspond à la situation de référence, la puissance cumulée est de 93,2 MWth, à savoir environ 35 % de la puissance totale pour la centrale. Ensemble, sans compter la chaudière domestique, ces installations ont fonctionné en moyenne 653 h/an sur la période 2015-2019. Etant donné les données sur les émissions de GES sont disponibles uniquement pour l'ensemble de la centrale de Tihange, il sera pris comme hypothèse que les émissions attribuées au fonctionnement de Tihange 3 (situation de référence) correspondent à 35 % des émissions totales de la centrale (hypothèse basée sur le rapport des puissances). Les émissions de GES de la centrale de Tihange et attribuables à Tihange 3 pour les 10 dernières années sont reprises dans le graphique à la Figure 87.



*Valeurs calculées avec l'hypothèse précisée ci-dessus (35 % des émissions de la centrale)

Figure 87 : Emissions de GES (tonnes éq.CO₂/an) pour la centrale de Tihange et attribuées à l'unité Tihange 3.

Sur base des émissions attribuées à l'unité Tihange 3, et connaissant la production nette des dernières années, il est possible d'estimer les émissions relatives liées au fonctionnement de Tihange 3. Le Tableau 82 illustre les émissions de gaz à effet de serre estimées pour l'unité Tihange 3 (situation de référence pour le Projet) pour les années 2012-2021.

Tableau 82 : Émissions de gaz à effet de serre (tonnes éq. CO₂/an) et intensité des émissions (g éq. CO₂/kWh) estimées pour l'unité Tihange 3 pour la période 2012-2021 (Source : déclarations environnementales 2013-2022, Engie).

	Emissions GES T3 (tonnes éq . CO ₂ /an)	Production nette T3 (MWh)	Emissions relatives T3 (g éq. CO ₂ /kWh)
2012	450,1	7 975 000	0,056
2013	908,95	8 094 000	0,11
2014	890,05	8 800 737	0,10
2015	3 085,25	7 336 436	0,42
2016	941,5	7 835 567	0,12
2017	901,6	8 963 786	0,10
2018	5 227,25	2 215 600	2,36
2019	1 586,2	8 945 120	0,18
2020	1 806,35	5 838 218	0,31
2021	971,6	9 001 857	0,11
Moyenne	1 676	7 500 632	0,39

Les émissions de gaz à effet de serre élevées observées en 2018 pour l'unité Tihange 3 sont dues au fait que le réacteur est resté durant près de 9 mois à l'arrêt pour cause de travaux. En parallèle, les émissions de la centrale étaient hautes cette année-là. Etant donné que les émissions des installations de combustion sont inversement

proportionnelles à la production (car utilisés principalement en cas d'arrêt du réacteur), cela explique pourquoi le facteur d'émission (ou émissions relatives) est particulièrement élevé par rapport aux autres années.

En considérant la moyenne des 10 dernières années comme étant un échantillon représentatif du fonctionnement de l'unité Tihange 3, les émissions de GES moyennes annuelles seraient estimées à 1 676 tonnes éq. CO₂/an, ce qui reviendrait à des émissions cumulées de l'ordre de 20 000 tonnes éq. CO₂ sur la période 2025-2037 comme effet direct du report de la désactivation de Tihange 3.

Si nous exprimons les émissions par rapport à l'électricité produite, nous obtenons une valeur qui, pour les années considérées, fluctue entre 0,10 et 2,35 g éq. CO₂/kWh, avec une moyenne sur les 10 dernières années de 0,39 g CO₂ éq./kWh.

À titre de comparaison, une centrale TVG de dernière génération émet environ 320 g CO₂ éq. /kWh¹²³. Les émissions de gaz à effet de serre spécifiques de l'ensemble de la production d'électricité belge s'élevaient à 154 g CO₂ éq./kWh en 2021 (EEA, 2022).

A titre indicatif, la Figure 88 compare ce dernier chiffre avec celui d'autres États membres de l'UE. Il en ressort clairement que les émissions spécifiques du parc électrique belge sont plus faibles que, par exemple, celles des Pays-Bas (418 g CO₂eq/kWh) et de l'Allemagne (402 g CO₂eq/kWh), deux pays qui, en 2021, comptaient encore une part considérable d'énergie fossile (y compris le charbon et, dans le cas de l'Allemagne, le lignite) dans leur mix énergétique. Les pays qui font mieux que la Belgique sont ceux qui ont une capacité nucléaire et/ou hydroélectrique importante.

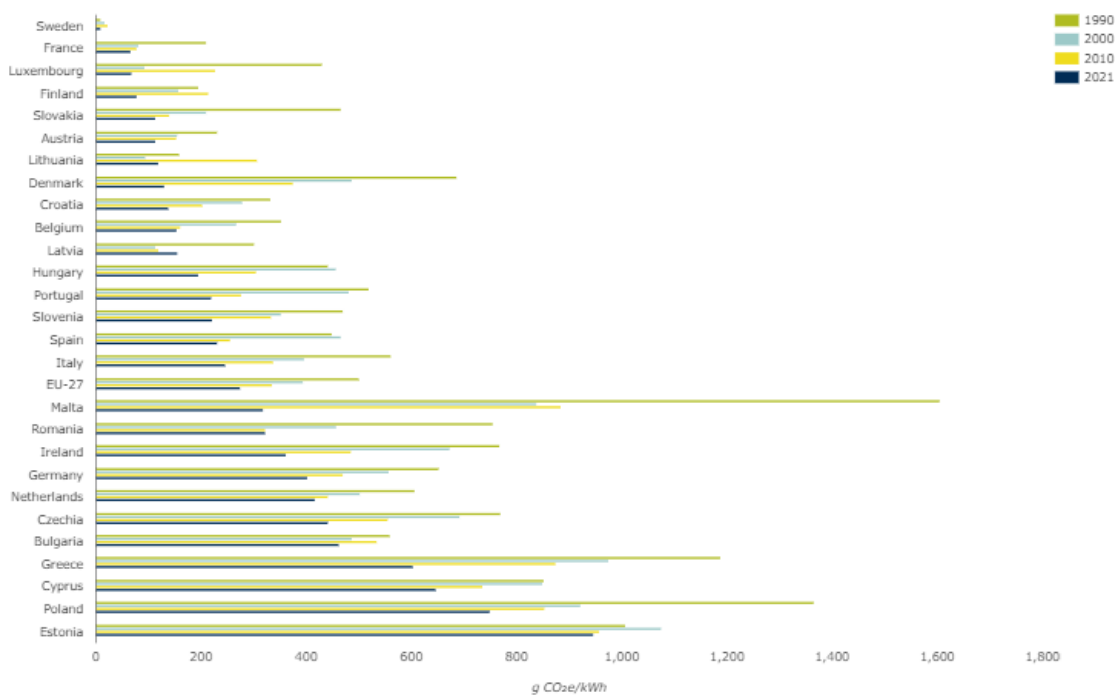


Figure 88 : Intensité des émissions de gaz à effet de serre (g éq.CO₂/kWh) du secteur de l'électricité pour les différents États membres de l'UE (EEA, 2022).

Nous pouvons observer que l'intensité des émissions relatives de gaz à effet de serre générées par l'activité Tihange 3 est près de 400 fois inférieure aux émissions moyennes du parc de production belge (0,39 g CO₂ éq./kWh contre 154 g CO₂ éq./kWh). Son impact en termes d'émissions de gaz à effet de serre est donc limité comparé à d'autres

¹²³ Étude d'incidences sur l'environnement – Demande d'un permis unique pour une centrale thermique à cycle combiné fonctionnant au gaz naturel et un raccordement électrique haute tension aux Awirs ; Sertius SA ; 2020.

technologies, comme par exemple les turbines gaz-vapeur. Compte tenu de la technologie déployée, cela ne devrait pas être une surprise. Les émissions qui se produisent ne sont pas dues au fonctionnement normal de la centrale, mais aux cycles d'essai d'installations qui ne sont utilisées qu'en cas d'urgence. Le taux de fonctionnement de ces installations est de 0,5 % à 5 % du temps, ce qui est en très faible.

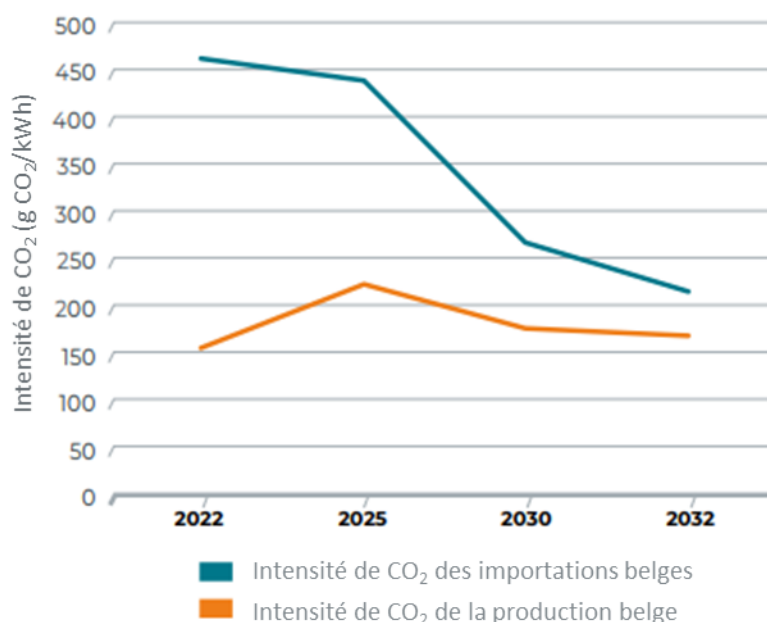
En tenant compte des émissions annuelles moyennes sur la période 2012-2021, telles que calculées ci-dessus, les émissions générées par la prolongation de 10 ans de la durée de vie de Tihange 3 entraîneront une émission supplémentaire (par rapport à la situation de référence) de 16 760 tonnes de CO₂eq, ce qui représente 0,13 % des émissions totales de la production d'électricité et de chaleur en Belgique en 2021 (12,8 Mtonnes).

Émissions évitées de la centrale

Dans le cas où le réacteur de Tihange 3 est remplacé pour une production d'énergie basée sur un mix énergétique non nucléaire, il est pertinent de discuter des émissions qui seraient générées pour la capacité de production nucléaire perdue pendant les 10 années envisagées pour la prolongation.

Il est clair que la perte de capacité nucléaire en Belgique devra être au moins partiellement absorbée par les centrales à gaz. Ember¹²⁴ estimait en 2020 que l'intensité carbone de l'approvisionnement électrique belge s'élèverait en 2030 à 229 g CO₂eq/kWh, ce qui implique une augmentation de près de 71 % par rapport à la situation actuelle. La Belgique est l'un des rares pays européens où l'intensité carbone pourrait augmenter plutôt que de diminuer. Cela s'explique évidemment par le fait que la part des énergies renouvelables est trop faible en 2030 pour compenser le déclin de la production nucléaire. EMBER prévoit une part de 57 % de gaz naturel et de 40 % d'énergies renouvelables en 2030. À noter que dans une mise à jour des perspectives d'approvisionnement belge en électricité en 2030 et 2050 (2020), Enegyville table sur une part significativement plus faible de 44 % de gaz naturel en 2030, et donc également sur une intensité carbone plus faible (voir ci-dessous).

La Figure 89 illustre une prévision de la production et des importations d'électricité belges entre 2022 et 2032, telles qu'elles figurent dans le dernier rapport d'adéquation et de flexibilité (« Adequacy and Flexibility Report ») d'Elia (2021).



¹²⁴ Vision or division? What do National Energy and Climate Plans tell us about the EU power sector in 2030? EMBER, novembre 2020.

Figure 89 : Prédiction de l'intensité carbone de la production et des importations belges d'électricité (Elia).

Comme on peut également le voir dans cette Figure, Elia est beaucoup plus optimiste (et probablement aussi plus réaliste) qu'Energyville en ce qui concerne l'intensité en CO₂ de la production d'électricité. La raison en est qu'Elia, tout comme Energyville, repose son raisonnement sur une part de gaz nettement inférieure qu'Energyville. En 2032, Elia tient compte d'une part de gaz dans la production d'électricité comprise entre 33 % et 44 %, avec une part d'énergie éolienne d'au moins 37 %. Selon les chiffres d'Elia, l'intensité carbone culminera en 2025 (après la fermeture de toutes les centrales nucléaires) à environ 225 g de CO₂éq/kWh, mais diminuera régulièrement par la suite.

Des informations comparables peuvent être trouvées dans l'étude d'Energyville de 2020 mentionnée. Les données de cette étude permettent de tracer le graphique ci-dessous qui illustre l'évolution attendue de l'intensité carbone dans, d'une part, un scénario « Central » (sans énergie nucléaire après 2025) et d'autre part, un scénario « Nuclear 10 » avec 2 GW d'énergie nucléaire conservés pendant 10 ans après 2025. Ce dernier scénario correspond au scénario que nous évaluons dans la présente EIE.

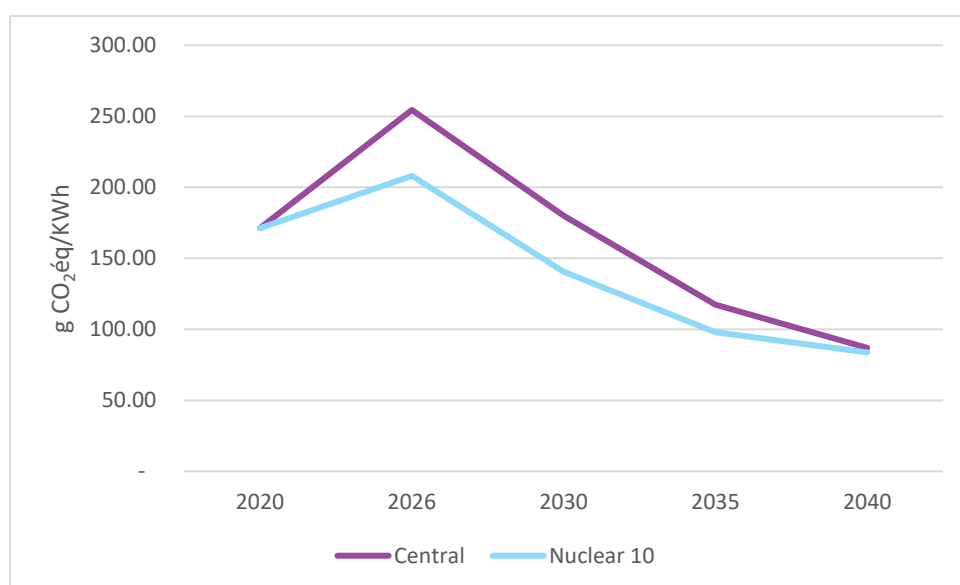


Figure 90 : Évolution de l'intensité carbone de la production d'électricité dans un scénario de sortie totale du nucléaire en 2020 (Central) et dans un scénario avec une prolongation de durée de vie de 10 ans pour 2 GW de capacité. (Nuclear 10)

L'évolution de ce chiffre est, pour le scénario « Central », tout à fait comparable au chiffre du rapport d'Elia, bien qu'Energyville suppose un pic plus élevé en 2026. Comparable aux deux graphiques, nous avons la diminution rapide de l'intensité carbone après 2025/2026, atteignant une intensité carbone à nouveau similaire à celle d'aujourd'hui à partir de 2030 environ.

Par une interpolation des chiffres qui forment la base pour la courbe « Centrale » de la Figure 89, nous obtenons les données dans Tableau 83. Le Tableau contient, par an de 2020 à 2040, les émissions de gaz à effet de serre (en ktonne CO₂éq) correspondant à une production annuelle de 7 500 GWh d'électricité, ce qui équivaut à (arrondi) la production moyenne de Tihange 3 sur la période 2012-2021) à l'intensité carbone de la production d'électricité cette même année.

Tableau 83: Émissions de CO₂ estimées (dans un scénario de sortie complète du nucléaire en 2025 (Central) causées par la production de 7500 GWh d'électricité par an, à l'intensité carbone moyenne de la production d'électricité chaque année.

	Central	
	gramme CO ₂ éq/KWh	Ktonne CO ₂ éq
2020	171,12	1.283,43
2021	185,02	1.387,67
2022	198,92	1.491,90
2023	212,82	1.596,13
2024	226,72	1.700,36
2025	240,61	1.804,60
2026	254,51	1.908,83
2027	235,87	1.768,99
2028	217,22	1.629,16
2029	198,58	1.489,33
2030	179,93	1.349,49
2031	167,40	1.255,54
2032	154,88	1.161,58
2033	142,35	1.067,62
2034	129,82	973,66
2035	117,29	879,71
2036	112,24	841,77
2037	107,18	803,84
2038	102,12	765,90
2039	97,06	727,97
2040	86,95	652,10

Les émissions cumulées sur la période 2027-2036 correspondent aux émissions qui ne seraient pas émises (et donc « évitées ») si 7500 GWh d'électricité d'origine nucléaire (Tihange 3) étaient produits annuellement sur cette période. La valeur obtenue de cette manière est de 12 417 ktonnes ou 12,42 ktonnes.

Si l'on compare les émissions rejetées par l'exploitation de Tihange 3 sur environ la même période (16,76 ktonnes), on peut conclure que les émissions de Tihange sur la période couverte par le report de la désactivation ne représentent que 0,13 % des émissions évitées sur la même période. Les émissions attribuables au maintien de la centrale en service plus longtemps sont donc négligeables par rapport aux émissions évitées.

La prolongation de 10 ans de la durée de vie de Tihange 3 conduit à 12 417ktonnes d'émissions de CO₂ en moins, soit une moyenne d'environ 1242 ktonnes/an. Cela représente une économie annuelle équivalente à près de 10 % des émissions du secteur de la « production d'électricité et de chaleur » en Belgique en 2021 (12,8 Mtonnes). La quantité annuelle d'émissions de gaz à effet de serre économisé diminue d'année en année sur la période de prolongation de la durée de vie, comme on peut le constater clairement dans le Tableau 83.

Impact sur la vulnérabilité de l'environnement

La question à laquelle il faut répondre sous cette rubrique est de savoir dans quelle mesure le fait de prolonger l'activité de Tihange 3 peut affecter la vulnérabilité de la zone environnante face aux effets du changement climatique. Les effets qui peuvent en théorie être pertinents ici concernent d'une part la gestion de l'eau de pluie et d'autre part l'apparition d'un îlot de chaleur.

En ce qui concerne l'effet de la **gestion des eaux de pluie**, on peut citer la surface imperméable considérable formée par la zone de la centrale nucléaire de Tihange. L'eau qui tombe sur cette zone ne s'infiltrera pas dans le sol et devra donc être collectée et évacuée. C'est bien sûr ce qui se passe actuellement (voir la description dans le *chapitre Eau*). En raison du changement climatique, les averses pourraient devenir plus intenses, ce qui pourrait avoir pour conséquence que le système de collecte et d'évacuation ne soit plus toujours en mesure de traiter les précipitations. La présence de la centrale pourrait ainsi avoir un impact dans la création d'inondations locales.

La centrale forme également un **îlot de chaleur** par rapport à son environnement. Cet effet est dû au fait que le site est en grande partie revêtu et comporte peu d'arbres pouvant fournir de l'ombre ou assurer un refroidissement par évaporation. Les revêtements et les bâtiments stockent la chaleur pendant la journée et la restituent progressivement la nuit. En conséquence, la température sur le site peut être plus élevée de quelques degrés par rapport aux zones environnantes. Cet effet est renforcé lorsque les étés sont plus chauds. Ce réchauffement se fait sentir jusqu'à une distance de (tout au plus) plusieurs centaines de mètres de la centrale. Ces effets sont actuellement présents et le resteront que la centrale soit désactivée ou non (en raison de la longue durée du démantèlement).

Enfin, on peut également faire référence au **problème de la sécheresse**, qui va s'aggraver en raison du changement climatique. Sur le site de la centrale, on accorde actuellement peu d'attention à la mise en place de tampons et à l'infiltration.

Il est à noter que les autorités wallonnes devraient profiter du prochain renouvellement de permis (non radiologique) de la centrale en 2028 et des demandes de démantèlement pour que les aspects sécheresse et gestion des eaux de pluies soit intégrées plus avant dans la gestion environnementale du site. Il est donc prévu une adaptation progressive du site à la vulnérabilité environnementale.

Vulnérabilité du Projet par rapport aux impacts du changement climatique

Deux questions différentes sont abordées sous cette rubrique :

- D'une part, les impacts que le Projet lui-même peut subir en raison du changement climatique (en termes de sécheresses, d'inondations, etc.). La disponibilité de l'eau de refroidissement, qui peut diminuer si la température ambiante et la température de l'eau de surface deviennent trop élevées, en est un exemple ;
- D'autre part, la mesure dans laquelle les effets du projet, qui sont examinés ailleurs dans la présente EIE, pourraient changer (être amplifiés ou atténués) en raison du changement climatique. Par exemple, avec l'augmentation de la sécheresse, les débits des cours d'eau peuvent être fortement réduits, ce qui peut exacerber les effets d'un déversement en provoquant une dilution beaucoup moins importante que prévu.

Bien que ces deux types d'effets soient différents, ils sont traités ensemble ici, car les causes sous-jacentes (chaleur, sécheresse, inondations, etc.) sont les mêmes dans les deux cas.

Le présent Projet couvre une période clairement définie, qui se termine en 2036. Bien que les signes d'un changement climatique soient devenus de plus en plus évidents au cours des dernières décennies et surtout des dernières années, il n'est pas attendu à ce que ces changements donnent lieu à des modifications drastiques des paramètres climatiques au cours de la période 2027-2036. Ce qui est certain, c'est que les évolutions prévues et déjà constatées vont se poursuivre et aussi s'intensifier. Il convient donc de tenir compte des éléments suivants dans le cadre de la période de référence du Projet :

- Des températures moyennes plus élevées, avec des hivers plus doux et des étés plus chauds ;
- Des vagues de chaleur plus fréquentes, qui peuvent également être plus intenses et durer plus longtemps ;

- Une augmentation des précipitations annuelles totales, avec plus de pluie en hiver (et éventuellement plus d'inondations), mais aussi des étés sensiblement plus secs ;
- Une augmentation de l'intensité de pointe des précipitations sous forme d'averses courtes et intenses, qui peuvent provoquer des inondations ;
- Des vitesses de vent plus élevées.

Les principaux éléments qui concernent la centrale de Tihange sont les risques d'inondation et de l'augmentation de l'intensité maximale des précipitations.

Inondations

Comme expliqué dans le chapitre *Eau*, le risque d'inondation externe est lié à une forte crue de la Meuse située au nord des installations du site de Tihange, à une rupture accidentelle du barrage d'Ampsins-Neuville ou à un débordement des aéroréfrigérants de Tihange 2 et Tihange 3.

Afin d'éviter les risques d'inondation, une digue de protection disposée en bordure de Meuse et en amont du dispositif de protection du site de la centrale de Tihange contre les inondations dues aux crues de la Meuse (mur anti-inondation) a été construite. En outre, le site de Tihange, y compris ses parties basses, est intégralement protégé par un dispositif anti-inondation (mur anti-inondation, digue, valves anti-retour).

Dans son rapport des tests de résistance d'octobre 2011, Electrabel affirme qu'une crue de période de retour de 10.000 ans est la nouvelle base de conception de la centrale de Tihange, afin de se conformer aux standards internationaux. Le renforcement des lignes de défense avaient donc été remises à l'étude à cette période là, en vue d'effectuer les modifications nécessaires. Il est estimé que la considération d'une période de retour de 10.000 ans est suffisante pour prendre en compte l'évolution du risque lié au changement climatique.

La centrale de Tihange 3 n'est pas située dans une zone sensible aux inondations. Aucun problème majeur n'est prévu à l'avenir suite au changement climatique, avec des niveaux d'eau plus élevés et des précipitations plus intenses.

Vents forts

La vitesse maximale du vent de 49 m/s, qui a servi de base à la conception de tous les bâtiments du site, n'a encore jamais été réellement mesurée en Belgique. En outre, les bâtiments liés à la sécurité sont calculés pour des charges plus importantes que cette vitesse de vent maximale. Des vitesses de vent extrêmes pourraient donner lieu à une LOOP partielle ou complète. Le scénario LOOP¹²⁵ fait partie de la base de conception des unités. Une telle situation ne met pas en danger le refroidissement de la matière fissile, ni en fonctionnement normal ni à l'arrêt.

Tornades

La conception de Tihange 2 et 3 prend en compte une tornade de référence qui est sans précédent dans cette région (107,3 m/s alors qu'il est considéré au maximum 70 m/s comme pouvant survenir en Belgique). La conception de Tihange 1 tient compte d'une intensité plus faible (70 m/s). Comme le phénomène n'est généralement pas le critère déterminant lors de la conception des bâtiments, des bâtiments importants liés à la sécurité pourront également supporter des tornades plus intenses que la tornade de référence.

¹²⁵ LOOP = loss of off site power, ou perte complète du réseau externe, ce qui signifie la perte simultanée des réseaux externes de 380 kV et 150 kV. Dans une telle situation, un groupe turbogénérateur est automatiquement activé en mode îlot via les dispositifs de protection électrique. Le groupe turbogénérateur alimente ses propres systèmes auxiliaires. C'est le premier mécanisme de protection qui assure l'alimentation des systèmes auxiliaires de l'unité. Il est également possible de mettre en route les turbines de la station de Coe (stockage d'eau dans des bassins couplés à une unité hydroélectrique en contre-bas) qui peut alimenter les auxiliaires (via les lignes haute tension entre Coe et Tihange).

Une tornade grave peut entraîner une LOOP partielle ou complète, qui peut ou non être combinée avec une perte de la source froide primaire (arrêt des pompes du circuit d'eau de Meuse – CEB). En cas de perte de source froide pour Tihange 3, d'autres pompes bunkerisés restent disponibles et pallient à la défaillance.

Températures moyennes plus élevées

Si la température ambiante est plus élevée, la température de l'eau de refroidissement rejetée sera également plus élevée. En raison du changement climatique, les températures moyennes de l'air vont augmenter, avec des hivers plus doux d'une part et des vagues de chaleur plus longues et plus intenses en été d'autre part.

En conséquence, la température de l'eau de refroidissement rejetée augmentera en moyenne et des mesures supplémentaires pourraient être nécessaires pour respecter les normes de rejet des centrales électriques. Au niveau de la centrale Tihange 3, le débit de rejet en Meuse est modulable, de manière à respecter les limites d'échauffement fixées dans le permis. Lorsque les circonstances hydrométéorologiques l'exigent, une partie du débit de l'eau de refroidissement qui sort de la tour de refroidissement peut être recirculée dans le circuit, ce qui a pour effet de réduire le débit prélevé, le débit rejeté ainsi que la charge thermique rejetée dans le milieu aquatique récepteur.

En outre, les températures des eaux de surface prélevées augmenteront évidemment aussi en raison d'une augmentation de la température moyenne de l'air ambiant. Si la température de la Meuse augmente en raison du changement climatique, la température de l'eau de refroidissement rejetée augmentera proportionnellement, avec la possibilité d'une limitation plus fréquente des charges thermiques maximales à rejeter quotidiennement (cf. conditions du permis), surtout en été.

Les deux phénomènes décrits ci-dessus (température plus élevée de l'eau de refroidissement à rejeter et température plus élevée de l'eau dans la masse d'eau réceptrice) peuvent avoir un impact négatif sur la production d'électricité de la centrale. Toutefois, il ne faut pas s'attendre à ce que cet effet cause des problèmes à la Meuse et au cours de la durée de vie (prolongée) de Tihange 3.

Températures extrêmes

Les températures extrêmes ont également été prises en compte dans la base de conception et dans le dimensionnement des équipements. Les normes dans ce domaine ont été déterminées sur la base de statistiques et en fonction de la localisation géographique du site nucléaire. Une période de températures extrêmes ou de sécheresse extrême n'est pas un phénomène naturel soudain. Ce sont des évolutions qui peuvent être prévues à temps, ce qui permet d'agir en temps voulu. Tihange a également mis en place des procédures pour garantir la sécurité de son fonctionnement en cas de vague de chaleur ou de gel.

Il n'est pas connu si et dans quelle mesure l'augmentation récente de la température moyenne et l'apparition de vagues de chaleur plus fréquentes et plus longues ont déjà été prises en compte dans ces procédures. Étant donné que ces dernières années, avec des périodes parfois très chaudes en été, aucun problème n'est apparu dans ce domaine, il est supposé que ce sera également le cas pour la période 2025-2037.

6.5.5 Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques

Pour les différents objectifs politiques de haut niveau relatifs à la discipline Climat (voir §6.5.1), il est indiqué ci-dessous si le Projet contribue ou non à la réalisation de ces objectifs :

Objectif « La plus grande réduction possible des émissions de gaz à effet de serre »

Sur l'ensemble de la période, le report de la désactivation de Tihange 3 permet d'éviter des émissions d'environ 12 417 ktonnes CO₂éq. Les émissions attribuables au maintien de l'unité Tihange 3 sont de 16 760 tonnes CO₂éq., ce qui représente 0,13 % des émissions évitées, ce qui est négligeable par rapport à celles-ci. Le Projet contribue donc à la réalisation de cet objectif et le score est **positif**.

Quoi qu'il en soit, il est clair que le report de la désactivation de Tihange 3 sur la période 2025-2037 conduit à des émissions évitées de l'ordre de 2 417 ktonnes, soit environ 242 ktonnes/an. Cela représente une économie d'environ 1,5 % du total des émissions de gaz à effet de serre en Belgique pour l'année 2021 (110 800 ktonnes).

En outre, il est clair que l'importance des émissions « évitées » dépend dans une large mesure de l'intensité en carbone supposée de la production d'énergie, et donc notamment de la part des énergies renouvelables. Comme l'exercice n'est de toute façon que théorique et illustratif, il n'est pas nécessaire de viser une grande précision dans les hypothèses.

Objectif « Atteindre une résilience maximale de l'environnement et de la société aux conséquences du changement climatique »

Au cours de la période de référence 2025-2037, le Projet n'aura pas d'impact supplémentaire sur la résilience de l'environnement aux effets du changement climatique. Les impacts potentiellement pertinents n'augmenteront pas si la désactivation est reportée, d'une part en raison du court horizon temporel (2037) dans lequel le changement climatique peut se manifester, d'autre part en raison du fait que le site de Tihange 3 restera revêtu pendant la période de référence même en cas de désactivation en 2025. Le Projet ne contribue donc pas de façon notable à la réalisation de l'objectif, mais ne le contrecarre pas non plus de façon notable. L'évaluation est donc neutre pour cet aspect.

Objectif « Minimiser la vulnérabilité du projet aux impacts du changement climatique »

L'analyse présentée dans cette EIE montre clairement que le site résiste aux impacts du changement climatique bien au-delà de ce qui devrait se produire en 2025. Le fait que Tihange 3 soit ou non en service sur la période de référence 2025-2037 n'y change rien. L'évaluation est donc neutre.

6.5.6 Résumé des principales conclusions

L'évaluation par rapport aux objectifs pour le climat est résumée dans le Tableau 84.

Tableau 84 : Résumé de l'évaluation des objectifs par rapport au climat

Objectif	Contribution Projet (report 10 ans)	Score
Plus grande réduction possible des émissions de gaz à effet de serre	Permet de limiter les émissions de CO2 pour l'électricité qui doit être produite	Positif
Résilience maximale de l'environnement aux conséquences du changement climatique	Projet pourrait affecter la vulnérabilité des alentours s'il n'existe pas de mesures pour s'adapter aux effets du changement climatique, mais contribution faible sur le laps de temps	Neutre
Minimiser la vulnérabilité du projet aux impacts climatiques	Pas de contribution notable	Neutre

6.5.7 Mesures d'atténuation

Aucune mesure d'atténuation n'est requise à partir de la discipline Climat si les travaux prévus pour faire face au changement climatique sont mis en œuvre.

6.5.8 Lacunes dans les connaissances et suivi

Il n'y a pas de lacunes dans les connaissances qui soient de nature à conduire à des décisions différentes. Une surveillance supplémentaire par rapport au programme de suivi existant n'est pas jugée nécessaire.

6.6 Homme et Sécurité

6.6.1 Contexte juridique et politique

Dans le cadre de ce Projet, il n'existe pas de cadre politique global majeur relatif à la santé en ce qui concerne les aspects non radiologiques. Cependant, des plans environnement-santé ont été mis en places par les instances publiques.

L'environnement-santé est un concept qui a été défini par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en 1993 : « *La santé environnementale recouvre les aspects de la santé humaine, y compris la qualité de vie, qui sont déterminés par les facteurs physiques, biologiques, sociaux et psychosociaux de l'environnement. Elle comprend les aspects théoriques et pratiques de l'évaluation, de la correction, du contrôle et de la prévention des facteurs environnementaux qui pourraient potentiellement affecter de manière adverse la santé des générations présentes et futures.* »

L'influence de l'environnement sur la santé humaine est irréfutable. Les agressions peuvent être multiples (air, eau, sols, déchets, alimentation, produits, radiations, bruit...) tout comme les conséquences (cancers, maladies respiratoires, allergies, perturbation du système endocrinien, etc.). L'OMS estime que les facteurs de stress environnementaux sont responsables de 15 à 20 % de la totalité des décès dans les 53 États membres de la Région européenne de l'OMS¹²⁶.

D'après l'OCDE, la pollution atmosphérique urbaine est appelée à devenir la première cause de mortalité dans le monde d'ici 2050¹²⁷.

L'environnement-santé fait l'objet de nombreux travaux internationaux notamment au niveau des Nations-Unies ainsi que de l'Union européenne et de l'OMS. A niveau de la Belgique, lors de la première Conférence ministérielle en environnement-santé, elle a reconnu par le biais de la charte européenne de l'environnement et de la santé le droit de chaque citoyen à « bénéficier d'un environnement permettant la réalisation du niveau le plus élevé possible de santé et de bien-être ». Ce point est d'ailleurs rappelé dans la Constitution à l'article 23.

Conformément à l'engagement pris lors de la deuxième conférence de l'OMS, le 3 avril 2003, les Ministres belges de la Santé et de l'Environnement ont adopté un premier Plan d'Action National en Environnement-santé (NEHAP), qui a été suivi par une seconde édition, dont l'évaluation s'est achevée courant 2017. Un troisième volet est en cours de préparation.

Au niveau régional, des actions complémentaires ont été réalisées notamment par le développement de projets particuliers et l'adoption par le Gouvernement wallon, lors de sa séance du 12 décembre 2008, d'un programme d'actions régionale en environnement-santé (PARES) pour la période 2009-2013 puis par l'adoption du Plan wallon environnement-santé, baptisé plan "ENVleS", par le Gouvernement wallon en date du 6 décembre 2018.

En écho aux valeurs guides de protection de la santé proposées par l'OMS, plusieurs directives européennes ont développé des normes de qualité de l'air ambiant en matière de SO₂, NO_x, NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, plomb, benzène, CO, ozone, arsenic, cadmium, nickel, mercure, et HAP, que les Etats-membres doivent respecter. Ces normes correspondent aux concentrations maximales dans l'air des divers polluants atmosphériques et sont basées sur des normes de guidance établies par l'OMS, sans en atteindre le niveau d'exigence souhaité par l'OMS. Elles veillent avant tout à protéger la santé humaine et les écosystèmes.

En Wallonie, c'est l'Agence wallonne pour l'Air et le Climat (AwAC) qui est compétente dans le domaine de la qualité de l'air ambiant. Elle se base sur les normes de qualité de l'air ambiant des directives européennes et de l'OMS pour déterminer des valeurs limites d'émissions aux différentes industries, intégrées comme conditions particulières dans leurs permis d'environnement.

126

En termes de sécurité, il y a lieu de mentionner le Code du Bien-être au travail qui comprend tous les arrêtés d'exécution de la loi du 4 août 1996 relative au bien-être de travailleurs lors de l'exécution de leur travail. Il traite de nombreux aspects comme la sécurité au travail et la protection de la santé du travailleur mais aussi les Atmosphères Explosives (zones ATEX), la prévention incendie dans les bâtiments de manière générale et les risques liés aux produits chimiques.

En outre, au sein des sites industriels, la présence de substances dangereuses est génératrice de risques pour la santé humaine et l'environnement. La Directive 2012/18/UE (« SEVESO ») vise à maîtriser les dangers liés aux accidents majeurs impliquant ce type de substance.

Effets pertinents

En termes de pollution de l'air ayant un impact sur la santé humaine et en particulier les trois principaux polluants atmosphériques (PM_{2,5}, NO₂, O₃), seul le dioxyde d'azote est inclus dans les émissions évitées lors de la production d'énergie par voie nucléaire. L'impact de la prolongation de l'unité de Tihange 3 sur la qualité de l'air, les NO_x inclus, est discuté dans le chapitre 6.1.4 traitant du climat et de l'énergie.

La discipline « Santé humaine » ou « Toxicologie humaine » peut être décrite comme suit : la partie de l'étude qui porte sur la collecte, le traitement et l'interprétation des informations relatives aux modifications de l'environnement de vie afin d'estimer les effets à court et à long termes sur la santé publique. L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) définit la santé comme suit : « Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity ». Cette large définition implique que les estimations des impacts environnementaux, en plus de l'impact direct des facteurs de stress, doivent aussi prendre en compte la situation existante, les effets à plus long terme, le contexte social, les effets psychosomatiques indirects et la perception du public.

Le Tableau ci-dessous contient un bref aperçu des facteurs de stress environnementaux potentiellement pertinents, ajustés sur la base d'Arcadis (2021). La raison pour laquelle certains d'entre eux ne sont pas davantage pris en compte est argumentée. Plus loin, l'impact potentiel des facteurs de stress indiqués en bleu est abordé plus en détail, pour lesquels des impacts significatifs ne peuvent être exclus a priori. Ces détails s'appuient également en grande partie sur le RIE d'Arcadis de 2021, complété par des informations issues de l'étude stratégique de l'impact environnemental pour le report de la désactivation de Doel 1 et Doel 2 (SCK CEN et KENTER, 2021).

Tableau 85. Aperçu des facteurs de stress environnementaux potentiellement pertinents

Facteurs de stress	Description spécifique du facteur de stress et/ou de la source, impact sur la santé	Argumentation expliquant pourquoi le facteur de stress, s'il est présent, n'est pas pris en compte
Facteurs de stress chimiques		
Pollution de l'air	Émissions résultant de l'exploitation de Tihange 3	La discipline Air révèle que l'impact sur la qualité de l'air est négligeable. Par conséquent, aucun effet pertinent sur la santé n'est attendu.
Pollution des sols et des nappes phréatiques	Émission accidentelle	En cas d'émission accidentelle, cf, le décret Sols, exige une action immédiate. Au sein du site de Tihange, les mesures nécessaires sont prises pour éviter une détérioration de la qualité des sols et des eaux souterraines. De plus, la législation sur les sols impose une action immédiate en cas de pollution accidentelle. L'exposition à une pollution accidentelle du sol ou des eaux souterraines n'est donc pas examinée davantage dans la discipline Santé humaine.

Facteurs de stress	Description spécifique du facteur de stress et/ou de la source, impact sur la santé	Argumentation expliquant pourquoi le facteur de stress, s'il est présent, n'est pas pris en compte
Pollution des eaux de surface	Rejet des eaux usées	<p>Les eaux usées sanitaires sont rejetées dans la Meuse après épuration dans 5 biorotors. Les eaux usées industrielles sont collectées et évacuées rejetées séparément puis rejetées dans la Meuse, après traitement ou non.</p> <p>Étant donné que l'eau de la Meuse n'est pas utilisée pour le captage d'eau potable ou comme eau de plaine, l'exposition à la pollution via les eaux de surface n'est pas pertinente et n'est pas examinée davantage dans cette discipline.</p>
Odeur	Émissions de substances à impact olfactif /	<p>Les principaux gaz de combustion émis sont inodores (CO, NO et CO₂) ou uniquement détectables à fortes concentrations (NO₂). D'autres substances ayant une odeur typique dans CN Tihange sont l'ammoniac et l'hydrazine, mais leurs caractéristiques d'entreposage évitent les émissions olfactives (voir aussi discipline Air). Les nuisances olfactives ne sont donc pas examinées davantage dans la discipline Santé humaine.</p>
Facteurs de stress physiques		
Bruit	Émissions sonores dues à l'exploitation de Tihange 3	<p>Les émissions sonores de la centrale sont limitées (voir aussi la discipline Biodiversité), surtout si on les compare aux sources de bruit actuelles et futures dans la région. En outre, l'impact sonore du fonctionnement normal diminuera à mesure que les autres réacteurs fermeront, et les activités de déclassement (ne relevant pas du scoping de la présente EIE) sont susceptibles d'être une source beaucoup plus importante de nuisances sonores pour les abords du site.</p>
Vibrations		<p>La prolongation de la durée de vie de Tihange 3 n'implique aucune activité susceptible de générer des vibrations.</p>
Éolien		<p>Malgré la présence de structures hautes (tours de refroidissement), aucune nuisance éolienne pertinente n'est à prévoir compte tenu de l'éloignement des zones résidentielles.</p>
Lumière, ombre	Ombre du panache de vapeur	<p>Des recherches françaises (Méry, 1989) ont révélé que la diminution de l'ensoleillement due à l'ombre du panache de vapeur est largement limitée à une distance de 1,5 à 3 km d'une centrale.</p>
Chaleur	Rejet d'eau de refroidissement dans La Meuse	<p>Aucun effet sur la santé humaine n'est attendu des effets thermiques du rejet d'eau de refroidissement dans la Meuse</p>
Rayonnement électromagnétique		<p>Aucun effet de rayonnement électromagnétique à l'extérieur des limites du site de CN Tihange n'est attendu.</p>

Facteurs de stress	Description spécifique du facteur de stress et/ou de la source, impact sur la santé	Argumentation expliquant pourquoi le facteur de stress, s'il est présent, n'est pas pris en compte
Facteurs de stress biologiques		
Risque d'infection	Les tours de refroidissement peuvent présenter un risque de développement de Legionella.	Le risque d'exposition à Legionella est considéré comme très faible compte tenu des précautions prises. À notre connaissance, il n'y a jamais eu de plaintes dans le passé.
Intoxication aiguë par des toxines		Il n'y a pas de sources pertinentes de toxines associées à l'effet de Tihange 3.
Toxicité chronique		Il n'y a pas de sources pertinentes de toxines biologiques associées à l'action de Tihange 3.
Allergènes		Il n'y a pas de sources pertinentes d'allergènes associées à l'effet de Tihange 3.
Autres		
Nuisance liée à la poussière		La prolongation de la durée de vie de Tihange 3 n'implique aucune activité susceptible d'engendrer des nuisances liées à la poussière.
Proximité d'espaces verts	Occupation d'espaces verts	Le projet se déroule au sein des limites de CN Tihange. Le site est clôturé par une clôture. Par conséquent, le site n'a actuellement aucune fonction publique. La proximité d'espaces verts n'est donc pas pertinente dans la discipline Santé humaine.
Aspects psychosomatiques	Inquiétude des riverains à cause des activités dans CN Tihange (phase d'exploitation)	Une enquête sera menée pour savoir si des effets psychosomatiques peuvent survenir suite à l'exploitation du Tihange 3.
	Inquiétude du public concernant l'incertitude de l'approvisionnement	L'(in)certitude de l'approvisionnement est traitée comme un thème dans ce EIE.
Effets des coupures d'électricité		L'effet possible (sur la santé) des coupures d'électricité est abordé.

En outre, l'expert a jugé pertinent d'étudier les éventuels impacts en termes de sûreté industrielles et de prévention incendie. L'activité peut être source de risque ou de stress pour les occupants ou les riverains.

Les établissements SEVESO sont distingués selon la quantité et la dangerosité des substances en présence ou pouvant être générées. Cette législation impose notamment des actions préventives, des inspections, l'élaboration et l'introduction, par les établissements seuil haut, d'un rapport de sécurité consultable auprès de l'administration (DRIGM), ainsi que l'élaboration d'un plan d'urgence interne et, pour les établissements seuil hauts, d'un plan d'urgence externe. Le risque Seveso désigne la probabilité d'un accident majeur qui surviendrait dans une entreprise Seveso.

Un accident majeur :

- Peut avoir différentes causes, par exemple, une défaillance du système, une erreur humaine, une réaction en chaîne ;
- A des conséquences graves sur l'environnement, les personnes présentes dans l'entreprise ou résidant à proximité de cette dernière. Ces conséquences peuvent être immédiatement visibles ou ne se manifester qu'ultérieurement.

On dénombre quatre types de risques différents dans une entreprise Seveso :

- Risque d'incendie ;
- Risque d'explosion ;
- Risque d'émissions toxiques ;
- Risque écotoxique.

6.6.2 Délimitation de la zone d'étude

Comme susmentionné, ce chapitre évaluera principalement les effets éventuels en termes de sécurité pour les personnes présentes sur site et la population localisée autour de la centrale. Pour rappel, il s'agit de l'évaluation environnementale non radiologique du Projet ; l'objectif n'est dès lors pas d'évaluer l'éventualité d'un accident nucléaire. A ce titre, la zone d'étude de cette thématique a été limitée à un périmètre de 3 km autour de la centrale, périmètre largement utilisé dans la réalisation d'études d'incidences sur l'environnement en Wallonie. En outre, dans ce périmètre sont compris les zones d'habitat de Tihange et d'Ampsin et des entreprises classées Seveso.

6.6.3 Description de la situation actuelle

Les zones habitées les plus proches du projet se situent sur les entités de Tihange et d'Ampsin.

L'hôpital le plus proche est le centre hospitalier de Huy situé à 3,7 km au sud-ouest du projet. La caserne des pompiers de Huy est située à environ 650 mètres à l'ouest du projet. Elle est située face à l'entrée de la centrale, de l'autre côté de la N90.

Les écoles les plus proches du projet sont :

- L'école fondamentale communale d'Ampsin (Amay) située à 1,1 km au nord-est du projet ;
- L'école fondamentale libre « Saint-Pierre » (Amay) située à 1,3 km au nord-est du projet ;
- L'école primaire et maternelle de Tihange située à 1,4 km au sud-ouest du projet ;
- L'école communale des Bons-Enfants (Huy) située à 2 km à l'ouest/sud-ouest du projet.

Le site Seveso le plus proche du projet est situé à environ 1,3 km au nord. Il s'agit de la société EPC Belgique (anciennement Dynamichaines s.a.) située sur la commune de Amay, rue Bois de Huy 5d. Elle est localisée sur la Figure ci-après. Il s'agit d'un établissement seuil bas.

La société EPC Belgique est principalement active dans :

- L'importation d'explosifs pour les carrières à ciel ouvert et les chantiers ;
- Le transport d'explosifs entre la France et la Belgique ;
- Le stockage des explosifs dans ses dépôts situés à Amay ;
- Le stockage de la matrice et du nitrate d'ammonium sur son site de Amay ;
- La vente et la livraison de matières explosives, de cordons détonants, de détonateurs et tout accessoire se rapportant à l'usage des explosifs en carrières ou entreprises de minage à ciel ouvert ;
- La fabrication d'explosifs spéciaux en carrière grâce aux Unités Mobiles de Fabrication d'Explosifs (UMFE).

Comme le montre la Figure ci-après, les zones de vulnérabilité du site d'EPC Belgique passent sur le site de la centrale.

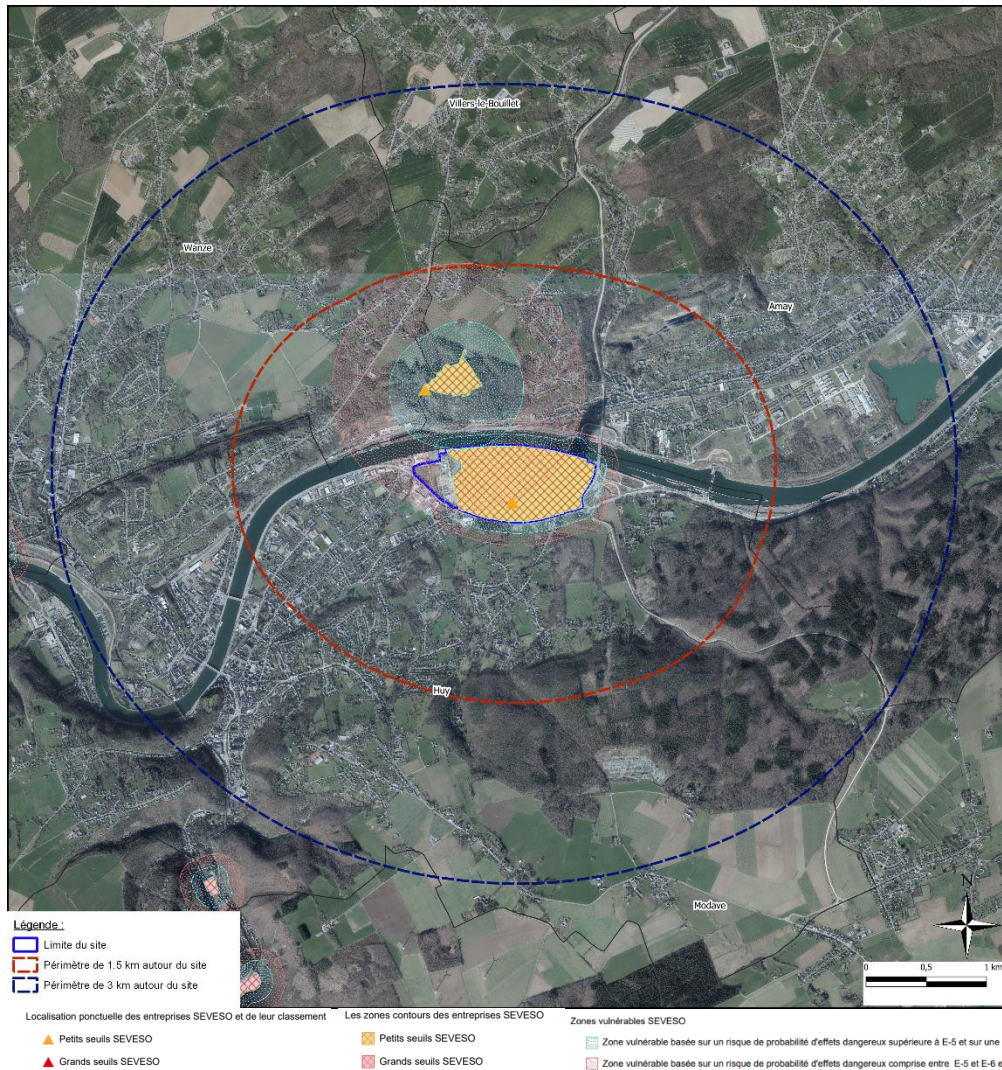


Figure 91 : Sites Seveso dans un rayon de 3 km autour de la centrale de Tihange.

6.6.4 Évaluation des impacts du projet

6.6.4.1 Aspects psychosomatiques et perception du risque

Les troubles psychosomatiques peuvent aller de pair avec la perception du risque. Dans le cas des effets « psychosomatiques », la cause directe n'est pas toujours claire. Elle est toujours basée sur une combinaison de facteurs. Les problèmes psychologiques sont pour la plupart des réactions humaines compréhensibles à des situations spécifiques et ne sont pas simplement une réaction biomédicale, génétique, neurologique ou une maladie du cerveau.

Les données sur l'apparition de troubles psychosomatiques à la suite de l'exploitation spécifique de la centrale nucléaire de Tihange ne sont pas disponibles. En revanche, des données sont disponibles à partir de sondages et d'enquêtes auprès de la population générale belge sur l'attitude (y compris la perception des risques) vis-à-vis de l'énergie nucléaire, de la technologie nucléaire et des centrales nucléaires en Belgique.

SCK CEN•Depuis 2002, le SCK CEN étudie la perception publique des risques liés aux radiations et les attitudes à l'égard de l'énergie nucléaire. L'enquête s'effectue principalement via le « Baromètre•SCK CEN ». Il s'agit d'une large enquête auprès de la population (plus de 1000 personnes), représentative des Belges adultes (18+), répartie sur les provinces, les régions, le niveau d'urbanisation, le sexe, l'âge et le statut d'emploi.

Les baromètres du SCK CEN•incluent des sujets récurrents tels que la perception des différents risques radiologiques, la confiance dans les acteurs du secteur nucléaire et les opinions sur l'utilisation de l'énergie nucléaire, mais aussi des questions plus détaillées sur des sujets spécifiques.

Le baromètre SCK CEN indique qu'en 2018, la pollution de l'environnement et l'utilisation non conforme de la technologie nucléaire sont les plus grandes préoccupations de la population : 61 % considèrent que la pollution de l'environnement est un risque élevé ou très élevé dans les 20 prochaines années, et 54 % considèrent que l'utilisation abusive potentielle des technologies nucléaires par des terroristes est un risque élevé ou très élevé. Dans la même étude, la moitié de la population considère qu'un potentiel accident nucléaire et les déchets radioactifs représentent un risque élevé à très élevé pour leur santé dans les 20 prochaines années. Il existe un consensus général sur la nécessité de réduire le nombre de centrales nucléaires. La confiance dans les autorités par rapport aux mesures qu'elles prennent afin de protéger la population contre les risques d'accident nucléaire diminue entre 2013 et 2018.

En 2018 (SCK CEN Baromètre, données représentatives 18+ de la population belge), environ la moitié de la population belge considère les risques liés aux accidents nucléaires comme élevés à très élevés. Une grande partie de la population (75 %) estime que même une faible dose résultant d'un accident nucléaire est nocive pour la santé publique.

Les observations ci-dessus donnent une vue mitigée ; il est en tous cas impossible de déterminer si l'utilisation de l'énergie nucléaire ou l'existence de centrales nucléaires donne lieu à des troubles psychosomatiques ou psychosociaux spécifiques. Toutefois, on peut supposer que ces troubles, le cas échéant, seraient principalement liés à la production d'électricité nucléaire en général, plutôt qu'au fonctionnement ou au non-fonctionnement de la tranche nucléaire spécifique Tihange 3.

Bien qu'une partie importante de la population s'inquiète d'un accident nucléaire, il n'existe aucune donnée démontrant que ce risque élevé perçu provoque également des effets psychosomatiques. On ne sait rien de la situation spécifique concernant le site de Tihange, encore moins Tihange 3. On peut en revanche supposer qu'avec une prolongation de la durée de vie de Tihange 3, la perception du risque (parmi les résidents locaux et au-delà) persistera également pendant dix ans de plus ; même si cette perception du risque aura diminué, car deux des trois réacteurs de Tihange seront fermés. Étant donné qu'il n'y a pas d'indications concrètes que la perception du risque donne effectivement lieu à des troubles psychosomatiques, qui peuvent être spécifiquement attribués à l'exploitation des centrales nucléaires, on peut supposer que l'effet de la perception du risque sur la prolongation de la durée de vie ne donne pas lieu à des troubles psychosomatiques attribuables.

6.6.4.2 Sécurité

La centrale de Tihange est un site classé Seveso seuil bas principalement pour le critère d'écotoxicité des produits stockés sur le site. Les principaux produits contributeurs sont l'hydrate d'hydrazine¹²⁸ (4,95 et 15 %), l'hypochlorite de sodium à 14 % et le fuel léger.

La Centrale possède un stock stratégique de 2 695 t de fuel réparti dans une cinquantaine de réservoirs. La consommation annuelle est, quant à elle, relativement faible, de l'ordre de 1 100 m³/an en mode de fonctionnement normal. Ce fuel sert principalement à l'alimentation des chaudières auxiliaires de production de vapeur et des générateurs Diesel de secours en cas de perte d'alimentation électrique externe. Avec l'arrêt programmé de Tihange 1 en 2025 et Tihange 2 en 2023 impliquant la suppression de certaines installations et dépôts, il y a lieu de se demander si le seuil bas Seveso sera encore dépassé suite à la mise en oeuvre du projet (prolongation Tihange 3

de 2025 à 2037). En l'absence de données chiffrées relatives aux modalités d'arrêt et de démantèlement de ces deux unités, il n'a pas été possible de le déterminer dans le cadre de la présente étude d'incidences sur l'environnement.

Chaque entreprise Seveso doit obtenir un permis d'environnement avant de débiter ses activités. Les autorités régionales doivent pouvoir être en mesure d'identifier si l'établissement ou l'extension d'une entreprise Seveso représente un risque acceptable pour l'environnement, par exemple, les zones résidentielles et naturelles. L'exploitant doit donc démontrer qu'il peut maîtriser les risques sur son site et limiter les conséquences d'un éventuel accident.

Pour ce faire, l'exploitant d'un établissement Seveso seuil bas annexe à sa demande de permis une notice d'identification des dangers dans laquelle est reprise la sélection des événements redoutés (basée sur des analyses de risques) et sont présentées les mesures de maîtrise des risques mises en place. Cette notice comprend également un tableau reprenant les équipements générant des effets dominos atteignant d'autres sites Seveso et décrivant les mesures prises. Outre ce document établi dans le cadre des demandes d'autorisation d'exploiter non radiologiques (permis d'environnement), la centrale de Tihange a établi un plan d'urgence interne qui doit être activé lorsque se produit un accident majeur ou un incident qui pourrait conduire à un accident majeur.

Notons également que la cellule RAM procède à des inspections régulières des sites Seveso.

Comme susmentionné, un autre établissement Seveso seuil bas (société EPC Belgique) est présent dans un rayon de 1,5 km autour de la centrale de Tihange. Les zones vulnérables de cet établissement atteignent la centrale de Tihange.

Ces zones sont définies par la cellule RAM en conformité avec l'art. 25 de l'accord de coopération qui impose aux Régions de réaliser, dans leur politique d'urbanisation autour des sites Seveso, un contrôle des nouveaux établissements ou des modifications réalisées dans ces établissements. Pour ce faire, la cellule RAM a calculé des Périmètres de Protection du Voisinage pour l'ensemble des sites industriels Seveso en Wallonie (courbe 10^{-6} /an qui délimite la zone vulnérable). Ces courbes sont utilisées pour le contrôle des nouveaux aménagements réalisés autour des établissements Seveso. Pour chaque demande de permis, il y a donc lieu d'évaluer l'impact du projet sur ces courbes. Un recalcul de ces courbes est réalisé le cas échéant. Toute augmentation de ces courbes vers des zones déjà urbanisées peut en effet conduire à un avis négatif sur la demande de permis.

Dans la mesure où les deux établissements Seveso seuils bas ont obtenu leur permis et, compte tenu des éléments qui précèdent (établissement de notices d'identification des dangers, étude des effets dominos, prise en compte des établissements voisins, mise en place de mesures de maîtrise de risque, plan d'urgence interne), il est considéré que les risques en matière de sécurité non-radiologiques sont maîtrisés et que la prolongation de l'exploitation de Tihange 3 aura un impact négligeable.

Un autre risque lié à la sécurité et qui pourrait impacter les travailleurs et les riverains est le risque incendie. Face à ce risque, de nombreuses mesures de prévention incendie ont été prises par la centrale et les moyens de lutte contre l'incendie sont présents sur le site.

Le matériel d'intervention évolue en permanence pour s'adapter aux techniques d'intervention contre le feu et pour mieux faire face à l'ensemble des risques industriels.

La CNT dispose d'un camion de lutte contre les incendies de grande ampleur. Cet équipement est à disposition au Service Régional d'Incendie situé face à la CNT. Tous les locaux abritant des réservoirs de fuel sont équipés d'une détection d'incendie et d'un système d'extinction par sprinklage.

Profitant de deux bâtiments inoccupés suite à la construction du bâtiment SF2¹²⁹, la section responsable de la prévention et protection incendie bénéficie depuis début 2021 d'une nouvelle caserne. Cette nouvelle base de vie permet de gagner en efficacité grâce à son organisation et la centralisation du matériel : les véhicules d'intervention (autopompe, pick-up, véhicule logistique et remorques spécifiques), le matériel dédié à la gestion des incidents

conventionnels (accident de personnel, incendie, pollution, etc.) et un laboratoire de masques pour assurer l'entretien et le contrôle des protections respiratoires adaptés aux risques spécifiques.

La Centrale de Tihange possède une équipe de pompier interne, présente 24h/24 sur site. En cas d'incident, ils interviennent en collaboration avec les équipes d'exploitation (formées comme équipier de première intervention) et avec les secours externes (la caserne pompier de la zone de secours HEMECO¹³⁰ est située en face de la Centrale). Une convention lie la Centrale nucléaire de Tihange avec la zone de secours HEMECO, ce qui permet le développement d'une collaboration opérationnelle rapprochée (formations, exercices conjoints, partage d'expériences, etc.) entre l'équipe ESI et la sécurité civile.

Au vu de toutes les mesures de prévention et les moyens de lutte contre l'incendie mis en place au niveau de la centrale de Tihange et en considérant que ces mesures et moyens resteront en place jusqu'au démantèlement de Tihange 3, il est estimé que la prolongation de l'exploitation de cette unité jusqu'en 2037 ne présente pas de risques supplémentaires, d'autant que ces risques sont maîtrisés.

6.6.4.3 Effets (évités) sur la santé d'une coupure d'électricité.

La prolongation de la durée de vie de Tihange 3 vise à garantir la sécurité d'approvisionnement, en prévision d'une situation dans laquelle cette garantie pourra être obtenue en utilisant d'autres sources d'énergie.

La prolongation de la durée de vie réduit donc considérablement le risque de coupure d'électricité (et les effets associés sur la santé). Les coupures d'électricité peuvent en effet entraîner des coûts économiques et sociétaux potentiellement importants.

Dans une étude menée en 2014 par le Bureau fédéral du Plan, une évaluation quantitative de l'effet des coupures d'électricité en Belgique a été réalisée, sur la base d'un modèle autrichien (Black-out Simulator). Une panne d'électricité d'une heure sur le territoire belge pendant une journée de travail, à un moment où toutes les entreprises belges sont actives, causerait un préjudice socio-économique total d'environ 120 millions d'euros (en hiver comme en été). Certaines méthodes alternatives ont également été calculées et ont abouti à une fourchette comprise entre 61 millions d'euros (« méthode du PIB ») et 278 millions d'euros (« méthode du RTE »). Le préjudice économique mentionné comprend le préjudice subi par les ménages, qui ne s'élève cependant qu'à « seulement » 8 millions d'euros par heure. Le secteur industriel représente la part la plus importante du coût total avec 49 % ; le secteur tertiaire représente quant à lui environ 40 % du coût. Le modèle utilisé a également permis la répartition spatiale des dommages calculés. Il en est ressorti que la province d'Anvers enregistre de loin la plus grande perte (24,74 millions d'euros, soit près de 21 % du total), suivie de loin par la Région de Bruxelles-Capitale (15,67 millions d'euros, soit 13 %).

Il est important de noter que cette estimation a toujours été basée sur une interruption d'une heure. L'impact d'une panne de deux heures n'est pas nécessairement double. Les chiffres du simulateur l'indiquent également : les dommages d'une panne de deux heures pour l'ensemble de la Belgique s'élèvent à « seulement » 170 millions d'euros (soit 42 % de plus qu'une panne d'une heure). Cependant, plus une perturbation dure longtemps, plus ses effets augmentent linéairement avec le temps, et après environ 8 heures, les dommages augmentent de façon exponentielle. Une panne de plus de 8 heures peut être considérée comme une situation de catastrophe : le nombre et surtout la gravité des conséquences seront alors difficiles à surveiller (et à estimer).

Il est évident que les pertes économiques ci-dessus impliquent également des risques pour la santé.

Les pannes de courant peuvent affecter le fonctionnement des services d'urgence. Tous les hôpitaux disposent de systèmes d'alimentation électrique de secours pour prendre en charge les activités les plus critiques telles que les salles d'OP, les unités de soins intensifs, les salles d'urgence, etc. Selon l'établissement, les systèmes d'alimentation électrique de secours peuvent ne pas être en mesure de prendre en charge certains autres services, notamment rayons x, climatisation, refroidissement, ascenseurs, etc. De plus, des problèmes techniques peuvent survenir

avec les générateurs auxiliaires, comme en témoigne la coupure d'électricité de New York en 1977. Certains hôpitaux ont eu des difficultés à mettre les générateurs en ligne et ont été confrontés à la surchauffe de générateurs.

Les facteurs qui déterminent cet effet comprennent notamment des paramètres directs, comme la durée ou la fréquence, et d'autre part des paramètres contextuels, comme la température extérieure et l'échelle. Des problèmes de sûreté apparaissent également en cas de panne de courant, mais ils ne font pas l'objet de la discipline Santé. Des problèmes de sûreté classiques peuvent survenir dans les hôpitaux, les ascenseurs, les embouteillages, etc.

Une importante étude (Domianni 2018) rapporte les effets sur la santé d'une coupure d'électricité, basée sur trois événements. Dans deux des trois coupures d'électricité, le contexte est aussi déterminant ; les coupures d'électricité ont eu lieu pendant une canicule. Les effets basés sur cette étude comprennent des problèmes respiratoires et probablement une augmentation de la mortalité. Les coupures d'électricité pendant les vagues de chaleur peuvent entraîner des insuffisances rénales. En cas de froid extrême, cela conduit à des causes plus générales de décès et de maladies cardiaques.

Casey et al. (2020) concluent, sur la base d'une méta-analyse complète, que les pannes de courant ont des impacts importants sur la santé allant de l'empoisonnement au monoxyde de carbone, des maladies liées à la température, des maladies gastro-intestinales et de la mortalité aux hospitalisations toutes causes confondues, cardiovasculaires, maladies respiratoires et rénales, en particulier pour les personnes dépendantes d'équipements médicaux dépendants de l'électricité.

Il est donc évident que la réduction du risque de coupures d'électricité associées au projet réduit également le risque d'effets négatifs associés sur la santé, et peut donc être évaluée positivement.

6.6.5 Évaluation des effets politiques

Il y a maintenant lieu d'évaluer si les effets décrits ci-avant peuvent contribuer à l'atteinte ou non des objectifs politiques.

L'objectif pertinent et prédominant pour cette thématique est d'assurer la sécurité de la population. Dans la mesure où la centrale de Tihange est un établissement Seveso et, par conséquent, est soumise à une réglementation stricte, notamment en termes de prévention incendie, de prévention d'accidents majeurs et les effets dominos liés et d'inspections annuelles, il est estimé que la poursuite de ses activités pour une période de 10 ans n'entrave pas l'atteinte de l'objectif politique principal de cette thématique. Des effets psychosomatiques ne sont pas non plus attendus. On peut en revanche parler d'un effet positif sur la santé à maintenir Tihange 3 ouvert plus longtemps, dans la mesure où le risque de coupure d'électricité et les effets potentiels sur la santé qui y sont associés sont considérablement réduits.

6.6.6 Mesures d'atténuation

Aucune mesure d'atténuation n'est proposée au niveau du projet, si ce n'est de vérifier le statut Seveso du site suite à l'arrêt de Tihange 1 et 2. Dans le cas où la centrale ne serait plus classée comme établissement Seveso et, par conséquent, plus soumise à la réglementation, une attention particulière devra néanmoins toujours être portée sur la prévention des accidents et incidents afin de garder la maîtrise sur les éventuels risques en termes de sécurité pour la population (le niveau actuel de sécurité doit être conservé, même si le site n'est à terme plus SEVESO).

6.6.7 Lacunes dans les connaissances

Pour l'évaluation des impacts de cette thématique, aucune lacune dans les connaissances n'est à signaler. L'octroi du permis à la centrale de Tihange, établissement Seveso seuil bas, ainsi que les inspections régulières effectués par la cellule RAM nous indique que la centrale respecte les contraintes légales et que les éventuels risques d'accidents majeurs sont maîtrisés.

6.7 Effets transfrontières

La plupart des effets non radiologiques attribuables au report de la désactivation de Tihange 3 se limitent aux environs immédiats de la centrale nucléaire. Ils sont d'une ampleur limitée et n'entraînent dès lors pas d'effets transfrontières.

Seul le rejet d'eaux de refroidissement, influençant la température de la Meuse, pourrait avoir un impact sur une plus longue distance. Cependant, au vu des données de température de la Meuse au niveau de la dernière station de mesure avant les Pays-Bas, l'influence du rejet de l'eau de refroidissement peut être considéré comme négligeable (dépassements de 25°C moins nombreux et aucun dépassement de 28 °C en moyenne journalière recensé ces 3 dernières années).

Il convient de noter que plusieurs effets transfrontières ne peuvent être exclus dans la situation de référence si la désactivation n'est pas reportée. L'importance et la nature de ces effets transfrontières dépendront dans une large mesure des endroits où la capacité de remplacement (théorique) est prévue, des caractéristiques techniques de ces installations et de leurs caractéristiques d'autorisation.

7 Effets radiologiques Tihange 3

7.1 Rayonnement direct et rejets en fonctionnement normal

7.1.1 Situation actuelle

Comme évoqué dans la méthodologie générale (§ 2.3.3), l'exposition potentielle aux rayonnements pour l'homme et l'environnement en fonctionnement normal est liée au rayonnement direct et aux rejets gazeux et liquides des effluents contenant certaines concentrations de radioactivité. Nous décrivons ici la situation actuelle pour CN Tihange.

Rayonnement direct

Le réseau TELERAD exploité par la FANC-AFCN mesure en continu le rayonnement présent dans l'environnement (voir § 2.3.5). Pour le site de CN Tihange en particulier, le réseau TELERAD est constitué de 20 stations annulaires placées le long du périmètre du site et d'environ 15 stations dans une zone plus large autour de CN Tihange (stations d'agglomération). Les stations annulaires sont des stations spectroscopiques qui enregistrent non seulement le débit de dose, mais aussi les spectres gamma (ils mesurent également l'énergie du rayonnement gamma). Cela permet d'identifier les radionucléides spécifiques/typiques liés à l'exploitation de CN Tihange s'ils sont présents. Toutes les stations relèvent le débit de dose (taux d'équivalent de dose ambiant $H^*[10]$), effectuent des relevés précis à des débits de dose fortement accrus (situations accidentelles) et sont capables de relever avec précision les niveaux de fond, lesquels permettent d'observer la variation du rayonnement de fond naturel au fil du temps (par exemple s'il y a suffisamment de neige, un débit de dose plus bas sera mesuré en raison de la protection contre le rayonnement naturel provenant du sol) et d'estimer la dose annuelle de rayons gamma externes à l'emplacement de chaque station.

Outre le rayonnement naturel de l'environnement, les stations annulaires peuvent capturer le rayonnement direct émis par la radioactivité sur et le rayonnement provenant du site ainsi que celui des rejets radioactifs. La Figure 92 présente la dose annuelle¹³¹ enregistrée par les stations annulaires. Le Tableau 86 indique les données pour toutes les années considérées. On voit que les valeurs moyennes varient entre 0,72 et 1,00 mSv par an pour les différentes stations annulaires. Ces valeurs correspondent aux valeurs typiques du rayonnement de fond dans la région de Huy en Wallonie, qui est de l'ordre de 0,85-0,95 mSv/an (0,3 mSv/an rayonnement cosmique et 0,55-0,65 mSv/an rayonnement terrestre). Les variations peuvent être attribuées à la radioactivité naturelle à proximité immédiate de chaque station. Étant donné que ces stations relèvent le rayonnement tant naturel qu'artificiel, il ne peut être exclu qu'une contribution, pourtant très faible et s'inscrivant dans les variations du fond naturel, provienne de l'exploitation de CN Tihange.

Dans tous les cas, ces relevés montrent que la dose de rayonnement externe est bien inférieure à la limite légale de 1 mSv/an et ne peut être distinguée des variations locales du fond naturel.

¹³¹ La dose annuelle moyenne a été calculée pour chaque station annulaire Telerad en déterminant le débit de dose moyen à partir des données sur 10 minutes pour chaque année de la période et en multipliant cela par un facteur ($365,25 \times 24$) pour le nombre moyen d'heures dans une année, et en prenant ensuite la moyenne sur les différentes années.

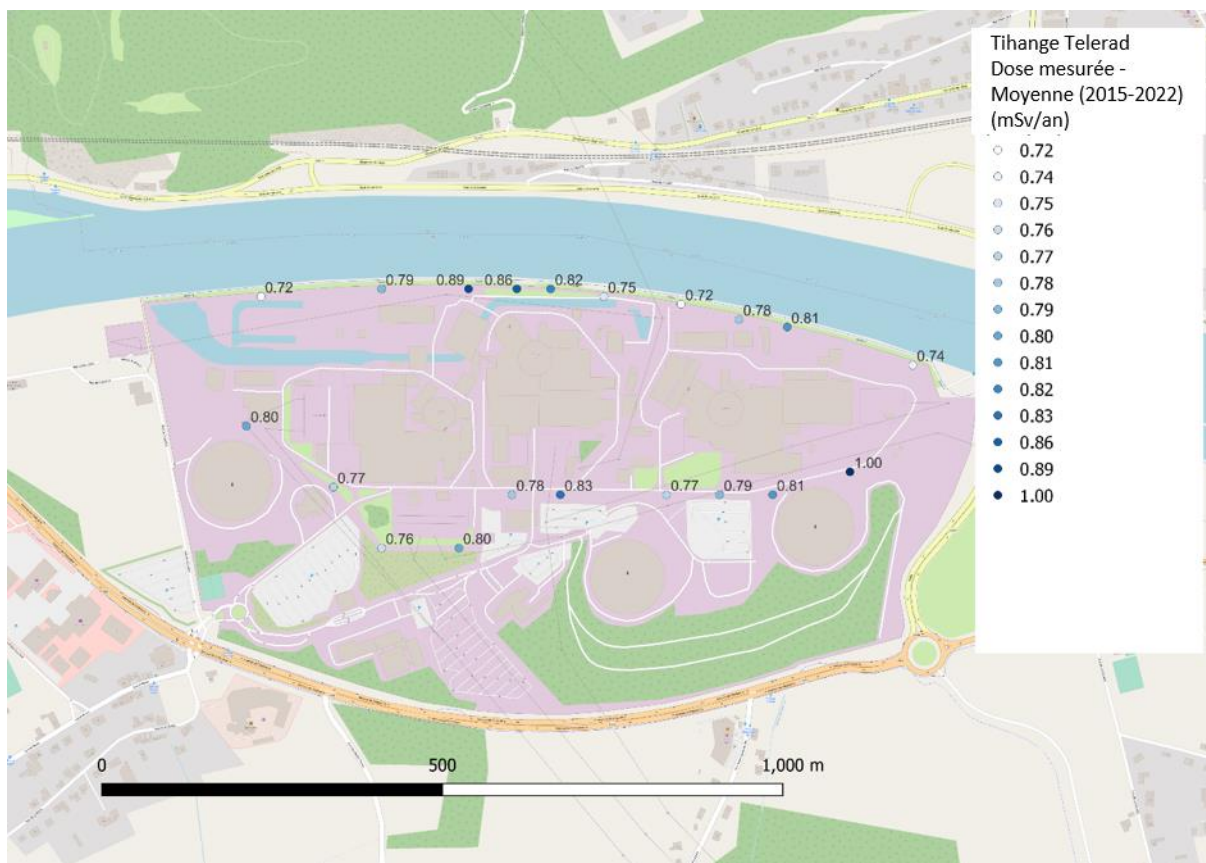


Figure 92 : Dose annuelle en mSv (moyenne sur la période 2015 jusqu'à 2022 inclus) mesurée par les stations Telerad exploitées par la FANC-AFCN autour du site de CN Tihange (Figure basée sur les données 10 minutes obtenues auprès de la FANC-AFCN).

Tableau 86 : Dose annuelle en mSv de rayonnement externe enregistrée par les 20 stations Telerad autour du site de CN Tihange (Données basées sur les données FANC-AFCN 10 minutes). La moyenne et l'écart type sont également donnés.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	moyenne	dose rayonnement	de
BE501	0,790	0,796	0,793	0,809	0,807	0,811	0,778	0,777	0,795	0,013	
BE502	0,757	0,770	0,753	0,781	0,780	0,762	0,757	0,752	0,764	0,011	
BE503	0,781	0,784	0,781	0,782	0,764	0,760	0,758	0,763	0,772	0,011	
BE504	0,790	0,817	0,818	0,807	0,818	0,796	0,783	0,784	0,802	0,014	
BE505	0,748	0,725	0,755	0,754	0,706	0,697	0,693	0,695	0,722	0,026	
BE506	0,817	0,782	0,792	0,807	0,802	0,774	0,777	0,768	0,790	0,016	
BE507	0,967	0,860	0,878	0,918	0,899	0,885	0,871	0,853	0,891	0,035	
BE508	0,917	0,858	0,853	0,889	0,857	0,832	0,850	0,838	0,862	0,026	
BE509	0,848	0,820	0,823	0,843	0,823	0,832	0,801	0,793	0,823	0,018	
BE510	0,804	0,766	0,774	0,766	0,760	0,725	0,725	0,719	0,755	0,028	

BE511	0,757	0,732	0,733	0,732	0,699	0,696	0,696	0,696	0,718	0,022
BE512	0,753	0,752	0,749	0,751	0,798	0,825	0,827	0,822	0,785	0,034
BE513	0,826	0,803	0,802	0,820	0,825	0,825	0,790	0,784	0,809	0,016
BE514	0,749	0,738	0,740	0,750	0,752	0,754	0,729	0,726	0,742	0,010
BE515	1,201	0,965	0,880	1,111	1,154	1,041	0,828	0,809	0,999	0,141
BE516	0,815	0,824	0,819	0,820	0,821	0,805	0,809	0,806	0,815	0,007
BE517	0,788	0,797	0,801	0,803	0,806	0,807	0,781	0,774	0,795	0,012
BE518	0,807	0,749	0,752	0,753	0,764	0,795	0,791	0,784	0,774	0,021
BE519	0,820	0,832	0,837	0,847	0,845	0,840	0,815	0,815	0,831	0,012
BE520	0,781	0,777	0,778	0,786	0,784	0,788	0,785	0,781	0,783	0,004

Dans le cadre d'un exercice de plan d'urgence nucléaire, le 8 juin 2021, en collaboration entre le SCK CEN, l'IRE, la Défense, la FANC-AFCN et en concertation avec l'exploitant de CN Tihange, un vol en hélicoptère a été effectué au-dessus de CN Tihange et de ses abords plus larges avec des équipements radiologiques à bord spécifiquement destinés à cartographier la contamination après un accident. Ces équipements, composés de 4 détecteurs de NaI(Tl) de 4 litres, sont aussi suffisamment sensibles pour détecter des variations du fond naturel ou pour détecter des sources artificielles de radioactivité. Les résultats de ces mesures figurent dans la Figure 94 : Distribution des débits de dose pour tous les relevés effectués au-dessus de CN Tihange et de ses abords plus larges (7 km x 7 km). Seul un très petit nombre de relevés révèlent des valeurs supérieures à 0,100 $\mu\text{Sv/h}$. Cette Figure est le résultat de 2 vols : un vol en trajectoires parallèles suivant la vallée de la Meuse et un vol avec des trajectoires perpendiculaires à la vallée de la Meuse. La Figure illustre le débit de dose en $\mu\text{Sv/h}$ ($\mu\text{Sv/heure}$) chaque seconde le long de la trajectoire de l'hélicoptère, corrigé pour la hauteur au-dessus du terrain, qui varie fortement en raison de l'emplacement de CN Tihange dans la vallée de la Meuse. La correction pour la hauteur au-dessus du sol assure que le débit de dose obtenu est représentatif de l'exposition au sol par rayonnement externe, éventuellement pour une valeur moyenne sur la surface d'un cercle dont le rayon correspond approximativement à la hauteur à laquelle l'hélicoptère survole le sol, car les équipements de mesure de l'hélicoptère détectent le rayonnement provenant de différentes directions. La hauteur de vol typique est de 150 mètres.

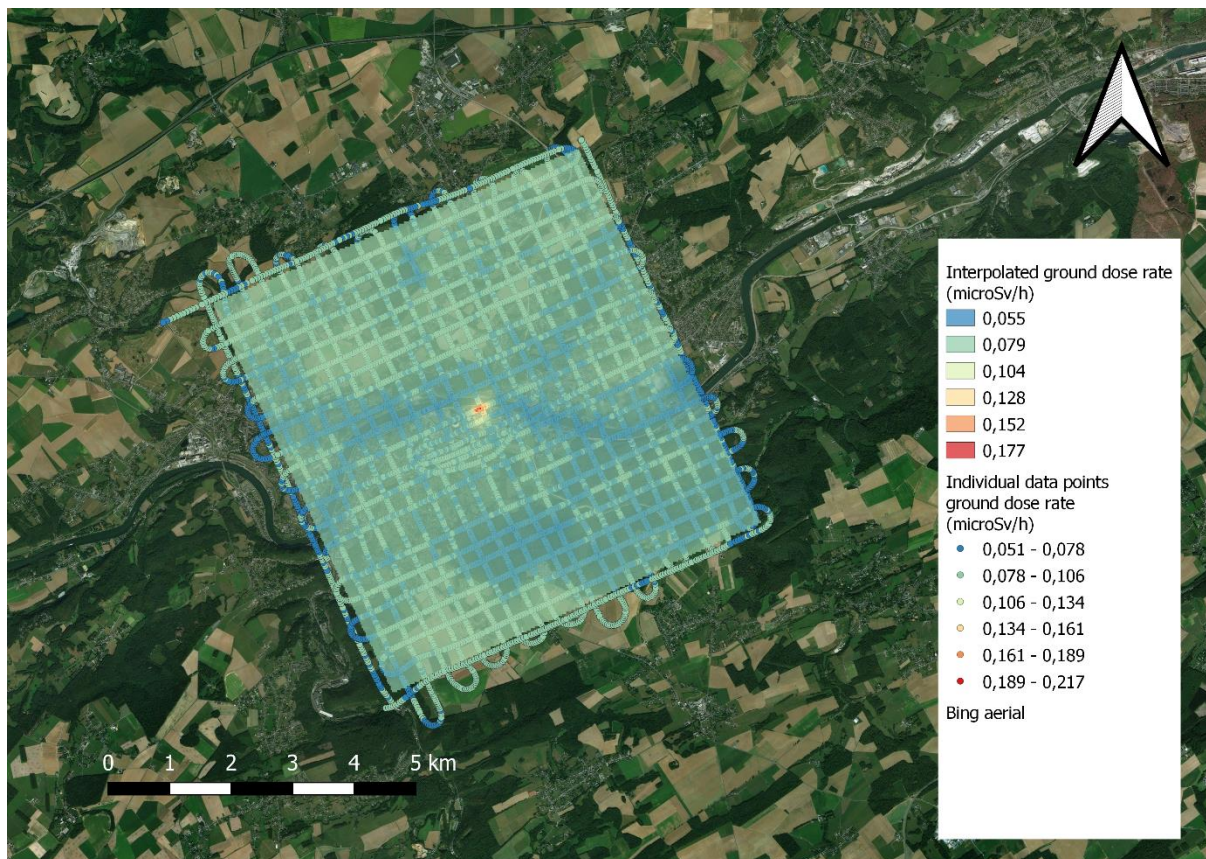


Figure 93 : Débit de dose en microSv par heure ($\mu\text{Sv/h}$) au sol déterminé sur la base de relevés en hélicoptère après correction de l'altitude au-dessus de CN Tihange et de ses abords plus larges. L'échelle et les couleurs ont été choisies pour mettre en évidence des différences minimales de débit de dose, par exemple on reconnaît clairement le cours de la Meuse, en raison des niveaux de radioactivité naturelle plus faibles mesurés au-dessus de l'eau. Une petite élévation est visible au-dessus de CN Tihange : voir aussi Figure 95 et texte).

Le débit de dose varie sur l'ensemble de la région où s'est déroulé le vol de l'hélicoptère, y compris le site de CN Tihange, entre $0,050 \mu\text{Sv/h}$ et $0,217 \mu\text{Sv/h}$, mais à l'exception d'un petit nombre de relevés (au-dessus du site de CN Tihange et dont nous reparlerons plus loin) tous les résultats sont compris entre $0,05 \mu\text{Sv/h}$ et $0,10 \mu\text{Sv/h}$ (Figure 94). Cela correspond à une dose de rayonnement externe de $0,44 \text{ mSv}$ à $0,88 \text{ mSv/an}$ si l'on considère les valeurs relevées par hélicoptère comme représentatives pour une année complète. L'étalement est un peu plus grand par rapport aux relevés Telerad, ayant plus de valeurs surtout du côté inférieur. Cela est dû en grande partie au fait que l'eau (la Meuse) contient des concentrations naturelles de radioactivité plus faibles que le sol et que la Meuse est toujours dans le champ de vision des détecteurs de rayonnement de l'hélicoptère au-dessus de la zone de la vallée de la Meuse (également clairement visible dans la Figure 93). Par ailleurs, il s'agit ici de données mesurées sur 1 seconde seulement, alors que les données TELERAD sont des moyennes sur plusieurs années. Il ne pleuvait pas au moment des relevés en hélicoptère et les trois réacteurs étaient en utilisation pour la production d'électricité au moment du vol. La plage de valeurs est cohérente avec les valeurs de fond typiques, à l'exception de la hausse limitée mesurée au-dessus du site de CN Tihange (voir ci-dessous). L'échelle et les couleurs utilisées sont choisies pour visualiser des différences mineures.

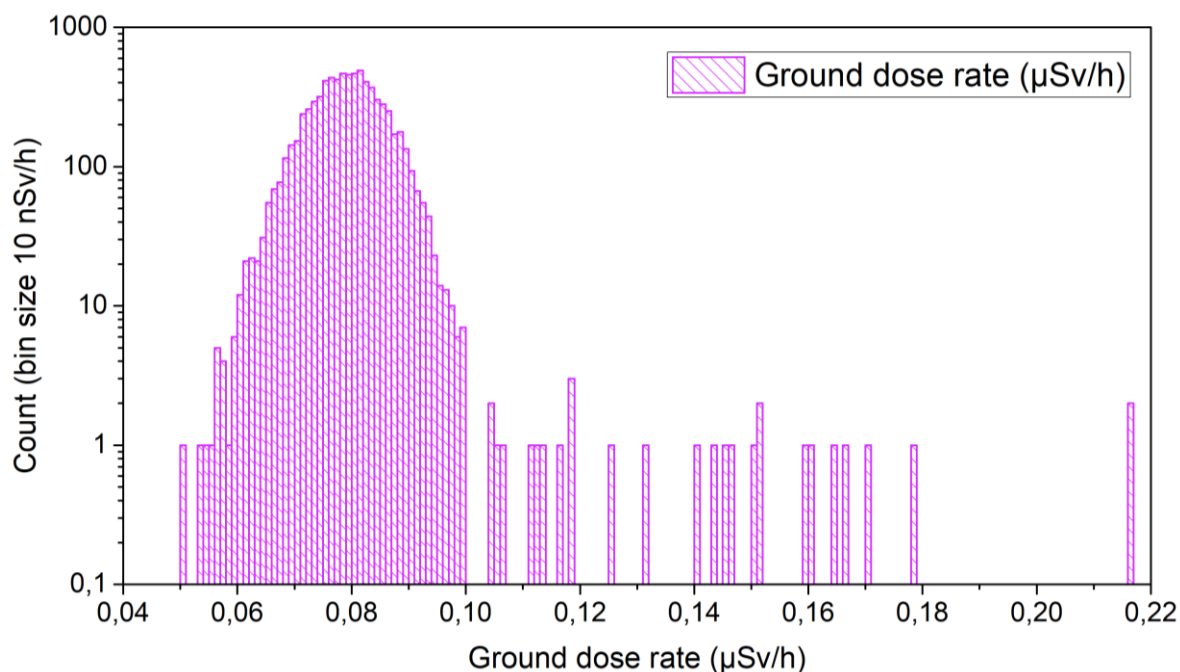


Figure 94 : Distribution des débits de dose pour tous les relevés effectués au-dessus de CN Tihange et de ses abords plus larges (7 km x 7 km). Seul un très petit nombre de relevés révèlent des valeurs supérieures à 0,100 $\mu\text{Sv/h}$.

Un nombre limité de relevés supérieurs à un débit de dose de 0,100 $\mu\text{Sv/h}$ ont été enregistrés. Ces valeurs ont été mesurées uniquement au-dessus du site du CN Tihange et plus précisément au-dessus d'un emplacement précis du site, à savoir un bâtiment appartenant à Tihange 2 où sont traités des déchets radioactifs (voir Figure 95). À cet endroit, il a également été possible d'établir sans équivoque sur la base de l'analyse de l'énergie du rayonnement mesuré (spectroscopie) que la hausse mesurée provient de la radioactivité artificielle liée aux activités sur le site de CN Tihange. La hausse du débit de dose visible lors du survol de ce bâtiment n'est cependant pas visible comme une nette augmentation à travers la station annulaire TELERAD qui est située à une courte distance de ce bâtiment. Cela signifie que le rayonnement est très bien blindé latéralement (pour les personnes au sol), mais le blindage est moindre vers le haut. On peut également constater que sur la majeure partie du site, y compris lors du survol des réacteurs, aucune augmentation par rapport au fond naturel n'est mesurable, les valeurs sur la plupart des parties du site ne sont pas supérieures à la valeur moyenne hors site.

Associés aux relevés TELERAD, ces relevés en hélicoptère montrent que la radioactivité et le rayonnement dans les différents bâtiments et sur le terrain de CN Tihange sont très bien blindés pour les personnes se trouvant dans la zone. La valeur mesurée est également bien inférieure à la valeur de référence de 10 $\mu\text{Gy/h}$ en dessous de laquelle l'impact sur l'environnement (faune et flore) est¹³² négligeable et est également inférieure à la plage de 3-30 $\mu\text{Gy/h}$ rapportée dans la publication 136 de la CIPR. Il n'y a donc pas d'effets nocifs pour les oiseaux susceptibles de séjourner sur le toit.

¹³² J. Garnier-Laplace & R. Gilbin (Eds.), *Derivation of Predicted No Effect Dose Rate values for ecosystems (and their sub-organisational levels) exposed to radioactive substances*, ERICA Deliverable D5, European Commission, 6th Framework, Contract N° FI6RCT-003-508847, 2006.

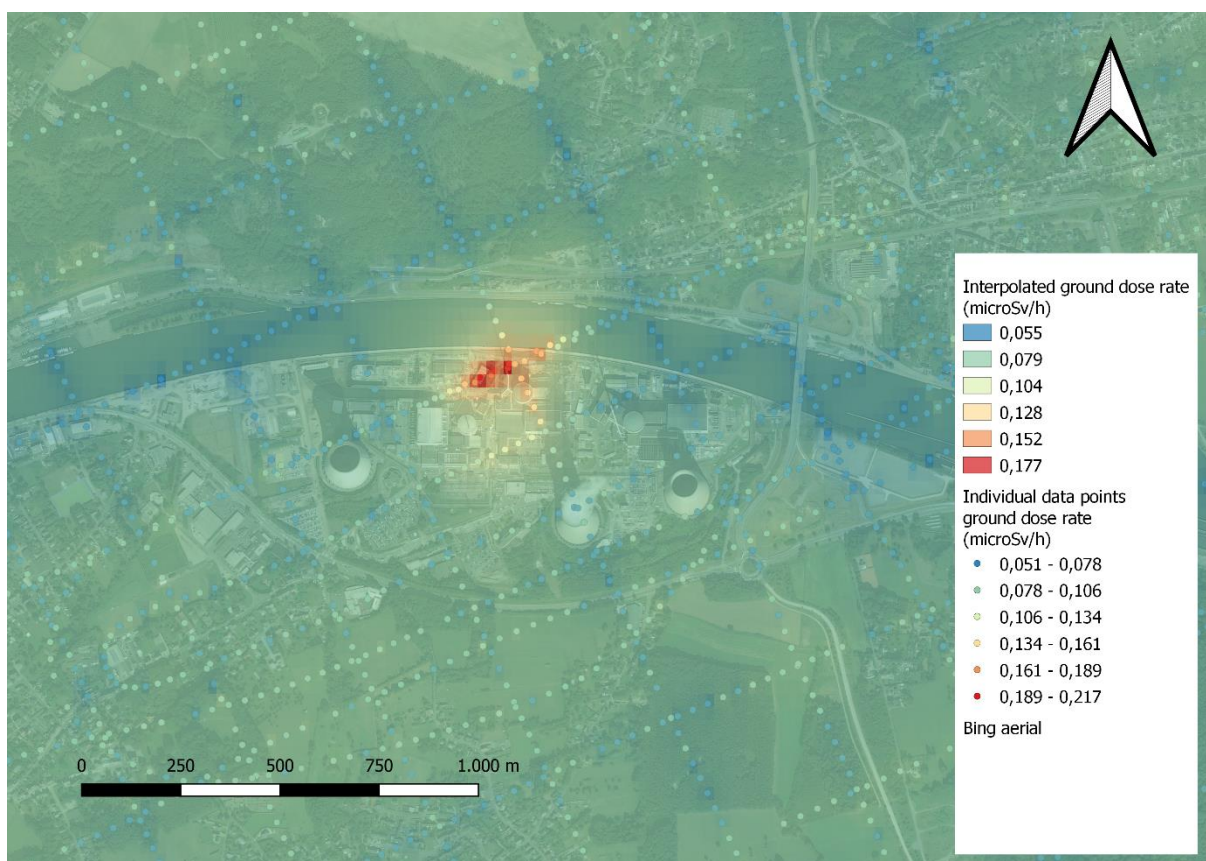


Figure 95 : Agrandissement des relevés en hélicoptère au-dessus du site de CN Tihange. Pour plus d'explications : voir le texte ; l'échelle et les couleurs ont été choisies pour mettre en évidence les différences mineures.

Rejets atmosphériques

Les rejets atmosphériques ont pour origine et/ou sont attribuables aux processus suivants :

- Déchets gazeux (GW)
 - Les dégazages du circuit primaire sont stockés dans des réservoirs de désintégration du système de traitement des gaz résiduels ; ceux-ci sont rejetés après une période de désintégration ;
- Bâtiment Réacteur (BR) ou espace annulaire (EA)
 - Évacuation du gaz initialement transféré du bâtiment du réacteur ou de l'espace annulaire par un système de purification de l'air ;
- Décharge intermittente (DIS)
 - Rejet intermittent, principalement involontaire ou forcé, qui se produit via une sortie de ventilation nucléaire. Il s'agit de rejets planifiés (à l'exception des rejets d'essai de l'I-131). Cette catégorie est utilisée pour les pics excédant les rejets continus dont l'origine est difficile ou impossible à déterminer ;
- Évacuation continue
 - Évacuation continue de diverses sources non contrôlables se produisant via la ventilation nucléaire ;

- Tests d'iode
 - Rejets d'I-131 pendant les tests d'iode. Tous les filtres à charbon sont périodiquement testés avec de l'iode radioactif, à savoir l'I-131.

Le Tableau 87 présente les limites de rejets pour l'ensemble du site de CN Tihange en activité totale annuelle (soit 12 mois glissants) pour les différents groupes de radionucléides et/ou les radionucléides individuels. L'exploitant doit également remettre mensuellement à la FANC-AFCN un aperçu des rejets. Par ailleurs, il existe également des limites d'exploitation spécifiques pour les concentrations instantanées des rejets pour les différentes tranches.

Tableau 87 : Limites de rejets atmosphériques pour l'ensemble du site de CN Tihange (licence d'exploitation CN Tihange).

Type	Limites de rejets - spécifications techniques
Gaz nobles	2.220 TBq
I-131	14,8 GBq
Aérosols (bêta-gamma et alpha)	111 GBq
Tritium	55,5 TBq

Il convient de noter que les rejets de carbone 14 (^{14}C) et d'argon 41 (^{41}Ar) ne sont pas surveillés, car ils sont difficilement mesurables et déterminés de manière prudente en fonction de la puissance du réacteur. Bien que seul l'iode 131 soit surveillé et fasse l'objet d'un rapportage, d'autres isotopes de l'iode, en particulier l'iode 133 (^{133}I), sont calculés sur la base des relevés de l'iode 131.

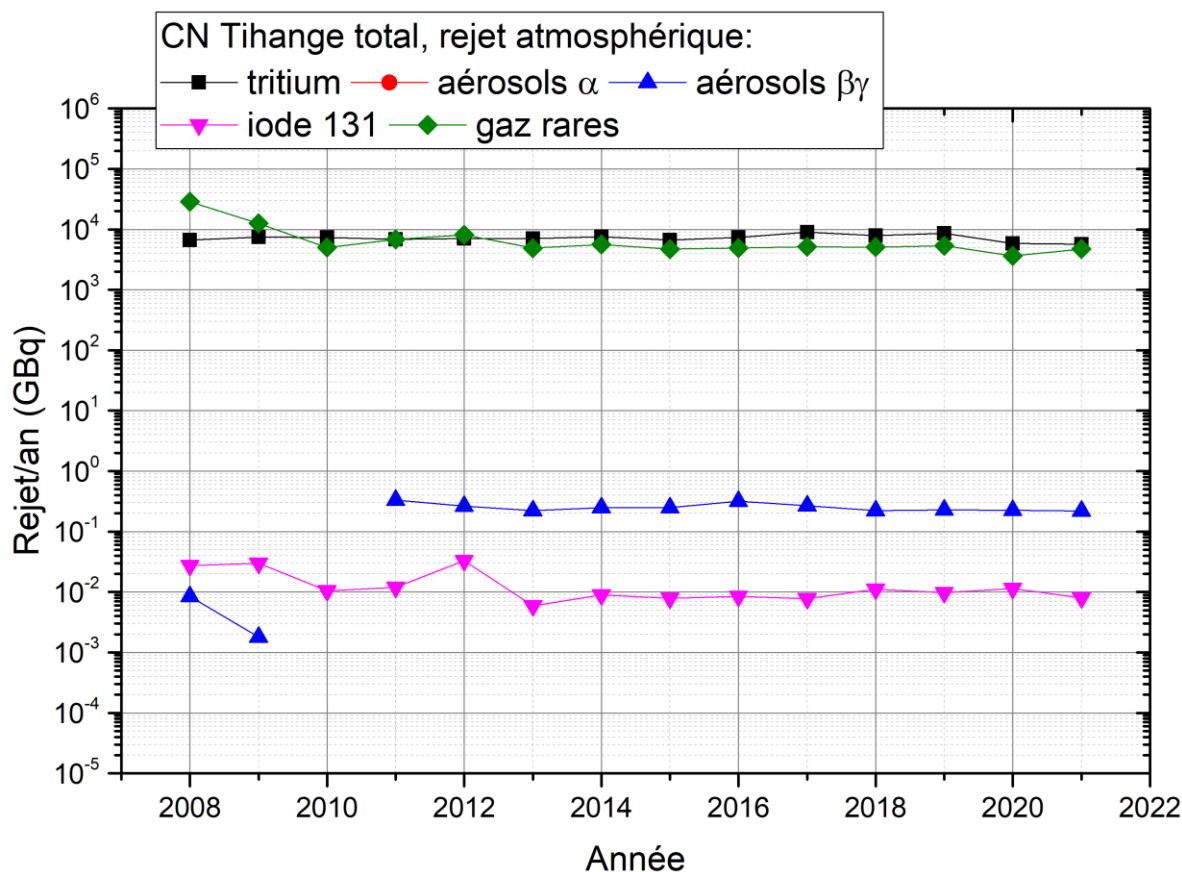


Figure 96: Rejets gazeux par an pour l'ensemble du site de CN Tihange¹³³.

Les rejets atmosphériques par an pour les différents groupes de radionucléides tels que rapportés aux autorités et mentionnés notamment aussi dans la base de données RADD de la Commission européenne (<https://europa.eu/radd/>) sont présentés dans la Figure 96 pour les années 2008-2021. Ces rejets sont les rejets atmosphériques pour l'ensemble du site de CN Tihange. Ils sont tracés sur une échelle logarithmique étant donné les différences importantes de rejets entre les différents groupes de radionucléides. L'augmentation apparente des valeurs à partir de 2011 des aérosols bêta-gamma est due à une nouvelle directive sur les rapports^{lxxxiii}. Toute activité rejetée inférieure à la limite de détection des chaînes de mesure est prise en compte avec prudence pour 25 % de la limite de détection dans le rejet. Les variations (hors saut en 2011 pour les aérosols bêta-gamma) dans les rejets atmosphériques par an sont dues aux variations du régime d'exploitation des réacteurs. La tendance globale est que les rejets sont constants sur une plus longue période.

Ces valeurs atmosphériques effectivement rejetées peuvent être vérifiées par rapport aux limites de rejets selon la licence d'exploitation de CN Tihange (comme indiqué dans le Tableau 87). Les résultats de cette comparaison sont présentés dans la Figure 97 en pourcentage de la limite de rejet par groupe, et ce pour la période 2012-2021. Les rejets atmosphériques réels ne représentent qu'une fraction des limites de rejets. Bien en dessous de 1 % des limites

¹³³ Toutes les informations sur les rejets des installations de Classe 1, y compris KC Doel, sont disponibles sur le site Web de la FANC-AFCN : <https://afcn.fgov.be/fr/professionnels/etablissements-nucleaires-classe-i/surveillance-des-rejets-radioactifs-de-classe-i>

de rejets pour la plupart des groupes de radionucléides. Pour le tritium, cela représente environ 13 % des limites de rejets.

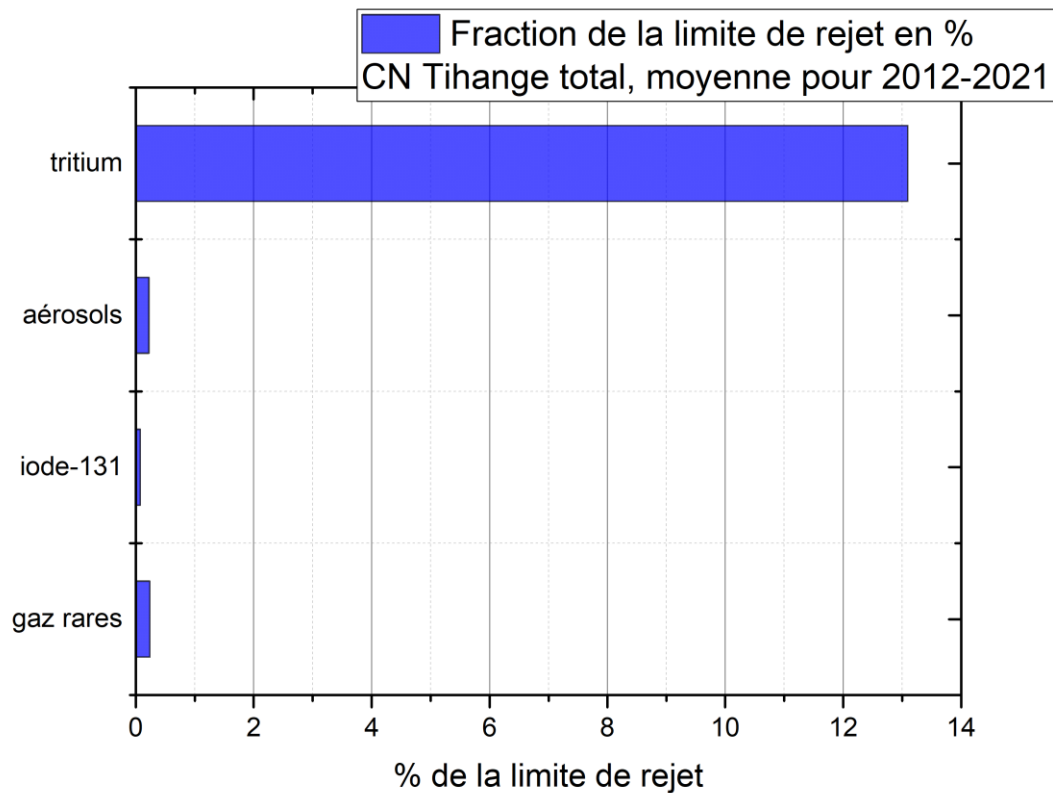


Figure 97 : Rejets en pourcentage de la limite de rejet pour différentes catégories de rejets gazeux pour l'ensemble du site de CN Tihange, moyennés sur 10 ans de 2012 à 2021.

L'impact (charge de dose) des rejets gazeux est analysé ci-dessous conjointement avec celui des rejets liquides. La Figure 98 illustre cependant l'importance du carbone 14 (C-14) pour la dose dans l'ensemble des rejets atmosphériques pour le site de CN Tihange. Le carbone 14, également radionucléide naturel, est responsable de plus de 90 % de la charge de dose résultant des rejets atmosphériques, et ce, pour toutes les catégories d'âge.

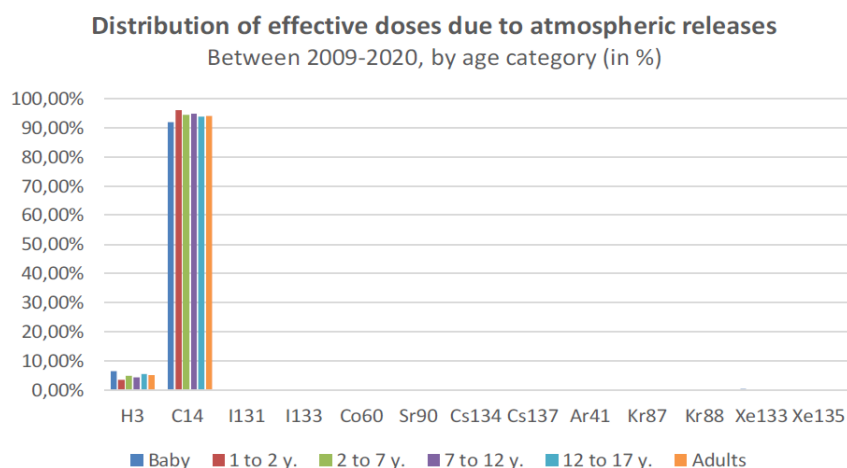


Figure 98 : Répartition de la dose efficace en pourcentage pour l'impact total de dose des rejets gazeux par catégorie d'âge et par radionucléide rejeté pour la période 2009-2020^{boxxii}.

Rejets liquides

Comme pour Doel 4, les effluents radioactifs liquides proviennent principalement des circuits de procédé, par exemple les circuits de traitement des eaux primaires de refroidissement des centrales nucléaires, et dans une moindre mesure des eaux usées de toutes natures générées, entre autres, lors de la décontamination des planchers, des équipements dans la zone nucléaire.

Les radionucléides les plus importants dans les effluents liquides sont les mêmes que pour Doel, à savoir le tritium sous forme d'eau tritiée, les émetteurs bêta, gamma notamment ^{58}Co , ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et les émetteurs alpha principalement ^{241}Am .

L'impact possible des rejets sur l'homme et l'environnement est évalué par la FANC-AFCN en prélevant régulièrement des échantillons d'eau, de sédiments, de plantes aquatiques, de poissons et de crustacés et en mesurant les niveaux de radioactivité (procès-verbaux disponibles sur <https://fanc.fgov.be/nl/publicaties/verslagen-van-het-radiologisch-toezicht-belgie>). Outre le programme de supervision de la FANC-AFCN, la centrale nucléaire de Tihange dispose également depuis 2012 d'un programme de surveillance limité, axé sur les bio-indicateurs tels que les plantes aquatiques et les mousses. Des échantillons de sol et de sédiments sont également prélevés, car ceux-ci peuvent accumuler des radionucléides.

Les rejets pour CN Tihange sont très inférieurs aux limites de rejets présentées dans le Tableau 88. Au cours de la période 2014-2021, moins de 3 % de la limite annuelle des émetteurs bêta et gamma ont été rejetés par le site (Figure 97). Les rejets de tritium sont également inférieurs à la limite annuelle et représentaient en moyenne 25 % de la limite annuelle sur la période 2014-2021. Pour les émetteurs alpha, moins de 0,2 % de la limite de rejets a été rejetée au cours de cette période.

Les rejets des émetteurs de tritium et bêta gamma dans la Meuse restent quasiment stables sur la période 2004-2021, tandis que les rejets des émetteurs alpha sont multipliés par 400 sur la période 2011-2012 avant de se stabiliser à nouveau (Figure 96). Les rejets de tritium représentent 99,9 % de l'activité rejetée (Tableau 88) et constituent la principale contribution à la dose (Figure 97). Pour le site de Tihange, les rejets liquides primaires sont les plus radioactifs. Cependant, ces effluents sont dilués avec les effluents « froids » des salles et locaux techniques, ainsi qu'avec les eaux condensées récupérées des tours de refroidissement. Le prétraitement réduit également la radioactivité. Aucun problème radiologique ne peut être signalé sur la base de ces résultats.

Tableau 88 : Limites de rejets des effluents liquides pour l'ensemble du site de CN Tihange.

Catégorie de radionucléide	
Tritium	147 TBq/an
Bêta et gamma (à l'exclusion du tritium et des gaz nobles dissous)	0,89 TBq/an
Émetteurs alpha	2,2 GBq/an

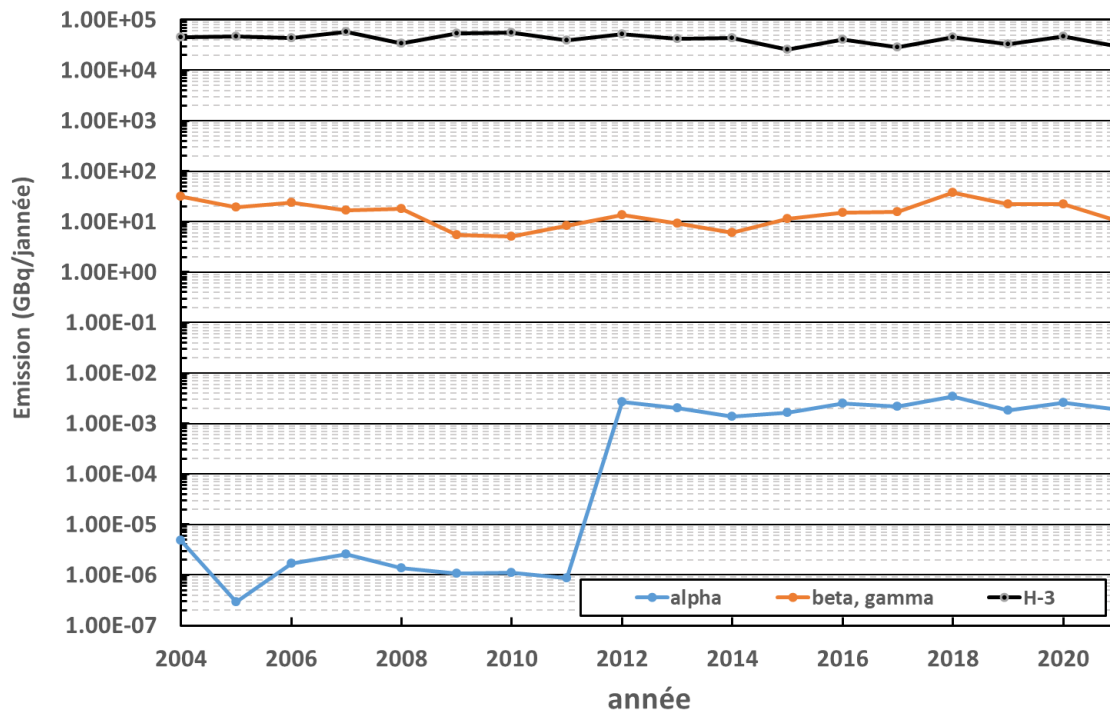


Figure 99 : Évolution des rejets liquides de la centrale nucléaire de Tihange dans la Meuse pour la période 2004-2021.^{lxvii}

Pour le calcul de la dose à la personne représentative suite aux rejets dans la Meuse, les voies d'exposition suivantes sont prises en compte ;

- Irradiation interne par :
 - Consommation d'eau de rivière comme eau potable ;
 - Consommation de poisson.
- Exposition externe en restant sur les berges, par la navigation, en restant sur un fond contaminé par des sédiments de lit dragués.
- Utilisation de l'eau du fleuve pour l'irrigation des cultures vivrières, de l'herbe et pour l'abreuvement du bétail.

La dose pour la personne représentative a également été calculée pour les six catégories d'âge, en tenant compte des valeurs de consommation mentionnées dans la directive de la FANC-AFCNi. Comme pour le calcul de la dose due aux rejets atmosphériques, une personne critique est supposée être présente en permanence sur le lieu d'exposition à la dose maximale et tirer sa nourriture d'une zone où le dépôt des radionucléides rejetés est maximal.

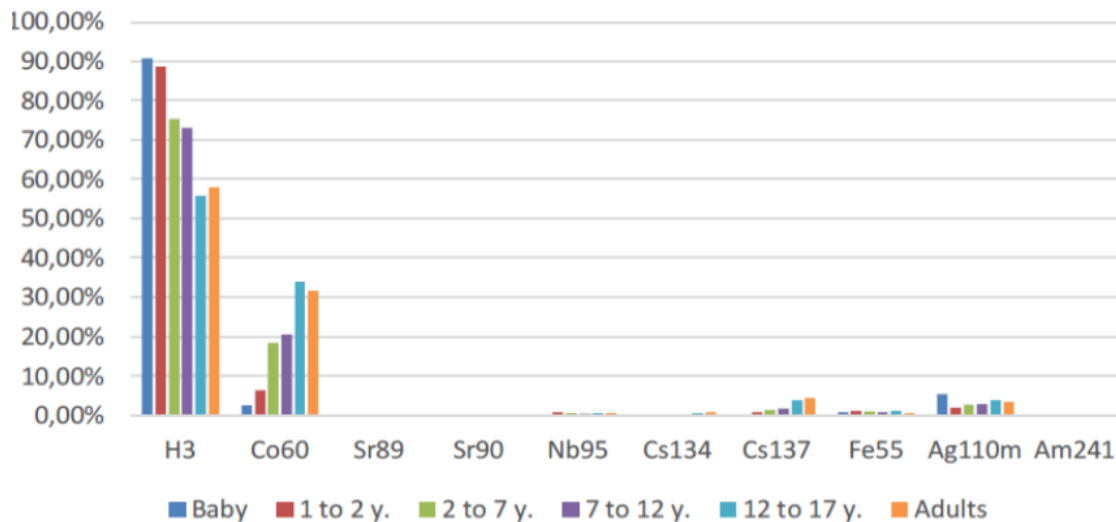


Figure 100 : Distribution de la dose efficace par radionucléide et catégorie d'âge suite aux rejets liquides dans la Meuse.

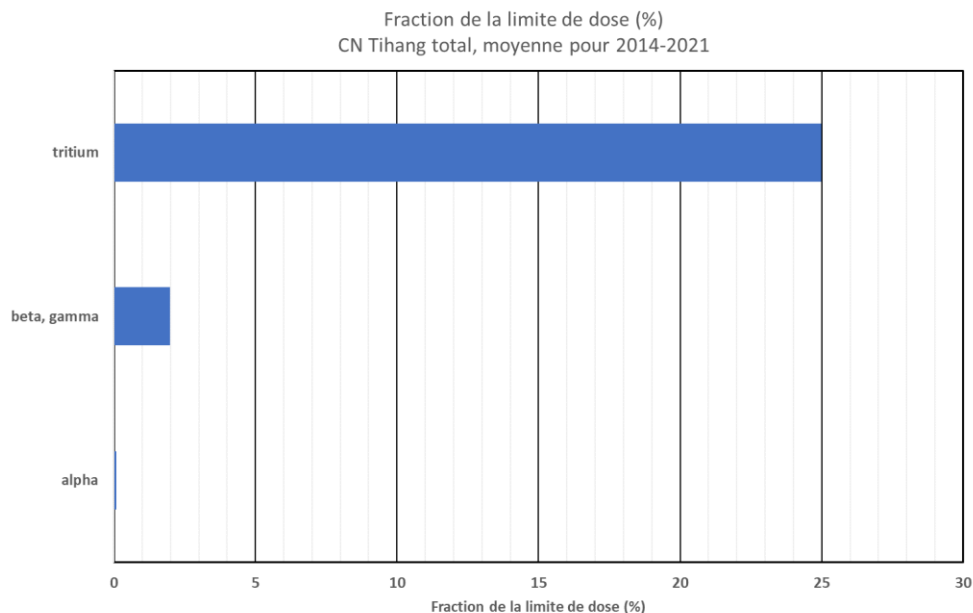


Figure 101 : Rejets liquides en % de la limite de rejet pour les rejets liquides en Meuse.

Relevés aux abords

Les relevés aux abords sont constitués du programme de supervision organisé par la FANC-AFCN et d'un programme de surveillance spécifique par l'exploitant. Par ailleurs, des relevés ad-hoc sont également disponibles lesquels sont réalisés dans le cadre de recherches scientifiques et/ou lors d'exercices liés à la préparation aux situations d'urgence. Le programme de supervision pour le territoire belge organisé par la FANC-AFCN, similaire pour les abords de Doel et Tihange, a déjà été abordé dans la partie méthodologie. Les résultats des relevés continus (TELERAD) et des relevés par hélicoptère ont déjà été donnés dans la description de la situation actuelle concernant l'exposition aux rayonnements directs à proximité de CN Tihange.

Les mesures discontinues (échantillonnage et analyse en laboratoire) autour de la CN Tihange déterminent les niveaux de radioactivité des particules dans l'air, les dépôts dans les bacs à dépôt (dépôts secs et humides), le sol

et l'herbe, l'eau et les sédiments, les plantes aquatiques, la mousse et les moules à proximité de la CN Tihange (en aval). Des prélèvements sont effectués comme point de comparaison en amont de Tihange à Andenne (et donc non impacté par les rejets) et en aval à Ampsin et Lixhe (frontière Belgique et Pays-Bas). Une description détaillée de ce programme (échantillons prélevés, fréquence, radionucléides analysés, etc.) peut être trouvée dans les rapports de synthèse annuels disponibles sur le site Web de la FANC-AFCN à partir de l'année 1996^{lxxxiv}. Les détails du programme de supervision de la FANC-AFCN lié à CN Tihange figurent dans le Tableau 89. Les échantillons sont prélevés en amont et en aval. L'eau de la Meuse après traitement est utilisée comme eau potable par une partie importante de la population belge et néerlandaise, c'est pourquoi le prélèvement d'échantillons et l'analyse des radionucléides sont assez poussés.

Tableau 89 : Programme de surveillance FANC-AFCN des abords de CN Tihange.

Compartiment	Type de relevé	Fréquence
Atmosphère – particule radioactive dans l'air	Spectrométrie gamma : ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb	toutes les 4 semaines
	Total bêta sur les filtres en papier après 5 jours de désintégration	quotidien
Atmosphère – dépôt de surface (sec et via les précipitations)	Spectrométrie gamma (eau non traitée) : ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{131}I Total bêta, total alpha, ^3H , ^{90}Sr (eau filtrée) Total bêta et total alpha (dépôts filtres)	toutes les 4 semaines
Sol – terre et l'herbe	Spectrométrie gamma : ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th	annuel
Meuse - eau	Spectrométrie gamma : ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{226}Ra , ^{131}I Total bêta, total alpha, ^3H , ^{40}K , ^{90}Sr	toutes les 2 semaines
Meuse – sédiments	Spectrométrie gamma : ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th	toutes les 4 semaines
Aval Meuse – plantes aquatiques, mousses, moules (Andenne, Ampsin, Lixhe) –	Spectrométrie gamma : ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th organique ^3H	trimestriel
Effluents (rejets liquides) du site nucléaire	Spectrométrie gamma : ^7Be , ^{51}Cr , ^{55}Fe , ^{95}Nb , ^{95}Zr , $^{101-106}\text{Ru}$, $^{141-144}\text{Ce}$, ^{131}I , ^{113}Sn , $^{123\text{m}}\text{Te}$, $^{124-125}\text{Sb}$, $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ Spectrométrie bêta : ^3H	toutes les 2 semaines

Outre le programme de supervision du territoire réalisé par la FANC-AFCN, l'exploitant de CN Tihange organise son propre programme de surveillance qui consiste en :

- Relevés des doses à l'aide de 18 détecteurs de thermoluminescence (DTL) placés au périmètre du site (un par secteur de 20°). Ils donnent la dose intégrée par rayonnement externe ;
- Un programme de surveillance complémentaire au programme de supervision de la FANC-AFCN, dans le cadre duquel des échantillons sont prélevés et analysés une fois par an. Pour CN Tihange, cela a commencé en 2012. Ce programme a une fréquence limitée par rapport au programme d'échantillonnage, mais d'une part, l'accent est mis entièrement sur les radionucléides artificiels potentiellement liés à l'exploitation de CN Tihange et d'autre part,

des échantillons spécifiques sont examinés comme ceux des bio-indicateurs, c'est-à-dire des organismes qui concentrent certains radionucléides en particulier et permettent ainsi de suivre les évolutions possibles dans le temps. Ce programme est présenté dans le Tableau 90 pour l'année 2021. Le programme a été quelque peu élargi au fil des ans avec des emplacements supplémentaires et un échantillonnage supplémentaire de sédiments à plusieurs reprises. Les sédiments sont désormais également prélevés au point de rejet (O1 sur la carte ci-dessous).

Tableau 90 : Programme de surveillance de l'exploitant

Échantillonnage spécifique	Lieu et fréquence	Spécifications de relevés
Bio-indicateur : écorce (lichens) Sol Herbe	Annuellement sur deux sites (S1 et S2) dans la direction dominante du vent et un site de référence (Ref T)	Spectroscopie gamma (^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I , ^{60}Co , ^{95}Nb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$), ^3H , ^{14}C (herbe, mousse)
Bio-indicateur aquatique (mousse, algues)	Annuellement sur deux sites S1, S4 (mousse aquatique) et S5 (algues) en aval et 1 site de référence (Réf A) en amont	Spectroscopie gamma (^{134}Cs -en ^{137}Cs -, ^{131}I , ^{60}Co , ^{95}Nb -, $^{110\text{m}}\text{Ag}$), ^3H , ^{14}C
Sédiment	Deux fois par an à 3 emplacements (O1, S1, S5) en aval	Spectroscopie gamma (^{134}Cs -en ^{137}Cs -, ^{131}I , ^{60}Co , ^{95}Nb -, $^{110\text{m}}\text{Ag}$),

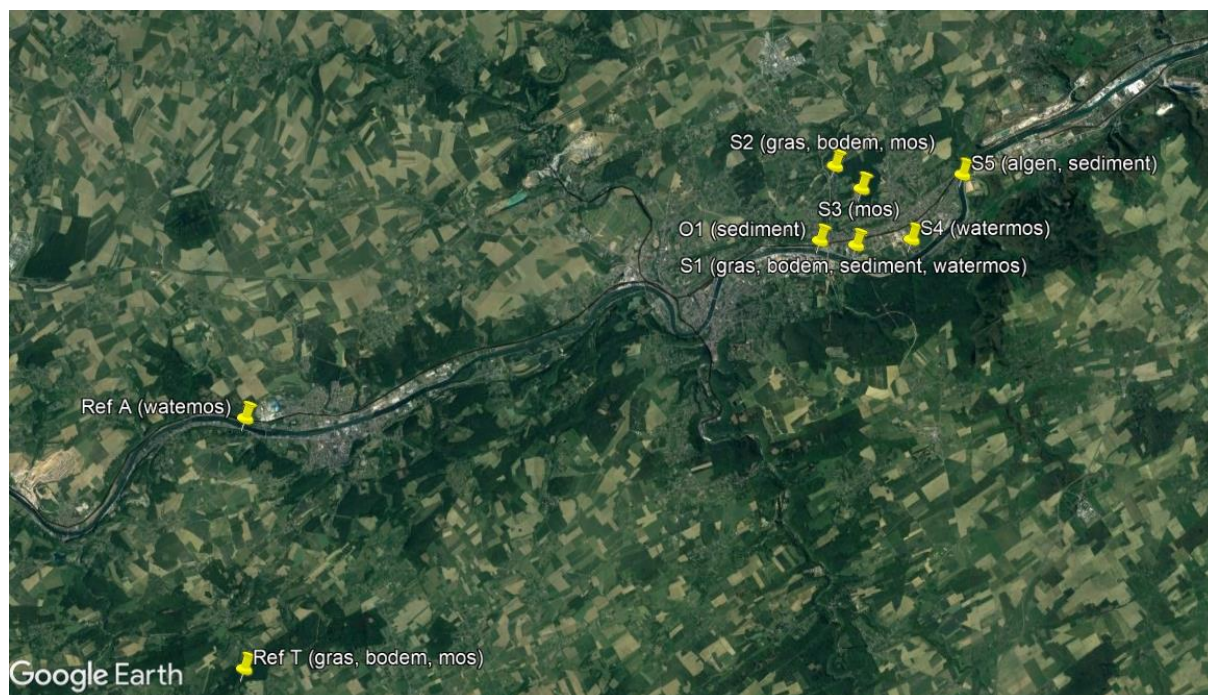


Figure 102 : Emplacements d'échantillonnage pour le programme supplémentaire réalisé par l'exploitant de CN Tihange (pour les noms, voir Tableau 90, fond de carte : Google Earth Map).

Le programme discontinu qui présente via l'échantillonnage et l'analyse en laboratoire une plus grande sensibilité pour détecter les radionucléides artificiels potentiels autour de CN Tihange, illustre, tout comme pour Doel, ce qui suit :

- primo, la forte prépondérance de la radioactivité naturelle (essentiellement ^{40}K) ;
- concernant la radioactivité artificielle, on peut mesurer des traces de Cs-137 dans le sol (3,8 Bq/kg en 2021¹³⁴) qui sont presque entièrement dues à l'accident de Tchernobyl et aux retombées des essais nucléaires dans l'atmosphère (qui ont atteint un pic dans les années 1960). Les concentrations mesurées dans la région de Tihange sont moyennes pour celles de la Belgique. En raison de différences de conditions météorologiques (pluie) lors du passage du nuage radioactif après l'accident de Tchernobyl, des différences spatiales peuvent être observées en Belgique ;
- Que les émetteurs alpha transuraniens artificiels (Pu et Am) ne sont pas mesurables de leur côté.

En conclusion, nous pouvons avancer que la centrale nucléaire de Tihange n'a pas d'impact radiologique mesurable significatif sur l'environnement par le biais de rejets atmosphériques ni sur la Meuse. Une analyse des résultats de mesure à proximité de CN Tihange est toujours représentative de toutes les activités sur le site. L'impact du réacteur Tihange 3 sera moindre. Cela signifie que les conclusions pour l'ensemble du site s'appliquent également en particulier à l'exploitation de Tihange 3.

Impact sur l'homme

L'état radiologique actuel et l'influence des activités du site de CN Tihange sont très bien caractérisés en combinant d'une part la surveillance des rejets associée aux calculs d'impact de dose, avec d'autre part la surveillance de la radioactivité et du rayonnement à proximité de CN Tihange.

D'une part, on peut s'intéresser à l'impact radiologique des limites autorisées de rejets pour l'ensemble de CN Tihange (3 tranches nucléaires¹³⁵ et toutes les infrastructures annexes) pour les rejets gazeux et liquides. La dose estimée avec prudence selon la méthodologie décrite au §2.3.3.3 est donnée dans le Tableau 91. Il s'agit de la dose efficace par an pour une personne représentative par catégorie d'âge. Pour rappel, une personne représentative est la personne la plus exposée, celle qui, entre autres, réside constamment (toute l'année) à proximité de la limite du site où l'impact est le plus élevé, et qui ne consomme que des aliments produits à proximité de la centrale nucléaire. La dose efficace maximale par an de rejets gazeux et liquides correspondant aux limites de rejets par an est d'environ 0,22 mSv pour l'individu critique, c'est-à-dire la personne représentative de la catégorie d'âge recevant la dose la plus élevée. Cette valeur est pour les adolescents, une dose efficace plus faible est trouvée pour toutes les autres catégories d'âge. C'est bien en deçà de la limite de dose efficace de 1 mSv/an pour le public. On voit que pour les limites de rejets il y a une variation particulièrement importante de la dose efficace par catégorie d'âge du fait des rejets liquides, ceci est principalement lié au régime alimentaire.

Tableau 91 : Dose efficace par an pour l'individu critique par catégorie d'âge de la personne résultant des rejets gazeux, liquides et totaux correspondant aux limites actuelles de rejets pour l'ensemble du site de CN Tihange.

Dose efficace en mSv/an pour les limites de rejets gazeux et liquides ; site CN Tihange pour les différentes catégories d'âge. La dose efficace totale maximale est indiquée en gras.						
	Nourrisson	1 à 2 ans	2 à 7 ans	7 à 12 ans	Adolescent (12-17 ans)	Adulte (> 17 ans)
Atmosphérique	0,134	0,185	0,145	0,132	0,143	0,130
Liquide	0,014	0,017	0,050	0,042	0,077	0,081
Total	0,148	0,202	0,195	0,174	0,220	0,211

¹³⁴¹³⁵ Étant donné que trois réacteurs étaient opérationnels sur le site du CN Tihange jusqu'au 31 janvier 2023 inclus et que nous ne disposons que de données disponibles avant l'arrêt définitif de Tihange 2, nous considérons ici CN Tihange avec 3 tranches opérationnelles.

¹³⁵ Étant donné que trois réacteurs étaient opérationnels sur le site du CN Tihange jusqu'au 31 janvier 2023 inclus et que nous ne disposons que de données disponibles avant l'arrêt définitif de Tihange 2, nous considérons ici CN Tihange avec 3 tranches opérationnelles.

Comme nous l'avons décrit précédemment, les rejets gazeux et liquides réels sont bien inférieurs aux limites de rejets et la dose réelle reçue par une personne critique du fait de l'exploitation de l'ensemble du site du CN Tihange est beaucoup plus faible. La dose efficace par an (moyenne sur les années 2012-2021) pour un individu critique des différentes catégories d'âge pour les rejets gazeux et liquides réels peut être trouvée dans le Tableau 92. La dose efficace la plus élevée trouvée pour les rejets réels est d'environ 0,045 mSv/an, l'individu critique se situe désormais dans la catégorie d'âge de 1 à 2 ans. On voit que la dose est principalement le résultat des rejets atmosphériques. Pour la période 2009 à 2020, la dose efficace totale est en grande partie, à plus de 90 %, issue du rejet de carbone 14.

Tableau 92 : Dose efficace de CN Tihange en mSv/an pour les rejets gazeux et liquides réels.

Dose efficace de CN Tihange en mSv/an pour les rejets gazeux et liquides réels pour la période 2009-2020 pour les différentes catégories d'âge. Le total est également donné et la dose maximale efficace est indiquée en gras.						
	Nourrisson	1 à 2 ans	2 à 7 ans	7 à 12 ans	Adolescent	Adulte
Atmosphérique	0,0125	0,0427	0,0283	0,0224	0,0219	0,0209
Liquide	0,0011	0,0022	0,0017	0,0014	0,0016	0,0016
Total	0,0136	0,0449	0,0300	0,0238	0,0235	0,0225

Si l'on regarde l'évolution de la dose efficace pour l'individu critique du fait des rejets gazeux et liquides, telle que rapportée à la FANC-AFCN, on constate qu'elle reste assez constante autour de la valeur précitée de 0,045 mSv/an (Figure 103). En 2020 et 2021, cependant, nous constatons une diminution significative. Celle-ci est due au fait que depuis 2019 le carbone 14 est mesuré directement à l'aide d'un tamis moléculaire placé directement sur la cheminée de Tihange 2, dans laquelle le carbone 14 est capturé. Les valeurs mesurées sont considérablement inférieures à celles estimées sur la base de calculs. Dans les analyses de 2020, les valeurs mesurées pour le carbone 14 ont donc été utilisées pour Tihange 2 et Tihange 3 (similaire à Tihange 2), tandis que les valeurs calculées (et donc supérieures) sont toujours utilisées pour Tihange 1. En utilisant les valeurs mesurées réelles pour le carbone 14, les doses efficaces en 2020 et 2021 sont donc nettement inférieures et un peu moins prudentes par rapport au passé. À partir de 2019, des relevés de tritium gazeux ont également été réalisés à Tihange 2. Les relevés semblaient également donner des valeurs nettement inférieures aux valeurs précédemment déterminées de manière prudente. Pour 2020 et 2021, les résultats de ces relevés de tritium ont également été utilisés dans la détermination de la dose efficace pour Tihange 2 et Tihange 3. On a pour Tihange 1, comme dans l'analyse pour le carbone 14, utilisé des valeurs calculées de manière prudente. Cependant, le tritium a une influence beaucoup plus faible sur la dose efficace totale par rapport au carbone 14.

Les calculs basés sur la surveillance des rejets montrent ainsi un impact maximal, c'est-à-dire une charge de dose efficace pour l'individu critique d'environ 0,045 mSv/an si l'on considère des valeurs calculées prudemment pour le carbone 14 et plutôt autour ou en dessous de 0,030 mSv/an si l'on utilise les valeurs mesurées des rejets de carbone 14 pour les tranches Tihange 2 et Tihange 3. Cette dose efficace calculée prudemment pour la personne la plus exposée est au moins 4,8 à 7,3 (selon la valeur de carbone 14 utilisée) fois inférieure à la dose selon les limites de rejets pour CN Tihange et 22 à 33 fois inférieure à la dose limite pour le public qui est de 1 mSv/an. Cela illustre également que le concept d'optimisation des doses pour l'exposition du public, l'un des piliers de la radioprotection et abordé au § 2.3.2, est appliqué dans l'exploitation du CN Tihange.

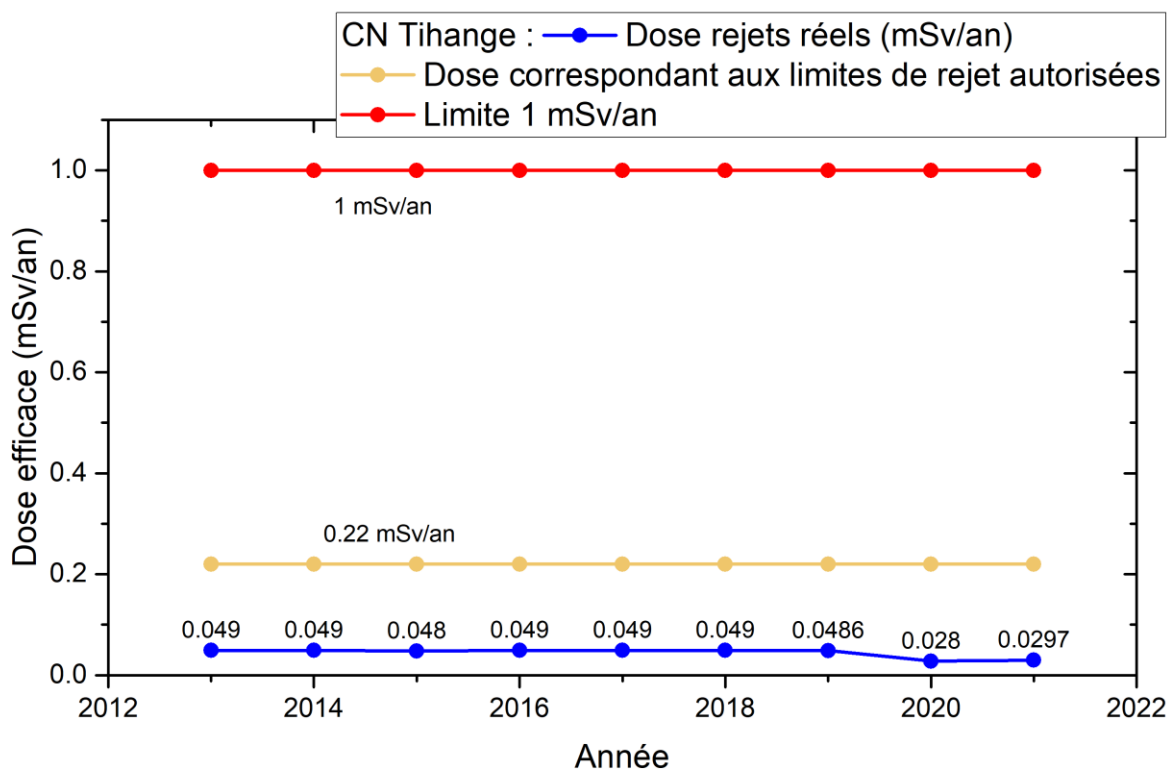


Figure 103 : Dose efficace pour l'individu le plus critique aux abords de CN Tihange calculée sur la base des rejets réels signalés^{lxvii}. À titre de comparaison, la dose limite pour le public et la dose correspondant aux limites de rejets sont indiquées.

La surveillance de l'environnement démontre également que CN Tihange n'a pas d'impact radiologique mesurable sur son environnement. L'exposition dans la région de Tihange est donc complètement dominée par l'exposition à la radioactivité naturelle, comme dans d'autres régions du pays. Par conséquent, l'exposition due aux rejets radioactifs est également beaucoup plus faible que les variations spatiales locales de la radioactivité naturelle et de l'exposition. La contribution très limitée de la radioactivité artificielle aux abords de CN Tihange provient principalement des retombées radioactives des essais de bombes atomiques en surface (1950-60) et de l'accident de Tchernobyl (1986).

Impact sur la biodiversité (faune et flore)

Parmi les radionucléides, à savoir ^{60}Co , ^{95}Nb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs pris en compte pour les sédiments fluviaux dans la campagne de surveillance complémentaire d'Electrabel SA, seules les concentrations en ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et ^{137}Cs sont supérieures à la limite de détection. Les concentrations mesurées pour les sédiments fluviaux sont faibles. Pour le ^{137}Cs , la concentration dans les sédiments fluviaux est de 7,4 Bq/kg ps (poids sec) - et est comparable à la valeur moyenne du programme de surveillance de la FANC-AFCN, à savoir 9,4 Bq/kg ps. Pour le ^{60}Co et le $^{110\text{m}}\text{Ag}$ respectivement, la concentration dans les sédiments est de 18,1 Bq/kg ps et de 6,6 Bq/kg ps respectivement dans les sédiments fluviaux en 2019. Les concentrations des radionucléides ^3H et ^{14}C sont également mesurées pour la flore (herbes et mousses). Seuls le ^{14}C et le ^{137}Cs sont mesurables dans ces plantes (concentrations supérieures à la limite de détection). Les concentrations dans les mousses (bio-indicateur) sont plus élevées que celles dans l'herbe. Pour le ^{137}Cs , la concentration maximale est de 10,1 Bq/kg ps et pour le ^{14}C , est de 0,82 Bq/kg ps en 2018. La concentration en ^{137}Cs est également mesurable dans les sols et s'élève au maximum à 28 Bq/kg ps en 2018.

Une évaluation complète des risques environnementaux a été réalisée en 2013 pour estimer l'impact des rejets atmosphériques et liquides sur la faune et la flore. Des organismes de référence communs ont été sélectionnés pour

le site de Tihange et l'impact des rejets réels et des limites de rejets sur ces organismes a été calculé à l'aide de l'outil d'évaluation ERICA. Il a été démontré que les débits de dose pour les limites de rejets sont également bien inférieures à la valeur seuil de 10 $\mu\text{Gy/h}$, en dessous de laquelle aucun effet nocif ne se produit. Sur la base des résultats, on peut donc conclure que les limites actuelles de rejets pour les centrales nucléaires belges considérées n'ont pas d'effets nocifs sur l'environnement. Les résultats de mesure du programme de surveillance de la FANC-AFCN et de l'exploitant aux abords de KC Doel conduisent également aux mêmes conclusions.

7.1.2 Effets de la non-prolongation de Tihange 3

La tranche Tihange 3 dispose actuellement d'une licence de production industrielle d'électricité au plus tard jusqu'au 1er septembre 2025. En cas de non-renouvellement (désactivation, arrêt définitif), seule la tranche Tihange 1 sera selon le calendrier actuel encore en service sur le site de CN Tihange pour la production d'électricité industrielle, et ce, jusqu'au 1er octobre 2025 au plus tard (un mois plus tard). Tihange 2 a été définitivement arrêté dans la nuit du 31 janvier au 1er février 2023 et sera donc en phase post-opérationnelle depuis 2 ans en 2025. Si Tihange 3 n'est pas prolongé, on peut donc considérer la situation après 2025 comme une situation dans laquelle tous les réacteurs sont en phase post-opérationnelle. Les rejets directement liés au fonctionnement des réacteurs (comme la production de carbone 14) vont disparaître, le carbone 14 étant également la contribution la plus importante à la dose pour les rejets gazeux et liquides. En revanche, certains rejets gazeux et liquides se poursuivront en phase post-opérationnelle. Relativement peu d'informations sont disponibles sur les quantités et l'impact sur la dose. D'une part, nous pouvons examiner ce à quoi l'on peut s'attendre théoriquement :

- Tritium liquide : la production de tritium est liée à la production d'électricité nucléaire, une diminution théorique jusqu'à pratiquement zéro est possible, mais des rejets résiduels sont possibles compte tenu de la longue demi-vie ; ·
- Radionucléides bêta-gamma liquides : théoriquement, on peut s'attendre à une réduction des rejets, des rejets résiduels dus aux POP pouvant exister dans différentes installations ; ·
- Gaz nobles : on peut s'attendre à une baisse théorique jusqu'à pratiquement zéro, car les gaz nobles sont des produits de fission qui ne seront plus produits. Les données historiques révèlent une légère diminution des émissions de gaz nobles dans les années où moins d'électricité est produite (pénurie de MWh) ;
- Iode : diminution théorique à pratiquement zéro après l'arrêt de la production, mais cette diminution est en partie compensée par les résidus d'iode dans le bain de combustible et il y a aussi les tests des filtres. Bref, on peut s'attendre à une baisse ; ·
- Aérosols : aucun impact apparent attendu ; sur la base des valeurs rapportées du passé, il est évident que les valeurs rapportées sont principalement basées sur les limites de détection et non uniquement sur les rejets réels ; du fait de ces limites de détection, l'ordre de grandeur des rejets restera le même. Une hausse limitée, en fonction des activités POP, ne peut être totalement exclue ; ·
- Tritium (gaz) : une baisse est attendue ;
- Carbone 14 : dépendant de la production, il devrait donc y avoir une baisse du carbone 14 produit jusqu'à pratiquement zéro.

Par ailleurs, on peut examiner les expériences effectives de la phase post-opérationnelle à l'étranger (celles-ci étant toutefois plutôt limitées). Sur la base de l'expérience en Allemagne, on peut estimer que la dose due aux rejets gazeux et liquides à la suite de l'arrêt d'une tranche nucléaire tombe à 25 % du niveau d'exploitation la première année après l'arrêt, et diminue encore les années suivantes jusqu'à environ 10 % (données disponibles jusqu'à 7 ans après l'arrêt définitif). Sur la base de ces informations, on peut estimer de manière prudente que la dose efficace résultant des rejets gazeux et liquides pour l'ensemble du site de CN Tihange, si Tihange 3 n'est pas prolongé, et donc sans plus aucun réacteur en service, sera tombée à un niveau **inférieur à 0,01 mSv/an** et dans les années suivantes (nous considérons une période de 10 ans) **sera tombée encore en dessous de 0,005 mSv/an**.

7.1.3 Effets de la prolongation de Tihange 3 pendant 10 ans après 2025 (Le projet)

Les rejets gazeux et liquides liés à l'exploitation de Tihange 3 se poursuivront pendant la prolongation à un niveau similaire au niveau actuel, car nous supposons que le réacteur fonctionnera à la même puissance et que tous les effluents gazeux et liquides seront également traités de la même manière lors de la prolongation de Tihange 3. Une estimation prudente de la dose efficace due à l'exploitation de Tihange 3 donne **0,01 mSv/an et celle-ci est constante sur les 10 années d'exploitation prolongée**. Ceci est encore principalement dû aux rejets gazeux de carbone 14, qui sont directement liés à la puissance du réacteur (Tihange 3). Pour l'ensemble du site de CN Tihange, outre l'exploitation de Tihange 3, il faut maintenant prendre également les rejets en phase post-opérationnelle comme nous les avons estimés au paragraphe précédent concernant l'alternative zéro, à savoir la non-prolongation. Le Tableau 93 donne un aperçu de la dose efficace due à l'exploitation de Tihange 3 et pour l'ensemble du site de CN Tihange en cas de prolongation et de non-prolongation.

Tableau 93 : Dose efficace des rejets gazeux et liquides estimée de manière prudente pour l'individu critique en fonctionnement normal du projet. La fourchette donnée dans la dose efficace pour l'ensemble du site est l'évolution dans le temps sur une période de 10 ans basée sur l'expérience de la phase post-opérationnelle des réacteurs en Allemagne.

	Dose efficace estimée de manière prudente des rejets gazeux et liquides pour l'individu critique
Exploitation Tihange 3	0,010 mSv/an
Ensemble du site de CN Tihange lors de la prolongation de Tihange 3	0,020-0,015 mSv/an
Ensemble du site de CN Tihange en cas de non-prolongation de Tihange 3 (réacteurs tous mis hors service)	0,010-0,005 mSv/an*
Différence du projet par rapport à l'alternative zéro	0,010 mSv/an pendant 10 ans

*Cette plage de doses est également représentative en tant qu'estimation prudente de la dose efficace consécutive aux rejets gazeux et liquides pour l'ensemble du site dans la phase post-opérationnelle de Tihange 3 après une prolongation de 10 ans.

La dose efficace estimée du projet est par conséquent bien en deçà de la licence actuelle d'exploitation et également bien en deçà (facteur 100) de la limite légale de 1 mSv/an. Pour mettre cette dose en perspective, on peut la comparer à une exposition naturelle. Une dose efficace de 0,01 mSv correspond à la dose supplémentaire qu'un individu reçoit des rayons cosmiques accrus sur un vol régulier de 5 heures (hauteur de 10 km). La dose efficace en fonctionnement normal du projet a donc un impact négligeable.

7.2 Rejets accidentels

Compte tenu de la nature similaire des accidents considérés pour Doel 4 et Tihange 3, une description de ces accidents et la méthodologie de calcul de l'impact sont intégralement fournies au chapitre 2. Nous présentons et détaillons ici les résultats de l'évaluation d'impact.

7.2.1 Accident de conception

L'impact radiologique des deux accidents de base de conception considérés, à savoir un LOCA et un FHA, a été évalué sur la base des données générales dans le cadre de l'article 37 du traité Euratom et du dossier de sûreté de Tihange 3. Par ailleurs, une analyse effectuée sur la base d'une étude de Tractebel¹³⁶ dans le cadre des directives FANC-AFCN 2017/Bel V a également été utilisée pour les nouvelles installations de Classe 1. Stricto sensu, cette dernière analyse ne s'applique pas à Tihange 3, car il s'agit de la prolongation de la durée de vie d'une installation de Classe 1 existante. Outre les conséquences lors des rejets atmosphériques consécutifs aux accidents envisagés

¹³⁶ CNT3: S2 – Radiological consequences of a Loss Of Coolant Accident and a Fuel handling Accident, 2020 CNT-KCD/4NT/0029611/000/01 Tractebel Engineering S.A.

Le Tableau ci-dessus montre que les **doses efficaces et les doses équivalentes à la thyroïde résultant des deux accidents de base de conception de référence pour Tihange 3 restent dans les limites fixées**. L'analyse selon les directives pour les nouvelles installations de Classe 1 montre des doses efficaces plus faibles et des doses équivalentes à la thyroïde, cela est dû au fait qu'une analyse prudente a été utilisée pour les estimer dans le dossier de sûreté et qu'une estimation moins prudente, mais l'étant toujours a été utilisée dans la présente pour les nouvelles installations de Classe 1. Les doses calculées selon les nouvelles directives pour les installations de Classe 1 sont également toutes inférieures au critère de dose défini à cet effet. Ces informations sont incluses à titre informatif. Les doses estimées sont inférieures à celles de Doel 4, en partie à cause de la hauteur de cheminée plus élevée, la concentration maximale de radionucléides au niveau du sol étant plus éloignée du point de rejet. Les valeurs du Tableau ci-dessus sont donc conformes à l'analyse des nouvelles installations de Classe 1 pour une distance de 1000 m, car la dose efficace du nuage sus-jacent, y compris l'inhalation, y donne des valeurs plus élevées qu'au périmètre du terrain (200 m). Selon la récente analyse, toute mesure de protection directe telle que la mise à l'abri (dose efficace de 5 mSv en 24 heures) ou l'administration d'iode stable (dose équivalente à la thyroïde de 10 mSv pour les enfants et les femmes enceintes) serait inutile. Voir à ce sujet aussi le Tableau 16 au §2.3.4.3.

Des mesures pour la chaîne alimentaire, comme pour Doel 4, peuvent s'avérer indispensables dans les deux scénarios d'accident, en fonction des circonstances précises de l'accident. On trouve par exemple des concentrations maximales d'environ 20 500 Bq/m² I-131 pour l'accident LOCA et 65 000 Bq/m² I-131 pour l'accident FHA. Celles-ci dépassent nettement la valeur dérivée des mesures alimentaires (lait, viande, légumes). Des valeurs encore plus élevées pour le dépôt d'I-133 sont trouvées pour l'accident LOCA, mais en raison de la demi-vie limitée (20,83 h), cela ne pourrait être important que pendant l'accident et dans les jours qui ont suivi l'accident. Toujours pour l'I-131, ayant une demi-vie de 8,02 jours, la contamination sera limitée dans le temps et n'aura plus d'impact sur la récolte de l'année suivant l'accident. Le Cs-137 de longue durée de vie fait également l'objet d'un rejet et d'une élimination limités dans l'accident LOCA, avec une valeur maximale estimée selon le scénario d'accident d'environ 23 Bq/m². Ceci est bien inférieur à la valeur dérivée des mesures pour la chaîne alimentaire pour le Cs-137.

La dose efficace tout au long de la vie (Lifetime effective dose) due à l'exposition pendant l'événement et dans les années suivantes (avant 50 ans pour les adultes et jusqu'à 70 ans pour les enfants) est à nouveau au plus de quelques mSv, bien en deçà de la limite de 1 Sv.

7.2.2 Accident d'extension de la conception

L'impact radiologique de l'accident d'extension de conception enveloppante de Tihange 3, à savoir une CSBO, a été évalué sur la base de l'analyse réalisée par Tractebel¹³⁷ dans le cadre des directives FANC-AFCN/Bel V de 2017 pour les nouvelles installations de Classe 1. Les résultats sont donnés dans le Tableau 95 et concernent la dose effective provenant du nuage radioactif sus-jacent, y compris l'inhalation et l'exposition au rayonnement externe par le dépôt de radioactivité sur le sol et la dose équivalente à la thyroïde par inhalation d'iode radioactif pour l'individu critique.

Tableau 95 : Dose efficace et dose équivalente à la thyroïde sur le périmètre de CN Tihange en raison de la survenance d'une CSBO pour Tihange 3 (individu le plus critique).

CSBO Tihange 3		
	Dose	Limite de la licence
Dose efficace	4,29 mSv	-
Dose équivalente à la thyroïde	0,033 mSv	-

La dose efficace provient presque exclusivement de l'exposition directe au rayonnement du nuage radioactif passant

¹³⁷ DEC B: RC-1.4 - T3 - Radiological consequences off-site – Assessments (DEC/4NT/0606802/140/04), Tractebel Engineering

à la suite de plusieurs événements contrôlés. Le système de filtration (CFVS) libère principalement les gaz nobles dans l'atmosphère, tandis que d'autres groupes de radionucléides sont largement bloqués. La quantité d'iode libérée est limitée, d'où une dose équivalente limitée à la thyroïde. La radioactivité déposée sur le sol est également limitée (les gaz nobles ne se déposent pas), d'où une contribution très limitée à la dose efficace de l'exposition au rayonnement externe d'un sol contaminé. Pour les accidents d'extension de conception, aucune limite n'est spécifiée dans la licence. La dose efficace et la dose équivalente à la thyroïde, toutes deux calculées pour l'individu critique, sont inférieures à toutes les directives définies dans le plan d'urgence nucléaire (voir § 9.2.1) pour les contre-mesures immédiates de protection de la population telles que la mise à l'abri, l'évacuation ou l'administration d'iode stable.

7.2.3 Impact des accidents considérés sur la biodiversité

Les organismes de référence examinés dans Vandenhove et al, 2013 (voir KC Doel) pour les rejets de routine ont également été utilisés pour calculer l'impact des rejets accidentels sur l'environnement suite à un LOCA et FHA.

Les calculs avec l'outil de risque environnemental ERICA révèlent que les doses radiologiques à la faune et à la flore pour l'accident LOCA varient de 0,3 à 8 µGy/h pour le dépôt maximal des radionucléides rejetés sur le sol ; les organismes les plus exposés (8 µGy/h) étant les petits mammifères, l'herbe étant la moins exposée. Les radionucléides les plus importants qui se déposent sont de courte durée de vie. Cela signifie que la radioactivité dans le sol et donc aussi les débits de dose auxquels la faune et la flore sont exposées diminueront rapidement et qu'il ne sera plus question d'exposition chronique. Au cours du premier mois après le rejet accidentel, les débits de dose moyens tombent à moins de 0,3 µGy/h, et après 1 an à moins de 0,02 µGy/h pour l'ensemble de la faune et de la flore. Il s'ensuit qu'il n'y aura pas d'effets nocifs sur l'environnement.

Les doses radiologiques à la faune et à la flore pour le FHA vont de 0,13 à 11 µGy/h, les organismes les plus exposés étant les invertébrés détritvires arthropodes, les annélides, les petits mammifères et les souris (> 7 µGy/h) et pour le reste le taux de dose est inférieur à 6,5 µGy/h. La dose externe domine la dose interne. Cependant, les débits de dose diminuent rapidement, car les isotopes de l'iode rejetés sont de courte durée de vie (demi-vies de 2 heures à 8 jours). Sur 1 mois, le débit de dose moyen varie de 0,04 à 3,2 µGy/h et la contribution de ¹³¹I s'élève à plus de 97 % du débit de dose ; après 1 an, ces débits de dose moyens ont été réduits à moins de 0,3 µGy/h.

Puisque les débits de dose diminuent rapidement et que les organismes ne sont pas exposés de manière chronique à des débits de dose importants, on peut donc conclure que l'environnement n'est pas affecté négativement par une telle situation d'exposition.

Sur la base des radionucléides rejetés et des dépôts, en analogie avec les accidents de base de conception, on peut également s'attendre, pour le CSBO, à des effets nocifs chroniques négligeables sur la flore et la faune.

7.2.4 Rejets accidentels

Si aucune prolongation de durée de vie n'a lieu, Tihange 3 sera définitivement arrêté (MAD). Pour dissiper la chaleur engendrée par la décroissance radioactive, il faudra encore refroidir les assemblages de combustibles, dans un premier temps avec le circuit de refroidissement du réacteur. Les réacteurs seront définitivement déchargés. Les assemblages de combustibles sont transférés vers la piscine de désactivation et refroidis avec les circuits de refroidissement de cette piscine. Cette phase de transition – la phase post-opérationnelle – jusqu'au début du démantèlement aura lieu tant dans l'Alternative Zéro (pas de Projet) que dans le Projet. Cependant, la quantité de radioactivité dans le cœur diminuera rapidement (désintégration des radionucléides de courte durée de vie), nécessitant moins de refroidissement, et de même, l'inventaire des matières radioactives susceptibles d'être libérées dans ces accidents diminue rapidement avec le temps après l'arrêt, réduisant également l'impact d'un accident s'il devait se produire. Il est évident que le risque (risque = probabilité x impact), qui est déjà faible avec une prolongation (du fait de la faible probabilité d'accident et de l'impact radiologique limité), est encore plus faible

sans prolongation, étant donné que l'impact est au moins plus petit. Le projet comporte donc un risque limité lié à un accident (accident tant de base de conception que d'extension de conception). Cependant, pour l'ensemble du site de KC Tihange, le risque diminuera dans tous les cas étant donné que selon le calendrier actuel dans la période du projet (période de 10 ans après 2025) seul Tihange 3 sera exploité pour la production d'électricité industrielle.

7.3 Déchets radioactifs d'exploitation

7.3.1 Traitement des déchets sur site

Le traitement des déchets liquides de l'ensemble du site a lieu dans l'unité 2.. Après traitement, les eaux usées sont stockées dans les réservoirs de stockage des tranches 2 et 3 en attente de réutilisation ou de rejet dans le fleuve^{lxxxviii}. Les déchets solides correspondants (résines usagées, concentrés d'évaporation, floculats et filtres de la station d'épuration) sont également traités dans la tranche 2.

Les seuls déchets solides produits dans la tranche 3 sont la résine usée des circuits auxiliaires, les résidus de la filtration magnétique de l'échappement du générateur de vapeur, les filtres des circuits auxiliaires et divers déchets solides. Ces déchets, à l'exception des déchets solides divers, sont transportés dans des conteneurs adaptés vers la tranche 2 pour y être traités ou transformés dans la tranche 3 par une société spécialisée dans le conditionnement des déchets. Divers déchets solides sont traités dans la tranche Tihange 3.^{lxxxix}

Après tri et conditionnement en fûts de 400 litres, les déchets de faible et moyenne activité sont temporairement stockés sur le site de Tihange et régulièrement acheminés vers Belgoprocess.

7.3.2 Quantités de déchets de faible et moyenne activité

Les quantités de déchets de faible et moyenne activité produites annuellement à la centrale nucléaire de Tihange sont présentées dans la deuxième colonne du Tableau 96. Ces données ont été compilées sur la base de la déclaration environnementale de CN Tihange, qui est mise à jour chaque année^{xc}. Aucune distinction n'est faite entre les déchets de catégorie A ou de catégorie B. Dans la colonne 3, le volume de déchets conditionnés est exprimé par TWh d'électricité nette produite à CN Tihange l'année correspondante, ce qui donne une moyenne à long terme de **5,54 m³/TWh de déchets conditionnés de faible et moyenne activité**. En tenant compte de la part du réacteur de Tihange 3 dans cette production d'électricité, on arrive à une moyenne pluriannuelle de **40,5 m³ de déchets conditionnés de faible et moyenne activité** par an pour Tihange 3 (colonne 4). La part réelle de Tihange 3 dans la production totale d'électricité du site a fluctué autour de 41 % sur la période 2011-2020. Ce ratio est légèrement supérieur au ratio basé sur la puissance (35 %), car d'autres réacteurs (principalement Tihange 2 au cours de la période 2014-2015) ont été arrêtés plusieurs fois pendant de longues périodes.

Tableau 96 : Volumes annuels de déchets de faible et moyenne activité produits sur le site de Tihange, et plus particulièrement pour la tranche nucléaire Tihange 3. DC : déchets conditionnés.

	Volume (m ³) de déchets de faible et moyenne activité (DC)	Volume de déchets de faible et moyenne activité (DC) par électricité nette produite à NC Tihange (m ³ /TWh)	Volume de déchets de faible et moyenne activité pour Tihange 3 (m ³)
2011	121,0	5,24	47,1
2012	95,0	4,69	37,4
2013	97,0	4,87	39,4
2014	100,7	5,58	49,1
2015	98,0	7,18	52,7
2016	96,0	4,97	39,0
2017	110,0	5,64	50,6
2018	92,9	6,06	13,5
2019	75,6	3,68	32,9
2020	100,8	7,46	43,6

Moyenne à long terme	99	5,54	40,5
----------------------	----	------	------

7.3.3 Effets de la LTO et implications pour la gestion des déchets

Sur la base du Tableau 96, il est prévu que le report de la désactivation du réacteur nucléaire de Tihange 3 entraînera une quantité complémentaire de déchets faiblement et moyennement radioactifs d'environ **405 m³** pour une période de production de 10 ans. Il s'agit principalement de déchets de catégorie A, avec seulement une quantité limitée de déchets de catégorie B, qui peuvent inclure certaines résines et certains filtres. Par rapport aux ~50 000 m³ de déchets de catégorie A actuellement inclus comme terme source dans le dossier de sûreté du stockage en surface, ^{xcii}cela représente une augmentation marginale (< 1 %).

En supposant que la quantité de déchets de catégorie B est négligeable, le volume supplémentaire de déchets correspond à environ **253 monolithes** ou **0,27 module** dans l'installation de stockage pour les déchets de catégorie A. La capacité (volumétrique) du stockage est de 34 modules^{xciii}, sur la base des éléments suivants :

- estimations des quantités de déchets de catégorie A existants et futurs à partir de 2013 (ne tenant donc pas compte d'une éventuelle LTO des tranches nucléaires de Doel et Tihange) ; 28,6 modules ;
- une réserve de ~20 % (5,4 modules), dont une décision de prolonger l'exploitation de Tihange 3 (en plus d'autres décisions déjà prises) consomme donc 0,27 module soit ~5,0 %.

Cela suppose que ces déchets répondent aux critères d'acceptation fixés par l'ONDRAF qui prennent en compte, entre autres, les critères de conformité du rapport de sûreté. Ces derniers concernent des critères radiologiques (critères de matières fissiles et de criticité, ainsi que des limites d'activité volumique au niveau des radionucléides) et un certain nombre d'exigences de conformité physico-chimiques. Comme il s'agit de la prolongation d'une activité existante, aucun impact (supplémentaire) n'est attendu sur la sûreté (à court et long termes) de l'installation de stockage des déchets de catégorie A, au-delà de l'impact lié en tout cas à la mise en place de cette installation de stockage.

7.4 Combustibles usés

Lorsque les assemblages de combustibles usés sont retirés du réacteur après être restés environ 54 mois dans le cœur, selon des cycles de 18 mois, ils sont maintenus immergés dans une piscine de désactivation spécifique à la tranche. L'entreposage en piscine de désactivation permet au combustible usé de perdre une grande partie de son activité et de se refroidir. Ces assemblages libèrent encore de l'énergie thermique provenant de la désintégration principalement des produits de fission du combustible ; ce dégagement thermique diminue avec le temps. Après une période de refroidissement d'au moins 2 ans, les assemblages de combustibles sont transférés dans des conteneurs blindés et étanches vers le bâtiment d'entreposage intermédiaire des combustibles usés (bâtiment DE) pour un entreposage temporaire dans l'une des 8 piscines. Le bâtiment DE est commun aux trois tranches et se situe à proximité des bâtiments de la tranche 3. Comme mentionné ci-dessus (§2.3.7.3), une capacité d'entreposage supplémentaire est prévue via le projet SF² récemment sous licence^l. Des informations plus détaillées sur le projet SF² sont disponibles dans le rapport RIE correspondant. Le nouveau bâtiment d'entreposage devrait être mis en service courant 2023.

7.4.1 Quantités

Contrairement aux déclarations environnementales de KC Doel, celles de CN Tihange ne contiennent pas de données sur le nombre d'assemblages de combustibles déchargés par tranche chaque année. Selon les informations obtenues auprès d'Electrabel au cours du projet, 63 assemblages de combustibles en moyenne sont déchargés par cycle de 18 mois. Cela correspond à 42 éléments, soit 22,7 tML de matières fissiles par an.

7.4.2 Effets de la LTO et implications pour la gestion des déchets

Sur la base de ce qui précède, nous prévoyons que l'exploitation prolongée de Tihange 3 pendant 10 ans générera donc environ 420 assemblages de combustibles usés supplémentaires. Cela représente une augmentation de 3,8 % par rapport à l'ensemble de l'inventaire belge de combustible en cas d'arrêt définitif. Il s'agit également ici d'assemblages UOX 14ft avec une masse U initiale de 0,541 tML/assemblage, dont les caractéristiques ne devraient pas différer des assemblages de combustibles déjà produits à Tihange 3. Les implications pour la gestion des déchets sont similaires à celles mentionnées au § 4.4.2.

Entreposage

L'ensemble des capacités d'entreposage existantes et prévues doit permettre le traitement de l'ensemble des combustibles usés des piscines de désactivation des 3 tranches après leur fermeture définitive. Le report de la désactivation de Tihange 3 permet d'étaler la déconnexion du réseau des 3 tranches, au lieu de la condenser fortement sur quelques années.

Stockage

En supposant que le stockage se fera dans de l'argile peu indurée, avec des superconteneurs comme emballage primaire, la consommation supplémentaire ci-dessus correspondrait à **105 superconteneurs supplémentaires** (Type SC-4) et à une longueur de galerie de stockage supplémentaire requise d'environ 650 m.

7.5 Démantèlement

De manière analogue à Doel 4 (pour plus d'informations, voir § 4.5), des calculs d'activation à différents endroits de la cuve du réacteur de Tihange 3 ont été effectués à l'aide du code d'activation ALEPH2.

7.5.1 Données d'entrée

Les données d'entrée nécessaires aux calculs concernent *i)* le flux de neutrons, *ii)* le spectre de neutrons, *iii)* l'historique d'irradiation, et *iv)* la composition de la matière.

- i)* Un flux neutronique intégré à énergie constante de $1,4 \times 10^{11}$ [n/cm²s] a été utilisé, basé sur la fluence maximale de conception de la cuve du réacteur de Doel 4 et Tihange 3, ce qui correspond aux valeurs moyennes aux capsules de surveillance¹³⁸ après 40 ans de fonctionnement.
- ii)* Étant donné que les spectres réels de Doel 4 et Tihange 3 ne sont pas donnés, on a utilisé un spectre de neutrons normalisé typique pour les réacteurs à eau légère thermique^{xciii}, « PWR RPV » dans la Figure 76. Étant donné que ce spectre présente une contribution significative des neutrons de fission (avec une énergie plus élevée), on suppose qu'il est représentatif de l'intérieur de la cuve du réacteur. Pour évaluer la sensibilité à la forme du spectre, un autre spectre « BR1 Y3 » a également été considéré, calculé pour le canal Y3 dans le réacteur BR1 du SCK CEN, et dont l'emplacement est plutôt représentatif de l'extérieur de la cuve du réacteur.
- iii)* Pour calculer l'activation, on a d'une part utilisé l'historique réel d'irradiation de Tihange 3^{xciv} avec des données de 1986 à 2021. Cet historique est constitué d'une alternance de périodes d'irradiation (supposées à pleine puissance) et de périodes d'arrêt au cours desquelles peut se produire une désintégration des radionucléides produits. Sur cette base, un facteur de charge annuel moyen de 88 % a été estimé pour Tihange 3, qui a été extrapolé pour la période LTO. Le modèle prend donc, à partir de 2022, en compte des cycles annuels de 322 jours d'irradiation et 43 jours de décroissance. D'autre part, on a également appliqué une irradiation continue sans périodes d'arrêt afin d'obtenir des estimations prudentes des activités.

¹³⁸ Les capsules de surveillance sont de petits échantillons en acier ayant la même composition de matériau que la cuve du réacteur, qui sont placés légèrement plus près du cœur afin qu'ils soient soumis à un flux de neutrons légèrement plus élevé que l'acier de la cuve. L'analyse de ces échantillons fournit des informations prudentes sur les processus de vieillissement du matériau.

- iv) La composition du matériau est basée sur les données fournies pour les capsules de surveillance^{xcv}, qui sont spécifiées pour l'enveloppe du cœur, l'anneau de transition et la soudure pour la cuve du réacteur Tihange 3. La composition chimique en pourcentage massique des éléments majeurs (hors fer) est donnée dans le Tableau 97.

Tableau 97 : Composition des principaux éléments des pièces de la cuve du réacteur de Tihange 3 (en % poids).

Unité	Matériel	C	S	P	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Mo	V
Tihange 3	enveloppe du cœur	0,20	0,006	0,008	0,27	1,39	0,765	-	0,04	0,485	<0,01
	anneau de transition	0,185	0,006	0,006	0,23	1,41	0,765	-	0,04	0,505	<0,01
	soudure	0,062	0,006	0,015	0,15	1,11	0,8	0,075	0,093	0,480	

7.5.2 Résultats

La Figure 104 illustre une estimation prudente de l'activité des 3 types de matériaux de la cuve du réacteur Tihange 3, basée sur une irradiation continue sur une durée totale d'exploitation de 60 ans. L'activité la plus élevée se situe au niveau de l'anneau de transition. Il est donc intéressant de comparer l'estimation prudente pour ce type de matériau avec des estimations plus réalistes qui tiennent compte des cycles d'irradiations et de décroissance. Ceci est illustré dans la Figure 105, ainsi qu'un cas combiné avec des cycles jusqu'en 2021 suivis d'une irradiation continue de 2022 à 2045.

De cette Figure il ressort que :

- une prolongation basée sur des cycles d'irradiation réalistes n'entraîne qu'une augmentation très limitée de l'activité totale : maximum + 0,05 % pour une prolongation de l'exploitation de 40 ans à 50 ans ; et
- l'activité totale augmenterait de 4 % sur la base d'une irradiation continue, ce qui n'est pas une hypothèse réaliste.

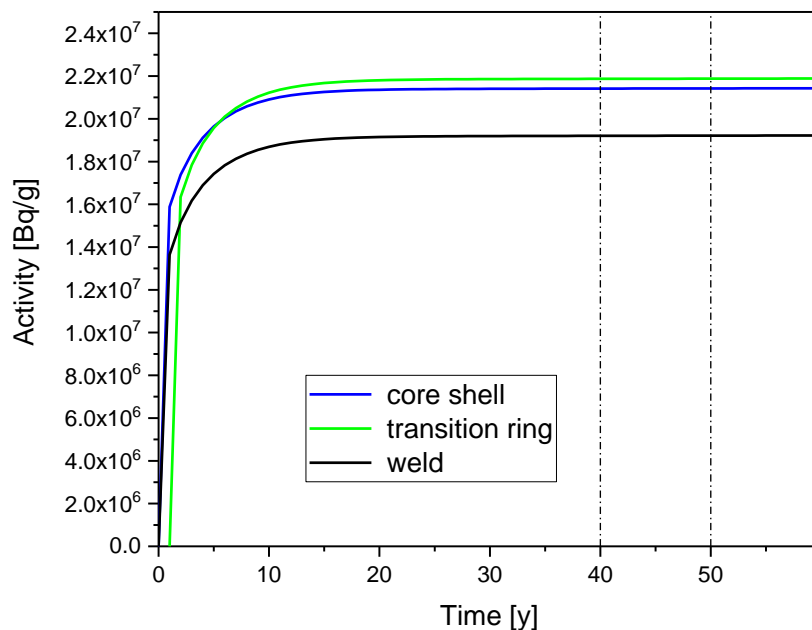


Figure 104 : Évolution dans le temps des estimations conservatrices de l'activité massique pour les 3 types de matériaux de la cuve du réacteur de Tihange 3.

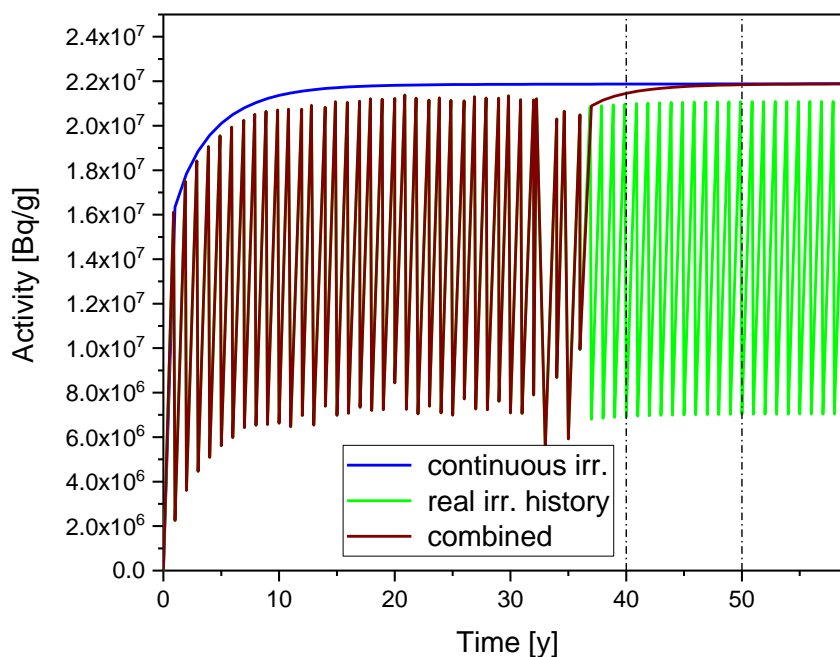


Figure 105 : Évolution dans le temps de l'activité massique pour l'anneau de transition de la cuve du réacteur de Tihange 3 : comparaison entre une irradiation continue, une irradiation réaliste en cycles et un cas combiné.

L'évolution des principaux produits d'activation pour la période LTO et la désintégration qui suit est illustrée dans la Figure 106. L'activité la plus élevée est due au ^{56}Mn à très courte durée de vie ($T_{1/2}=2,58$ heures), qui disparaît

rapidement après l'arrêt. Les autres isotopes avec une contribution significative sont le ^{55}Fe ($T_{1/2}=2,74$ ans) et le ^{54}Mn ($T_{1/2}=312$ jours). Ceux-ci déterminent l'activité après 20 ans. À plus long terme, l'activité est déterminée par ^{63}Ni ($T_{1/2}=101$ ans), ^{59}Ni ($T_{1/2}=7,60 \times 10^4$ ans), ^{93}Mo ($T_{1/2}=4,00 \times 10^3$ ans) et $^{93\text{m}}\text{Nb}$ ($T_{1/2}=16,13$ ans).

Pour les nucléides de longue durée de vie, puisque leurs demi-vies sont supérieures à la durée de vie du réacteur, l'équilibre n'est pas atteint. L'activité de ces nucléides¹³⁹, importants pour la sûreté à long terme, augmente de 21 à 25 %. Cependant, leur contribution à l'activité totale à l'arrêt est limitée (< 0,25 %).

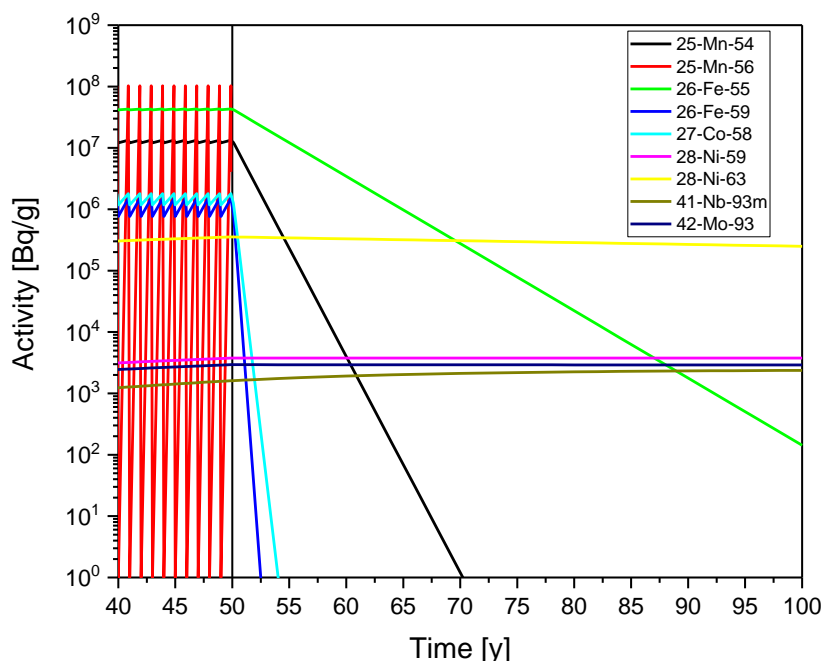


Figure 106 : Évolution dans le temps des principaux produits d'activation pendant la période LTO et leur décroissance dans la période post-arrêt.

Les contributions des produits d'activation sont comparées pour les différents types de matériaux de la cuve du réacteur dans le Tableau 98. Comme on peut le voir, ces contributions sont similaires pour les différentes compositions de matériaux.

Tableau 98 : Principaux nucléides contributeurs (en %) à l'activité dans les différentes parties de la cuve du réacteur après 50 ans d'irradiation.

Nucléide	Enveloppe du cœur	Anneau de transition	Soudure
^{54}Mn	8,5	8,3	9,5
^{56}Mn	57,7	58,8	52,0
^{55}Fe	28,1	27,5	31,5
^{59}Fe	0,9	0,9	1,0

¹³⁹ en particulier ^{14}C ($T_{1/2} = 5,7 \times 10^3$ ans), ^{36}Cl ($T_{1/2} = 3,01 \times 10^5$ ans), ^{41}Ca ($T_{1/2} = 1,03 \times 10^5$ ans), ^{59}Ni ($T_{1/2} = 7,60 \times 10^4$ ans), ^{63}Ni ($T_{1/2} = 101$ ans), ^{93}Zr ($T_{1/2} = 1,61 \times 10^6$ ans), ^{94}Nb ($T_{1/2} = 2,00 \times 10^4$ ans), ^{93}Mo ($T_{1/2} = 4 \times 10^3$ ans), ^{99}Tc ($T_{1/2} = 2,14 \times 10^5$ ans).

⁵⁸ Co	1,0	1,0	1,2
⁶³ Ni	0,2	0,2	0,3
Autres	3,6	3,3	4,5

Dans la dernière partie des calculs, la sensibilité à la forme du spectre de neutrons a été évaluée. À cet effet, les résultats précédents basés sur le spectre PWR RPV ont été comparés aux résultats du spectre alternatif BR1 Y3 de la Figure 76. L'évolution calculée de l'activité pour les deux spectres est représentée dans la Figure 107.

L'application du spectre BR1 Y3 entraîne une hausse de l'activité de près d'un ordre de grandeur. Ceci est dû à l'augmentation du flux thermique et donc de la capture neutronique, qui produit du ⁵⁶Mn et du ⁵⁵Fe qui sont les principaux contributeurs à l'activité en fin d'irradiation. Leur part augmente significativement dans le spectre BR1 Y3 à respectivement 59,3 % et 38,2 %. En revanche, la contribution du ⁵⁴Mn tombe en dessous de 1 %, ce qui signifie qu'il est produit via la réaction ⁵⁵Mn(n,2n) dans le domaine des énergies rapides.

Il convient de noter que la même valeur de flux intégré de neutrons de $1,4 \times 10^{11}$ [n/cm²s] a été utilisée dans les deux cas, bien que le flux thermique ne puisse pas réellement augmenter, car la probabilité d'absorption augmente avec la décélération des neutrons rapides. Les résultats de cette section ne visent donc qu'à confirmer qu'une prolongation de la durée d'irradiation ne conduit à une augmentation de l'activité dans aucun spectre, car les nucléides de longue durée de vie avec une demi-vie supérieure à 10 ans ne sont pas produits en grandes quantités.

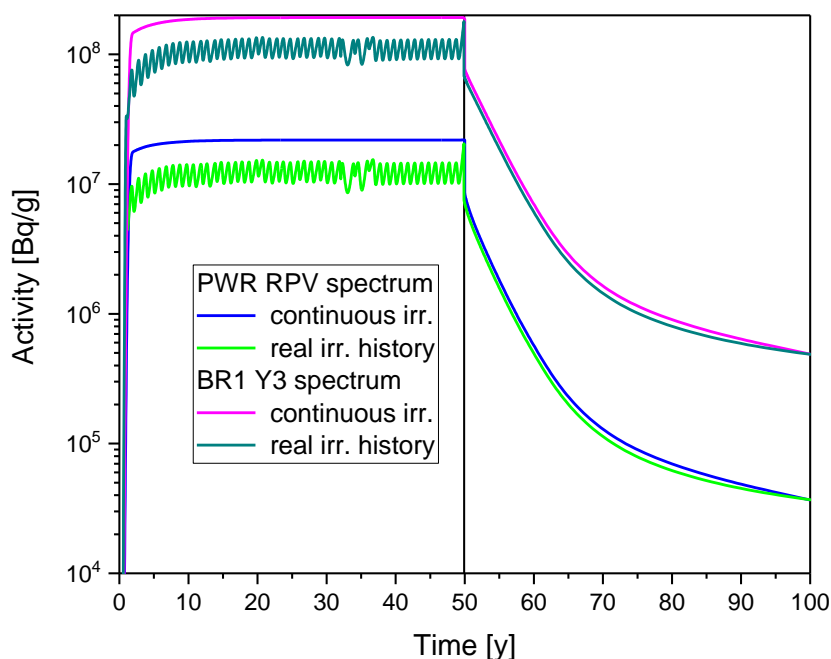


Figure 107 : Comparaison des activités calculées à l'anneau de transition avec différents spectres de neutrons.

7.5.3 Conclusions

On peut donc conclure de ce calcul du modèle qu'une prolongation de la durée de vie de 40 à 50 ans n'aura que peu ou pas d'effet sur la radioactivité totale causée par l'activation des éléments présents dans les éléments structurels du réacteur, puisque la plupart de ces isotopes d'activation n'ont qu'une courte durée de vie. Toutefois, on observe une augmentation significative du nombre d'isotopes à longue durée de vie dans ces éléments structurels, proportionnellement au flux total de neutrons auquel ces éléments seront soumis pendant la

prolongation de la durée de vie. En supposant le même régime qu'au cours des 40 dernières années, cela signifie une augmentation de (maximum) 25 % sur une durée de vie de 50 ans.

Cependant, l'effet sur la quantité totale de déchets de différentes catégories (libération inconditionnelle, libération conditionnelle, catégorie A, catégorie B) est difficile à estimer pour le moment, car des données détaillées sur la quantité d'oligo-éléments dans les éléments structurels des centrales sont manquantes (ou inconnues de nous). L'augmentation de 25 % de la plupart des isotopes de longue durée de vie pourrait faire passer la zone de transition de la catégorie A à la catégorie B, augmentant ainsi le volume des déchets de catégorie B. Étant donné que le flux de neutrons aux extrémités de la cuve du réacteur peut facilement être inférieur de 10 ordres de grandeur à celui au centre de la cuve du réacteur, on suppose que l'augmentation – plutôt limitée – de l'activité en raison de la LTO sera peu ou pas déterminante pour la délimitation de la zone de transition. Aucun déplacement significatif n'est donc attendu sur les volumes de déchets B.

7.6 Effets transfrontières

7.6.1 Fonctionnement normal

CN Tihange se situe à une distance la plus courte de 38 km et 58 km respectivement des frontières néerlandaise et allemande. Cependant, compte tenu de l'impact radiologique négligeable et imperceptible (environ 0,044 mSv/an de rejets gazeux et liquides et éventuellement une dose limitée de rayonnement direct, mais dans les limites des variations locales du rayonnement naturel) lors de l'exploitation de toutes les tranches de CN Tihange pour la personne la plus exposée se trouvant sur le territoire belge juste à l'extérieur du site de CN Tihange et du fait que l'impact ne diminue qu'avec la distance (dilution pour les rejets et loi du carré inverse pour tout rayonnement direct de CN Tihange), on peut affirmer qu'il n'y a pas d'effets transfrontières sur les personnes et l'environnement pendant le fonctionnement normal de CN Tihange, c'est-à-dire pas non plus lorsque Tihange 3 est prolongé de 10 ans.

7.6.2 Accidents

Pour l'évaluation des effets transfrontières dans les deux scénarios d'accident de base de conception (LOCA et FHA) et le scénario d'accident hors conception (CSBO), nous utilisons la méthodologie Flexpart, comme indiqué dans la partie méthodologie § 2.3.4.

Les rejets dans l'environnement supposés dans ces scénarios sont indiqués dans le Tableau 99.

Tableau 99 : Activité rejetée des différents groupes de radionucléides importants pour l'impact.

Tihange 3	Scénarios de base de conception		Scénario d'extension de la conception
	LOCA	FHA	CSBO
Gaz nobles	16,1 PBq	8,39 PBq	53,2 PBq
Iode	11,9 TBq (43,6 % I-131)	10,1 TBq (44,1 % I-131)	0,25 TBq (15,7 % I-131)
Aérosols (Cs-137 + Cs-134)*	11 GBq	-	0,38 TBq

* Cs-134 applicable uniquement pour l'accident CSBO

Compte tenu de la distance plus importante (plusieurs dizaines de kilomètres), l'utilisation du modèle Flexpart est préférable à un modèle de distribution gaussienne statique bien adapté à l'impact local (tel qu'utilisé pour l'évaluation de l'impact maximum hors site).

Les estimations sont par ailleurs très prudentes :

- Pour les calculs Flexpart, nous avons donc considéré le terme source pour le LOCA (durée de rejet : 720 heures) comme étant un rejet de 1 heure (moins dissémination), pour le FHA de 2 heures (qui est la durée réelle du rejet) et pour la CSBO de 6 heures (rejets pendant différents événements et rejet continu sur 10 jours).
- On suppose que tout l'iode existe sous la forme élémentaire (I₂)

- On utilise les concentrations maximales dans l'air et les niveaux de dépôt obtenus pour une série de simulations avec le début du rejet à chaque heure d'une année complète (données météorologiques CEPMMT 2020 – voir méthodologie) dans les pays concernés pour la durée considérée du rejet (6 heures, 2 heures ou 1 heure, selon le scénario) et les groupes de radionucléides considérés (autres dépôts). Cela signifie que pour chaque pays, la situation météorologique la moins favorable sur une année entière (l'année 2020) est utilisée pour faire l'estimation.

Outre l'impact dans les différents pays, les valeurs maximales en mer ont également été déterminées. Sur la base de ces concentrations dans l'air et des dépôts, la dose totale efficace et équivalente à la thyroïde a ensuite été déterminée pour les différentes catégories d'âge. Le maximum sur toutes les catégories d'âge a été tabulé.

Tableau 100. La dose efficace maximale et la dose équivalente à la thyroïde pour un individu critique et le dépôt maximal pour les différents scénarios d'accident et pour les différents pays voisins (méthodologie Flexpart).

Tihange 3	LOCA			FHA			CSBO		
	DET (mSv)	Dose à la thyroïde (mSv)	Dep. I131 (Bq/m ²)	DET (mSv)	Dose à la thyroïde (mSv)	Dep. I131 (Bq/m ²)	DET (mSv)	Dose à la thyroïde (mSv)	Dep. I131 (Bq/m ²)
Pays-Bas	0,03	0,23	6520	0,02	0,20	5197	0,59	0,002	315
Allemagne	0,02	0,18	5000	0,01	0,14	3886	0,49	0,002	242
Luxembourg	0,01	0,12	2430	0,01	0,08	1964	0,30	0,001	118
France	0,03	0,28	3660	0,01	0,19	2751	0,64	0,003	177
Royaume-Uni	0,00	0,010	355	0,00	0,01	254	0,05	0,000	16
Mer	0,01	0,05	-	0,00	0,04	-	0,19	0,001	-

Les accidents envisagés pour Tihange 3 ont un impact très faible. Les doses sont telles qu'aucune contre-mesure directe telle que la mise à l'abri ou l'administration d'iode stable n'est requise. Il est hautement improbable, mais pas totalement exclu, que le dépôt d'isotopes d'iode (tels que l'I-131) nécessite des contre-mesures à court terme pour la chaîne alimentaire aux Pays-Bas et/ou en Allemagne. Les valeurs maximales trouvées sont juste au-dessus de la valeur dérivée pour la contamination du sol. Les dépôts de radionucléides de longue durée de vie sont très limités. L'impact radiologique demeure par conséquent fort limité pour ces accidents.

7.7 Mesures d'atténuation : planification d'urgence

Ceci est décrit collectivement pour Doel 4 et Tihange 3: voir § 9.4.1

7.8 Lacunes dans les connaissances

Ceci est décrit collectivement pour Doel 4 et Tihange 3 : voir § 9.4.2.

7.9 Recommandations

Dans le cadre de l'évaluation des effets radiologiques, nous tenons à formuler un certain nombre de recommandations pour la mise en œuvre du Projet :

- La dose résultant des rejets gazeux et liquides lors de l'exploitation de Tihange 3 est largement déterminée par le carbone 14, un radionucléide également présent à l'état naturel. Le rejet est assez récent d'après les relevés de Tihange 2 (réacteur similaire). Il a été constaté que les rejets réels de carbone 14 à Tihange 2 sont inférieurs aux valeurs calculées (de manière prudente). Dans ce contexte, si Tihange 3 est prolongé, il

est opportun de quantifier les rejets de carbone 14 à partir des relevés de Tihange 3 afin de conserver une estimation la plus réaliste possible des doses en fonctionnement normal ;

2. Si Tihange 3 est prolongé de 10 ans après 2025, l'exploitation coïncidera avec les phases post-opérationnelles et éventuellement de démantèlement des autres réacteurs et de certains bâtiments auxiliaires du site de CN Tihange. Il semble recommandé de distinguer dans la mesure du possible les expositions radiologiques qui résultent potentiellement du démantèlement et celles consécutives à l'exploitation pour la poursuite de la production d'électricité de Doel 4 et de les signaler séparément au public.

8 Synthèse et conclusion site Tihange – Tihange 3

8.1 Synthèse des effets

8.1.1 Effets non radiologiques

Le maintien en service de Tihange 3 pendant 10 années supplémentaires signifie que les eaux usées domestiques (épurées), les eaux usées industrielles traitées et l'eau de refroidissement (réchauffée) seront rejetées pendant 10 ans. Comme les normes de rejet sont bien respectées pour les différents paramètres et que la contribution calculée à l'augmentation de la concentration est limitée (localement) à négligeable, il n'y a pas de raison de craindre une détérioration de l'état écologique de la Meuse du fait de la prolongation de l'activité de Tihange 3 pour dix ans de plus, à condition qu'une attention particulière continue d'être portée au suivi et à la mise en place de mesures correctives dans des délais raisonnables.

Étant donné les effets limités de la centrale nucléaire sur la qualité de l'eau et les efforts continus qui seront fournis pour réduire davantage les effets au cours de la période 2025-2037, il peut être considéré que le Projet ne compromet pas la réalisation du bon potentiel écologique des eaux de surface. Les efforts fournis et à fournir pour respecter les normes de rejet permettront de ne pas altérer la qualité de l'eau de Meuse. Il n'y a aucune raison de craindre que l'état actuel (certes) insatisfaisant de la Meuse se détériore suite au maintien en activité de Tihange 3 dix ans de plus. La désactivation (scénario de référence) apportera bien sûr une contribution positive, mais il n'est pas certain que cela suffise à faire évoluer l'état insatisfaisant de la Meuse vers un bon état.

En ce qui concerne les risques d'inondation, il n'y a aucun problème dans la situation actuelle et aucun problème n'est prévu à court ou moyen terme. La centrale nucléaire n'est pas située dans une zone sensible aux inondations et est également suffisamment protégée contre d'éventuels risques d'inondation futurs suite à des pluies plus intenses (dues au changement climatique). Rien n'indique non plus que la centrale causera ou maintiendra des risques d'inondation indésirables en aval. Par conséquent, le fait de garder Tihange 3 ouvert plus longtemps ne contribuera pas de façon notable à réduire ou à provoquer les risques d'inondation.

Le captage de l'eau de Meuse et les rejets des eaux de refroidissement sont identifiés comme les opérations les plus impactantes pour les espèces locales. Néanmoins, les mesures prises par l'exploitant sur bases des conditions du permis d'environnement en vigueur permettent de réduire drastiquement les incidences liées à ces opérations.

Plusieurs sites de protection de la nature sont retrouvés dans la région de la centrale de Tihange. Ces sites sont légalement protégés dans le but d'atteindre des objectifs de conservation. Ces objectifs, inscrits dans la législation wallonne, ont notamment pour but de protéger des espèces et des habitats protégés à l'échelle internationale. Il est donc important de déterminer si la prolongation du réacteur Tihange 3 n'entrave pas la poursuite de ces objectifs de conservation.

Il a été déterminé que le projet pouvait impacter ces espèces et habitats par pompage des eaux dans la Meuse, rejet d'eaux de refroidissement et modification de la qualité des eaux de ce même fleuve, par nuisance acoustique ou lumineuse, par effet indirect dû aux pluies acides et par le fait que le site occupe des terres pouvant potentiellement servir à des fins de conservation.

Les différentes analyses ont permis de conclure que les impacts du projet sur les milieux aquatiques n'étaient pas de nature à mettre à mal les stratégies de conservation de ces écosystèmes au vu des mesures prises volontairement par l'exploitant de la centrale ou dans le cadre des normes imposées par son permis d'environnement (contrôle des rejets, système de répulsion, etc.). Considérant que le fleuve au bord duquel s'implante la centrale ne présente pas une grande valeur écologique (espèces ubiquistes) et qu'un seul réacteur sur les trois est voué à être maintenu dans les prochaines années, aucune évolution négative du milieu n'est attendu.

Concernant les nuisances liées à la présence humaine (bruit, éclairages, etc.), celles-ci ne devraient pas être significatives étant donné que la centrale s'implante dans une région déjà fortement urbanisée et que l'exploitant a également mis en place des mesures pour réduire ses impacts acoustiques. De plus, des aménagements en faveur de la biodiversité ont été placés au niveau du site.

Enfin, la contribution de la prolongation de Tihange 3 aux pluies acides ne sera pas significative. En outre, il s'avère que le projet aura des incidences positives étant donné que l'électricité qui sera produite par le réacteur ne devra pas être produite par les centrales TGV qui dégagent nettement plus de gaz de combustion responsables de l'augmentation des fréquences des retombées acides.

En prenant en compte l'ensemble des éléments qui précèdent, il peut être considéré que la prolongation du réacteur Tihange 3 ne semble pas incompatible avec les objectifs de conservation fixés par la législation wallonne, transposant elle-même les objectifs européens visant à protéger les espèces et habitats d'intérêt.

Sur l'ensemble de la période, le report de la désactivation de Tihange 3 permet d'éviter des émissions d'environ 12.417 ktonnes CO₂éq. Cela équivaut à une économie annuelle de presque 10 % des émissions du secteur de la « production d'électricité et de chaleur » en Belgique en 2021 (12,8 Mtonnes). Les émissions attribuables au maintien de l'unité Tihange 3 sont de 16.760 tonnes CO₂éq., ce qui représente 0,13 % des émissions évitées, ce qui est négligeable par rapport à celles-ci. Le projet contribue donc à la réalisation de cet objectif et le score est positif.

Au cours de la période de référence de 10 ans, le projet n'aura pas d'impact supplémentaire sur la résilience de l'environnement aux effets du changement climatique. L'analyse présentée dans cette EIE montre également clairement que le site résiste aux impacts du changement climatique bien au-delà de ce qui devrait se produire en 2025. Le fait que Tihange 3 soit ou non en service sur la période de référence 2025-2037 n'y change rien. L'évaluation est donc neutre.

L'objectif pertinent et prédominant pour cette thématique est d'assurer la sécurité de la population. Dans la mesure où la centrale de Tihange est un établissement Seveso et, par conséquent, est soumise à une réglementation stricte, notamment en termes de prévention incendie, de prévention d'accidents majeurs et les effets dominos liés et d'inspections annuelles, il est estimé que la poursuite de ses activités pour une période de 10 ans n'entrave pas l'atteinte de l'objectif politique principal de cette thématique. Des effets psychosomatiques ne sont pas non plus attendus. On peut en revanche parler d'un effet positif sur la santé à maintenir Tihange 3 ouvert plus longtemps, dans la mesure où le risque de coupure d'électricité et les effets potentiels sur la santé qui y sont associés sont considérablement réduits.

8.1.2 Effets radiologiques

L'exposition potentielle aux rayonnements pour l'homme et l'environnement en fonctionnement normal est liée au rayonnement direct de la radioactivité présente sur le site et aux rejets gazeux et liquides contenant certaines concentrations de radioactivité.

Des relevés du réseau TELERAD exploités par le FANC-AFCN montrent que la dose de rayonnement externe à proximité de CN Tihange est bien inférieure à la limite légale de 1 mSv/an et ne peut être distinguée des variations locales du fond naturel.

Des relevés effectués lors d'un vol en hélicoptère au-dessus de CN Tihange confirment ce point de vue. Une augmentation du débit de dose est visible au-dessus d'un des bâtiments où sont traités et entreposés les déchets radioactifs et s'élève à environ 2 fois la valeur de fond. Cependant, le rayonnement est blindé latéralement et ne peut donc être mesuré qu'au-dessus du bâtiment et est également bien inférieur à la valeur de référence de 10 µGy/h, en dessous de laquelle les conséquences pour l'environnement (faune et flore) sont négligeables (par exemple pour les oiseaux).

La centrale nucléaire de Tihange n'a, dans la situation actuelle, pas d'impact radiologique mesurable significatif sur l'environnement par le biais de rejets atmosphériques ni sur l'Escaut. Cette conclusion s'applique bien entendu également si l'on ne tient compte que du fonctionnement de Tihange 3.

Un calcul basé sur les limites actuelles de rejets montre que même pour la « personne la plus exposée » (hypothétiquement), la dose résultant des rejets atmosphériques et liquides sera encore plus faible que la limite de dose effective pour le public de 1 mSv par an. Vu que dans la pratique les rejets réels ne composent qu'une fraction des limites autorisées, la dose réelle (pour l'ensemble du site CN Tihange) est naturellement encore plus basse ; elle ne s'élève qu'à environ 4,5 % de la limite de dose.

L'arrêt de Tihange 3 entraîne la disparition d'une partie des rejets gazeux et liquides radioactifs dans l'environnement. Les rejets directement liés au fonctionnement des réacteurs (et qui contribue également le plus à la dose résultant des rejets gazeux et liquides) vont disparaître. En revanche, certains rejets gazeux et liquides se poursuivront en phase post-opérationnelle.

Sur la base de l'expérience en Allemagne, on peut estimer de manière prudente que la dose efficace résultant des rejets gazeux et liquides, si Tihange 3 n'est pas prolongé (et que donc aucun réacteur n'est en service sur le site de Tihange), dans la première année après l'arrêt, sera tombée à un niveau inférieur à 0,01 mSv/an et dans les années suivantes diminuera encore en dessous de 0,005 mSv/an.

Si le projet est réalisé et que la durée de vie de Tihange 3 est donc prolongée, on peut supposer que les rejets gazeux et liquides liés à l'exploitation de Tihange 3 se poursuivront pendant 10 ans au même niveau qu'aujourd'hui, en supposant que le réacteur continuera à fonctionner à la même puissance et que le traitement des effluents gazeux et liquides restera inchangé. Une estimation prudente de la dose efficace due à l'exploitation seule de Tihange 3 donne une valeur de 0,01 mSv/an, et ceci est constant sur les 10 années d'exploitation prolongée. Ceci est bien en deçà de la licence actuelle d'exploitation et également inférieur d'un facteur 100 à la limite légale de 1 mSv/an. Une dose efficace de 0,01 mSv correspond à la dose supplémentaire qu'un individu reçoit des rayons cosmiques accrus sur un vol régulier de 5 heures, à une hauteur de 10 km. La dose efficace en fonctionnement normal du projet a donc un impact négligeable.

Dans le présent RIE, les effets du projet ont également été étudiés sur la dose qui résulterait des deux accidents de base de conception et d'un accident d'extension de la conception. Une analyse sur la base du dossier de sécurité de Tihange 3 révèle que les doses efficaces et les doses équivalentes à la thyroïde résultant des deux accidents de base de conception pour Tihange 3 restent dans les limites fixées. Cela vaut aussi si l'analyse est basée sur les directives de la FANC-AFCN pour les installations neuves de Classe 1. En cas d'accident d'extension de conception, la dose efficace semble être du même ordre que celle des deux accidents de base de conception, mais la dose équivalente à la thyroïde est plus faible.

Le projet comporte donc un risque limité lié à un accident (accident tant de base de conception que d'extension de conception). Pour l'ensemble du site de CN Tihange, cependant, le risque tombera, car pendant la période de 10 ans où la durée de vie est prolongée, seul Tihange 3 sera toujours exploité sur le site.

Il est prévu que le report de la désactivation du réacteur nucléaire de Tihange 3 entraînera une quantité complémentaire de déchets faiblement et moyennement radioactifs d'environ 405 m³ pour une période de production de 10 ans. Il s'agit principalement de déchets de catégorie A, avec seulement une quantité limitée de déchets de catégorie B. Par rapport aux 50 000 m³ environ de déchets de catégorie A actuellement inclus comme terme source dans le dossier de sûreté du stockage en surface, cela représente une augmentation marginale (< 1 %).

En supposant que la quantité supplémentaire de déchets de catégorie B est négligeable, le volume supplémentaire de déchets correspond à environ 253 monolithes ou 0,27 module dans l'installation de stockage pour les déchets de catégorie A. La capacité (volumétrique) de ce stockage est de 34 modules.

Par ailleurs, la prolongation de l'exploitation de Tihange 3 pendant 10 ans génèrera une quantité complémentaire d'environ 420 assemblages de combustibles usés. Cela représente une augmentation de 3,8 % par rapport à l'ensemble de l'inventaire belge de combustible en cas d'arrêt définitif.

Une solution de gestion à long terme devra être élaborée pour ces assemblages de combustibles, ce qui revient à un stockage géologique si les matières fissiles sont considérées comme des déchets. En supposant que le stockage se fera dans de l'argile peu indurée, avec des superconteneurs comme emballage primaire, la consommation supplémentaire ci-dessus correspondrait à 105 superconteneurs supplémentaires (Type SC-4) et à une longueur de galerie de stockage supplémentaire requise d'environ 650 m. Une quantité supplémentaire de combustible usé à stocker ne provoquera pas une augmentation proportionnelle de la dose ou du risque estimé.

8.2 Synthèse des effets transfrontières

CN Tihange se situe à une distance la plus courte de 38 km et 58 km respectivement des frontières néerlandaise et allemande.

La plupart des effets non radiologiques attribuables au report de la désactivation de Tihange 3 se limitent aux environs immédiats de la centrale nucléaire. Ils sont d'une ampleur limitée et n'entraînent dès lors pas d'effets transfrontières.

Seul le rejet d'eaux de refroidissement, influençant la température de la Meuse, pourrait avoir un impact sur une plus longue distance. Cependant, au vu des données de température de la Meuse au niveau de la dernière station de mesure avant les Pays-Bas, l'influence du rejet de l'eau de refroidissement peut être considéré comme négligeable (dépassements de 25°C moins nombreux et aucun dépassement de 28°C en moyenne journalière recensé ces 3 dernières années).

Il convient de noter que plusieurs effets transfrontières ne peuvent être exclus dans la situation de référence si la désactivation n'est pas reportée. L'importance et la nature de ces effets transfrontières dépendront dans une large mesure des endroits où la capacité de remplacement (théorique) est prévue, des caractéristiques techniques de ces installations et de leurs caractéristiques d'autorisation.

Les rejets radiologiques gazeux et liquides dans le fonctionnement de *toutes* les unités de CN Tihange ont, comme un impact négligeable et non perceptible (de l'ordre de 0,044 mSv/an) pour la personne hypothétiquement la plus exposée qui se trouve juste à l'extérieur du site de CN Tihange. La dose qui pourrait provenir d'un rayonnement du site reste dans les marges des variations naturelles. Compte tenu du fait que l'impact ne peut diminuer qu'avec la distance (dilution pour les rejets et la loi du carré inverse pour tout rayonnement direct), on peut affirmer qu'en fonctionnement normal de CN Tihange, et donc aussi lors de la prolongation de la durée de vie de Tihange 3, il n'y a pas d'effets transfrontières sur les personnes et l'environnement.

Les doses calculés pour les accidents considérés pour Tihange pour les pays voisins sont telles qu'aucune contre-mesure directe telle que la mise à l'abri ou l'administration d'iode stable n'est requise. Il n'est pas totalement exclu que des mesures très limitées et à court terme soient nécessaires en ce qui concerne la chaîne alimentaire. Le dépôt de radionucléides de longue durée de vie est très limité et l'impact radiologique de ces accidents reste donc limité.

Partie IV. Synthèse et conclusion générale Évaluation de l'impact environnemental du report de la désactivation de Doel 4 et Tihange 3

9 Synthèse des effets du projet

9.1 Évaluation des effets conventionnels

La prolongation de la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 implique que pendant une période supplémentaire de 10 ans, les eaux usées sanitaires (épurées), les eaux usées industrielles traitées et l'eau de refroidissement (réchauffée) seront rejetées dans l'Escaut maritime et la Meuse respectivement. Les normes de rejet étant respectées sur les deux sites et la contribution des rejets à la concentration des différents polluants dans les eaux de surface étant limitée, cela n'entraînera pas de détérioration de l'état écologique de l'Escaut maritime (Doel) ou de la Meuse (Tihange), à condition qu'une attention soutenue soit portée à la surveillance et aux ajustements en temps opportun. Le projet ne compromet pas non plus la réalisation du bon potentiel écologique des deux plans d'eau.

La discipline Biodiversité a étudié les effets du projet pour le site de Doel en termes de qualité des eaux de surface, d'effet de barrière, de mortalité, de nuisance, d'occupation de l'espace, d'eutrophisation et d'acidification. Aucun effet n'était à prévoir en ce qui concerne l'effet de barrière et l'occupation directe des terres. Pour la mortalité, il peut y avoir un effet (limité) dû à l'aspiration de l'eau de refroidissement. En termes de perturbations, il faut uniquement s'attendre à des changements en ce qui concerne les nuisances sonores. L'intérêt en est plutôt limité, vu que pendant la période de la prolongation de la durée de vie, la nuisance ne proviendra que de Doel 4. En outre, il s'agit d'un bruit existant qui est continu et prévisible, on ne s'attend donc pas à un impact significatif sur les espèces à proximité.

Les effets de l'exploitation de Doel 4 en termes de dépôts acidifiants et eutrophisants sont négligeables. De plus, d'autres facteurs tels que la qualité de l'eau de l'Escaut sont beaucoup plus décisifs pour la situation trophique à cet endroit. En revanche, des effets positifs sur le plan des dépôts d'azote peuvent être attendus des « émissions évitées » associées à 10 ans de production nucléaire supplémentaire.

Le rejet d'eau de refroidissement, d'eau sanitaire et d'eau industrielle entraîne une détérioration locale de la qualité de l'eau, qui, à Doel, reste toutefois limité à la zone située à l'intérieur de la digue longitudinale. Des effets significatifs sur l'ensemble de l'écosystème de l'Escaut sont évités de cette manière. Localement, rien n'indique que les effets soient préjudiciables aux organismes présents. Étant donné la désignation de l'Escaut lui-même comme Zone de la directive Habitats et l'importance possible de cette zone pour les oiseaux de la Zone de la directive Oiseaux il s'agit d'une conclusion importante.

Pour Tihange, il ressort de l'analyse que les effets du projet sur le milieu aquatique ne sont pas de nature à remettre en cause les stratégies de conservation des écosystèmes concernés, compte tenu des mesures prises par l'exploitant de l'installation, qu'elle soit ou non à l'intérieur du cadre des dispositions de son permis d'environnement (contrôle des rejets, système de répulsion, etc.). Étant donné que la Meuse à proximité de la centrale de Tihange n'a pas une grande valeur écologique (essentiellement des espèces ubiquitaires) et qu'un seul réacteur sur trois est voué à rester en fonctionnement dans les années à venir, aucune évolution négative du milieu aquatique n'est à prévoir.

La perturbation de la faune imputable à la présence humaine (bruit, éclairage, etc.) n'est pas considérée comme significative, car l'installation est située dans une région déjà fortement urbanisée et l'exploitant a également pris des mesures pour réduire les effets acoustiques de l'installation. Par ailleurs, des mesures ont également été prises sur le site pour renforcer la biodiversité locale.

La contribution de la prolongation de la durée de vie de Tihange 3 aux dépôts acides ne sera pas significative. Comme pour Doel 4, on peut même supposer un effet positif, car l'électricité qui sera produite par le réacteur ne doit pas nécessairement être produite par les installations de la TVG, qui émettent beaucoup plus de fumées responsables de l'acidification et du dépôt d'azote.

Compte tenu de l'ensemble des éléments ci-dessus, on peut supposer que la prolongation de la durée de vie de Tihange 3 n'est pas incompatible avec les objectifs de conservation fixés par la législation wallonne.

Le fonctionnement de KC Doel et CN Tihange peut également avoir un impact sur la qualité de l'air. Les principales sources ayant un impact possible sont les chaudières à vapeur et les moteurs diesel, qui n'ont toutefois qu'un nombre limité d'heures de fonctionnement annuellement. Étant donné que davantage d'installations d'incinération sont mises hors service au fil de la fermeture des autres réacteurs des deux sites, l'impact de ces installations diminuera encore.

Les calculs d'impact pour KC Doel montrent que l'impact sur la qualité de l'air aux abords est négligeable (moins de 1% des valeurs limites ou test retenues). Il n'est donc pas nécessaire de prendre des mesures d'atténuation.

Si la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 n'est pas prolongée, l'électricité devra plutôt être produite à partir de combustibles (partiellement) fossiles. Les émissions qui surviennent (et qui peuvent être considérées comme « évitées » lorsque la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 est prolongée) sont beaucoup plus élevées que les émissions qui surviennent pendant le fonctionnement de Doel 4 et Tihange 3, et l'impact sur la qualité de l'air sera aussi plus important.

Les émissions de gaz à effet de serre qui peuvent être attribuées au fonctionnement de Doel 4 et de Tihange 3 s'élèvent ensemble sur la période de la prolongation de la durée de vie à environ 31 ktonnes (cumulées). Les émissions de gaz à effet de serre évitées en gardant Doel 4 et Tihange 3 ouvert plus longtemps sont d'un autre ordre. Sur l'ensemble de la période, le report de la désactivation des deux réacteurs permet d'éviter des émissions d'environ 24 830 ktonnes de CO₂éq. Cela représente une économie annuelle équivalente à près de 20 % des émissions du secteur de la « production d'électricité et de chaleur » en Belgique en 2021 (12,8 Mtonnes). Si l'on compare avec les émissions rejetées par l'exploitation de Doel 4 et de Tihange 3 sur la même période (ensemble 31 ktonnes), on peut conclure que les émissions des deux réacteurs sur la période couverte par la prolongation de la durée de vie ne représentent ensemble que 0,12 % environ des émissions évitées sur la même période.

Ni Doel 4 ni Tihange 3 n'ont d'influence sur la résilience de leur environnement aux conséquences du changement climatique au cours de la période de référence. Dans la perspective temporelle de la prolongation de la durée de vie, les deux sites ne sont pas vulnérables non plus aux conséquences du changement climatique, et cette situation est indépendante de la prolongation ou non de la durée de vie de Doel 4 et de Tihange 3.

Le projet n'a pas de conséquences significatives sur la santé. En raison des mesures prises et, dans le cas de Doel, également des circonstances spécifiques (eau d'alimentation saumâtre), Legionella n'a jamais été un problème dans le passé, et il n'y a aucune raison de supposer que ce sera différent au cours de la période de prolongation de la durée de vie. En ce qui concerne la perception du risque en matière d'accidents nucléaires, on peut affirmer que la perception du risque existe, mais qu'il n'y a pas de lien démontrable avec les effets psychosomatiques. Enfin, on peut confirmer que la prolongation de la durée de vie de Doel 4 et de Tihange 3 réduit sensiblement les risques de coupure d'électricité (en particulier dans les premières années de la prolongation de la durée de vie), ayant donc un effet positif pour éviter les effets sur la santé et sur la sécurité qui sont susceptibles d'être associés aux coupures d'électricité. Enfin, on peut affirmer qu'en termes de sûreté externe, aucune augmentation significative du risque n'est attendue du fait de la prolongation de la durée de vie.

9.2 Évaluation des aspects radiologiques

9.2.1 Impact sur les personnes et l'environnement en fonctionnement normal

L'exposition aux rayonnements ionisants en fonctionnement normal et l'impact associé sur les personnes et l'environnement résultent, d'une part, du rayonnement direct des sites et des rejets gazeux et liquides radioactifs. La dose d'exposition au rayonnement direct à la frontière avec et à l'extérieur des sites est très faible et imperceptible. Il est indiscernable des variations naturelles du rayonnement de fond. Le rayonnement externe diminue également fortement avec la distance (loi du carré inverse).

Avec une prolongation de Doel 4 et Tihange 3 pour une période de 10 ans supplémentaires après 2025, les rejets liquides et gazeux en fonctionnement normal seront au même niveau que ceux résultant de l'exploitation de Doel 4 et Tihange 3 actuellement et au cours des dernières années. Les rejets gazeux et liquides ne représentent qu'une fraction des limites de rejet fixées dans les licences d'exploitation de KC Doel et CN Tihange et la dose est principalement déterminée par les rejets gazeux de carbone 14 (C-14). Ce radionucléide, également d'origine naturelle, est produit lors du fonctionnement des réacteurs par les neutrons libérés lors de la fission nucléaire.

La dose efficace résultant du projet (la prolongation de Doel 4 et Tihange 3 pour une période de 10 ans) résultant des rejets gazeux et liquides pour la personne la plus exposée (individu critique) est estimée à 0,010 mSv/an, et ce, pour la période de 10 ans d'exploitation supplémentaire. Il s'agit d'une dose insignifiante, bien inférieure à la limite légale de 1 mSv/an. De plus, cette dose est une estimation très prudente (individu critique : catégorie d'âge la plus sensible, lieu d'exposition maximale, alimentation provenant du lieu où les concentrations de radionucléides sont les plus élevées, ...).

Compte tenu de l'arrêt définitif, selon le calendrier actuel, des autres réacteurs des deux sites, il est prévu que l'exposition résultant des activités sur les sites de KC Doel et CN Tihange après 2025, également avec la prolongation de Doel 4 et Tihange 3, diminuera par rapport à la situation des dernières années. La dose efficace typique pour l'individu critique des rejets gazeux et liquides a été estimée ces dernières années à environ 0,02 mSv/an pour KC Doel et 0,03-0,05 mSv/an pour CN Tihange, selon la période considérée et les hypothèses. Après 2025, et avec la prolongation de Doel 4 et Tihange 3, la dose efficace dans la période considérée du projet diminuera pour l'ensemble du site de KC Doel de 0,017 à 0,013 mSv/an et pour CN Tihange de 0,020 à 0,015 mSv/an. Cette diminution est due au fait qu'une diminution en fonction du temps est attendue des rejets après la mise à l'arrêt de Doel 1, 2 et 3 pour KC Doel et de Tihange 1 et 2 pour CN Tihange. L'impact sur l'environnement est également négligeable et diminuera encore pour l'ensemble des sites de KC Doel et CN Tihange, également avec la prolongation de Doel 4 et Tihange 3. La surveillance des rejets gazeux et liquides et la surveillance de l'environnement dans le cadre du programme de supervision et d'un programme spécifique mené par l'exploitant permettront de surveiller en permanence l'impact sur les personnes et l'environnement. Étant donné que les doses et l'impact sur les personnes et l'environnement sur le périmètre du site sont négligeables, il n'y a pas non plus d'effets transfrontières en fonctionnement normal.

Enfin, nous aimerions faire remarquer que pendant la période d'exécution du Projet, il est possible de commencer le démantèlement d'un seul ou plusieurs des autres réacteurs. Cela pourrait influencer la situation radiologique, mais ne relève pas de l'objet de la présente évaluation de l'impact environnemental. Cela nécessite une évaluation distincte de l'impact environnemental.

9.2.2 Impact sur les personnes et l'environnement en cas d'accident

Il y a eu deux accidents de conception de base, à savoir l'accident par perte de réfrigérant primaire - APRP (en anglais Loss Of Coolant Accident - LOCA) et l'accident de manutention d'assemblage de combustible irradié (Fuel handling Accident - FHA), qui peuvent être considérés comme primordiaux pour ce type d'accident, et un accident d'extension de conception, une panne complète de station (Complete Station Black-Out - CSBO) avec fusion du cœur, qui à son tour correspond à celle-ci peut être considérée comme représentative, étudiée pour les deux réacteurs Doel 4 et Tihange 3. Les effets des deux accidents de base de conception s'inscrivent dans les limites des données générales au titre de l'article 37 du traité Euratom. Cependant, les évaluations selon les directives de la FANC-AFCN/Bel V pour les nouvelles installations de Classe 1 ont également été utilisées pour l'analyse d'impact. Les résultats de cette analyse s'inscrivent également dans les limites des données générales au titre de l'article 37 du traité Euratom. Strictement parlant, cette dernière évaluation n'est pas applicable ici, car Doel 4 et Tihange 3 sont déjà des installations de Classe 1 existantes. Cependant, c'est l'analyse unique qui a été utilisée pour évaluer les effets de l'accident CSBO et cette analyse donne également un aperçu d'un éventail plus large d'effets qui peuvent être associés à un accident pour les accidents de base de conception (LOCA et FHA), tels que la contamination du sol.

Bien que Doel 4 et Tihange 3 soient des réacteurs de même type et de même puissance, une différence peut être observée dans les effets pour un même scénario d'accident. Cela tient à la conception précise (volume du bâtiment du réacteur, taux de fuite vers l'extérieur, etc.) et aux systèmes de sûreté vis-à-vis des quantités de radioactivité rejetées dans l'environnement, mais aussi à la hauteur du rejet (hauteur de la cheminée) avant les accidents sur les deux sites. Il convient également de noter que des estimations prudentes sont réalisées, tant sur les quantités de radioactivité rejetées lors des accidents (dans les scénarios envisagés) que sur le calcul de l'impact. Cela signifie que dans le cas d'un accident réel qui se déroule selon les scénarios envisagés (y compris le fonctionnement des systèmes de sûreté), les effets seront toujours, ou presque toujours, moindres.

Pour Tihange 3, pour les 3 accidents considérés, selon les directives pour les nouvelles installations de Classe 1, la dose efficace et la dose équivalente à la thyroïde lors de l'accident ne dépassent pas les niveaux de référence spécifiques pour les mesures de protection immédiates et urgentes telles que la mise à l'abri, l'évacuation ou l'administration d'iode stable (ingestion d'aliments contaminés, car cela peut être facilement évité). La dose efficace est la plus élevée pour l'accident d'extension de conception (CSBO) et est de 4,29 mSv sur la durée de l'accident (5 mSv en 24 heures est le niveau de référence pour la mise à l'abri¹⁴⁰). Cette dose est comparable à la dose qu'un Belge moyen reçoit par an tant du rayonnement naturel que des applications de diagnostic médical. La dose à la thyroïde est limitée dans cet accident en raison du Containment Filter Venting System (CFVS) qui, selon la licence d'exploitation, doit être utilisé dans un tel accident. Ce système filtre de manière significative l'iode et les aérosols présents (dont le Cs-137 de longue durée de vie) et la dose efficace est donc largement due au rayonnement des gaz nobles radioactifs dans le nuage sus-jacent. L'accident FHA donne la dose à la thyroïde la plus élevée des accidents considérés (4,95 mSv pour Tihange pour la catégorie d'âge 1-2 ans). Ceci est le résultat du rejet d'isotopes d'iode. Dans cet accident ainsi que dans l'accident LOCA, il est possible que la chaîne alimentaire soit contaminée par l'iode radioactif et des contre-mesures seront indispensables. Compte tenu des demi-vies limitées des isotopes de l'iode, la contamination sera limitée dans le temps. La contamination par des radionucléides de longue durée de vie tels que le Cs-137 est très limitée (LOCA uniquement) et donc aucun impact sur la chaîne alimentaire n'est attendu dans les scénarios d'accident. La dose efficace tout au long de la vie (plus de 50 ans pour les adultes et jusqu'à 70 ans pour les autres catégories d'âge) consécutive aux accidents est limitée et bien inférieure à 1 Sv. L'impact transfrontière de tous les accidents considérés pour Tihange 3 est très limité en raison de la distance avec les pays voisins. Les doses sont limitées et la contamination par l'iode radioactif est possible, mais sera estimé prudemment sur le point de prendre des contre-mesures.

Pour l'accident de Doel 4 considéré, équivalent à Tihange 3, d'après l'analyse des nouvelles installations de Classe 1, la dose efficace est la plus élevée pour l'accident CSBO et s'élève à 8,89 mSv, soit donc un dépassement du niveau de référence pour la mise à l'abri (5 mSv en 24 u), mais reste nettement inférieur au niveau de référence pour l'évacuation (50 mSv en 1 semaine). Les doses équivalentes à la thyroïde sont similaires pour l'accident LOCA et FHA pour Doel 4 et s'élèvent à environ 35 mSv (catégorie d'âge 1-2 ans). Ces valeurs sont supérieures au niveau de référence pour l'administration d'iode stable pour les enfants et les femmes enceintes (dose équivalente à la thyroïde de 10 mSv). Sur la base des estimations prudentes du dépôt d'isotopes d'iode, les valeurs dérivées pour la chaîne alimentaire seront également dépassées pour les accidents de base de conception considérés pour Doel 4 et des contre-mesures pour la chaîne alimentaire peuvent donc s'avérer indispensables (typiquement pour le lait, les légumes à feuilles et la viande). Également pour le scénario d'accident CSBO pour Doel 4, il est possible que le niveau dérivé pour la concentration dans le sol de 4000 Bq/m² soit dépassé et que des mesures pour la chaîne alimentaire soient donc indispensables. Dans cet accident, cependant, le dépôt d'iode est plus faible que dans les accidents de base de conception (LOCA et FHA). Cependant, pour tous les scénarios d'accident, cela sera à nouveau limité dans le temps en raison de la demi-vie limitée des principaux isotopes de l'iode (demi-vie de 8,02 jours pour l'I-131). La contamination par des radionucléides de longue durée de vie comme le Cs-137 sera très limitée et ne

¹⁴⁰ Les niveaux de référence ne doivent pas être considérés comme des limites. En situation réelle, la mise à l'abri pourrait être recommandée, d'une part en raison de l'incertitude qui existe dans toute situation accidentelle, mais aussi parce qu'une limitation de l'exposition (optimisation des doses) peut être mise en balance avec les effets néfastes de la mise à l'abri dans le cadre du principe de précaution.

nécessitera pas de contre-mesures dans les scénarios envisagés. Un an après l'accident, aucune contre-mesure n'est donc à prévoir. Par ailleurs, les doses efficaces tout au long de la vie sont également très inférieures à 1 Sv pour les scénarios d'accident de Doel 4.

L'impact transfrontière des accidents reste limité. Pour tous les scénarios d'accident envisagés pour Doel 4 et Tihange 3, aucune contre-mesure immédiate telle que la mise à l'abri, l'évacuation ou la prise d'iode stable pour protéger la glande thyroïde n'est nécessaire dans les pays voisins. Aux Pays-Bas principalement, compte tenu de la proximité de Doel 4, une contamination de la chaîne alimentaire par des isotopes de l'iode est possible, ce qui nécessiterait des contre-mesures. Dans les autres pays voisins, cette éventualité est très peu probable, tant pour Doel 4 que pour Tihange 3, mais n'est pas totalement exclue pour certains pays. Toutefois, la contamination par des isotopes de l'iode est de courte durée, étant donné la demi-vie limitée. La contamination par des radionucléides à longue durée de vie tels que le césium 137 est très limitée et ne nécessite pas de contre-mesures. La dose à vie due aux scénarios d'accident envisagés est donc très limitée dans tous les pays voisins.

Pour l'impact sur la faune et la flore, compte tenu des quantités rejetées et des dépôts associés dans les différents scénarios d'accident, on peut s'attendre à un effet très modéré à négligeable pour Doel 4 et à un effet négligeable pour Tihange 3. Il s'agit là encore d'estimations prudentes.

Étant donné qu'après 2025, selon le calendrier actuel, Doel 4 et Tihange 3 sont les deux seuls réacteurs sur les sites respectifs de KC Doel et CN Tihange qui sont exploités pour la production d'électricité, la probabilité d'un accident grave sur les deux sites diminue. Après l'arrêt définitif des autres réacteurs, la radioactivité chute rapidement, un accident reste possible (par perte de refroidissement par exemple), mais les rejets radioactifs potentiels et donc aussi l'impact potentiel diminueront rapidement dans le temps. L'impact d'éventuels événements multi-tranches sur les deux sites (accidents impliquant plus d'installations, comme l'accident de Fukushima-Dai-ichi) sera donc également moindre après 2025. Compte tenu de la distance physique entre les sites des deux réacteurs, la probabilité d'un accident simultané impliquant Doel 4 et Tihange 3 est beaucoup plus faible que les événements multi-tranches sur le même site.

9.2.3 Impact sur la production de déchets et de combustibles usés

Une prolongation de l'exploitation des tranches Doel 4 et Tihange 3 conduira à la création d'une quantité supplémentaire de déchets faiblement et moyennement radioactifs qui, sur la base de moyennes à long terme, est estimée à un total de 864 m³ pour la période LTO actuellement proposée de 10 ans. Il s'agit principalement de déchets de catégorie A, avec seulement une quantité limitée de déchets de catégorie B, qui peuvent inclure certaines résines et certains filtres. Par rapport aux ~50 000 m³ de déchets de catégorie A actuellement inclus comme terme source dans le dossier de sûreté du stockage en surface, cela représente une augmentation marginale (~ 1,7 %).

En supposant que la quantité de déchets de catégorie B est négligeable, le volume supplémentaire de déchets correspond à environ 2161 colis de 400L qui seront conditionnés dans 540 unités de stockage (monolithes) pour stockage en surface dans l'installation prévue à cet effet à Dessel, pour laquelle la procédure de licence est terminée. La capacité (volumétrique) du stockage est de 34 modules, avec une réserve importante de 20 % soit 5,4 modules, pour tenir compte des incertitudes entourant la production future de déchets de catégorie A. Les déchets supplémentaires qui seraient produits par la LTO de Doel 4 et Tihange 3 occuperont 0,6 module. Comme il s'agit de la prolongation d'une activité existante, donnant lieu à des familles de déchets aux caractéristiques connues, on ne s'attend pas à d'autres impacts pour la gestion des déchets à court ou à long terme.

Une estimation a également été faite du nombre cumulé d'assemblages de combustibles qui seront consommés pendant une période LTO de 10 ans à Doel 4 et Tihange 3. Pour les deux tranches réunies, la LTO se traduira par une consommation supplémentaire d'environ 810 assemblages de combustibles (type UOX 14ft). Pondéré par rapport à l'ensemble du parc belge de réacteurs, cela correspond à un surplus de 7,3 % en nombre d'assemblages de combustible, soit 8,9 % en tonnes de métal lourd (tHM).

Compte tenu de cette quantité relativement limitée et en supposant que les propriétés de ces éléments seront similaires à celles des éléments combustibles existants, on ne s'attend à aucune incidence sur leur gestion future. Le report de la désactivation de Doel 4 et de Tihange 3 permet d'étaler la déconnexion du réseau des tranches sur les deux sites, au lieu de la condenser fortement sur quelques années. Les installations de stockage de SF² à Doel et Tihange, qui sont en cours de construction, fourniront une capacité suffisante pour un entreposage sûr sur les sites, en attendant une décision sur la gestion à long terme.

De grandes quantités de flux de matériaux sont générés lors des opérations de démantèlement, dont la majorité peut être rejetée et recyclée. Cependant, le cœur de l'installation, c'est-à-dire la cuve du réacteur et les parties internes, peut être considéré comme un déchet radioactif. La classification des déchets (catégorie A ou B) est basée sur la concentration de radioactivité des radionucléides importants pour la sûreté et dépend donc du flux de neutrons pendant le fonctionnement du réacteur et de la durée d'irradiation. Les calculs d'activation des différentes parties de l'acier de la cuve ont démontré que l'activité totale augmente à peine, et que la petite fraction d'isotopes de longue durée de vie (importante pour la gestion à long terme) augmentera d'environ 25 %, proportionnellement à la durée de la prolongation d'exploitation de 10 ans. On s'attend à ce que cette augmentation limitée de l'activité en raison de la LTO n'ait que peu ou pas d'effet sur la délimitation de la zone de transition entre les déchets de catégorie A et de catégorie B. Aucun déplacement significatif n'est donc attendu sur les volumes de déchets.

9.3 Mesures d'atténuation et lacunes dans les connaissances pour les effets non radiologiques

9.3.1 Mesures d'atténuation

Compte tenu des effets non radiologiques (très) limités du projet, des mesures d'atténuation ne sont pas à l'ordre du jour. Cependant, un certain nombre de recommandations peuvent être formulées pour la discipline Eau.

Pour le site de Doel, il s'agit de :

1. Empêcher le drainage des eaux souterraines et des eaux de refroidissement dans le réseau d'égouts mixtes et séparer les eaux de pluie (par exemple dans le cadre de nouveaux projets ou de travaux d'entretien), ce qui entraîne une dilution des eaux usées et des débordements fréquents.
2. Une optimisation permanente du traitement des eaux usées est recommandée pour continuer à résoudre les anciens problèmes (nitrite, AOX), un relevé plus cohérent de plusieurs autres paramètres permettant de vérifier si les normes de rejet sont respectées ;
3. Les modifications et rénovations futures doivent être suffisamment résistantes aux inondations et au climat pour absorber les conséquences de précipitations plus intenses à l'avenir et ne pas transférer les inondations à la zone environnante ;
4. L'arrêt de Doel 3 (2022) et Doel 1 et 2 (2025) peut être utilisé pour optimiser l'épuration de l'eau et la gestion des eaux (de pluie) pour Doel 4.

Les recommandations suivantes s'appliquent tant à Doel qu'à Tihange :

1. Séparer l'eau de pluie des eaux usées sanitaires et réutiliser l'eau de pluie comme eau sanitaire, éviter autant que possible la consommation d'eau de ville.
2. Adoucissement (infiltration), création de toitures végétalisées ou de plans d'eau (tamponnage) sur le site pour réduire l'effet d'îlot de chaleur, pour retenir et stocker plus localement l'eau (de pluie) et pour éviter la dessiccation ;
3. Réglage fin anticipé de la capacité de refroidissement en fonction de la surveillance de la température de l'Escaut maritime et de la Meuse.

9.3.2 Lacunes dans les connaissances et surveillance

Pour le thème de l'Eau, on manque d'informations sur la proportion précise d'eaux usées provenant de Doel 4 et de Tihange 3 et donc sur la contribution exacte de l'exploitation de Doel 4 et de Tihange 3 respectivement à la pollution résiduelle se retrouvant dans l'Escaut et dans la Meuse.

Pour le thème de l'Air, les principales lacunes dans les connaissances sont liées aux émissions des installations de combustion, car les valeurs mesurées et les caractéristiques du modèle ne sont connues pour toutes les installations. Ces lacunes étaient comblées en utilisant des facteurs d'émission tirés de la littérature et des hypothèses. Cela conduit à une incertitude accrue sur les résultats des calculs d'impact, mais même si cela est pris en compte, on peut dire que l'impact est négligeable.

Enfin, il y a l'incertitude quant à la manière dont toute capacité perdue de Doel 4 et Tihange 3 (si le projet n'est pas réalisé) serait comblée. Cela signifie que les effets sur la qualité de l'air et les dépôts d'azote, entre autres, ne peuvent pas être estimés avec précision dans la situation de référence.

Pour Tihange, il est proposé de vérifier le statut Seveso du site après la mise à l'arrêt de Tihange 1 et 2. Même si, dans en pareil cas, la centrale n'était plus classée en installation Seveso, une attention doit être portée à la prévention des accidents afin de maîtriser les risques éventuels en termes de sécurité pour la population.

9.4 Mesures d'atténuation et lacunes dans les connaissances concernant les effets radiologiques

9.4.1 Planification d'urgence

9.4.1.1 Objectif et concepts de base

L'objectif de la planification d'urgence nucléaire est de s'assurer qu'il existe une capacité suffisante au sein de l'organisation opérationnelle et aux niveaux local, régional et national et, le cas échéant, au niveau international, pour répondre efficacement à une situation d'urgence nucléaire. Cette capacité fait référence à un ensemble intégré d'éléments d'infrastructure qui comprennent notamment : l'autorité compétente et les responsabilités, l'organisation et le personnel, la coordination, les plans et les procédures, les instruments, les équipements et les installations, la formation, les exercices et les entraînements, et un système de gestion^{xcvi}.

En cas d'urgence nucléaire ou radiologique, il y a les objectifs suivants :

- d) Reprendre le contrôle de la situation et en limiter les conséquences ;
- e) Sauver des vies ;
- f) Éviter ou minimiser les effets déterministes graves ;
- g) Prodiguer les premiers soins, assurer les traitements médicaux critiques et gérer le traitement des lésions dues aux radiations ;
- h) Réduire le risque d'effets stochastiques ;
- i) Tenir la population informée et maintenir la confiance du public ;
- j) Minimiser les effets non radiologiques ;
- k) Protéger autant que possible les biens et l'environnement ;
- l) Se préparer, dans la mesure du possible, à la reprise d'une activité sociale et économique normale.

Cadre légal

Directives internationales et européennes

Le Tableau 101 présente les principales directives européennes et internationales relatives à la planification d'urgence nucléaire.

Tableau 101 : Directives européennes et internationales pertinentes concernant la planification d'urgence nucléaire.

Directive internationale et européenne	Contenu pertinent concernant la planification d'urgence nucléaire
2013/59/Euratom ^{xcvii}	La directive exige des États membres qu'ils mettent en place un système de gestion des catastrophes prévoyant des plans d'urgence pour les différents types d'urgences nucléaires et radiologiques identifiés qui peuvent se présenter. La directive 2013/59/Euratom du 5 décembre 2013 est partiellement traduite dans l'AR du 1er mars 2018 portant fixation du plan d'urgence nucléaire et radiologique pour le territoire belge (voir Tableau 102).
IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1 ^{xcviii}	Ces lignes directrices décrivent des réponses appropriées à une série d'urgences nucléaires ou radiologiques.
IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7 ^{xcviii}	Cette publication établit les exigences d'un niveau de préparation adéquat pour une urgence nucléaire ou radiologique. L'application de ces exigences vise à atténuer les conséquences d'une urgence nucléaire ou radiologique si celle-ci devait se produire malgré tous les efforts déployés pour la prévenir.
ICRP Publication 63 ^{xcix}	Cette publication fournit des indications quantitatives pour les niveaux d'intervention. Ces lignes directrices concernent l'introduction de mesures de protection à très court terme et leur maintien sur une période plus longue.
ICRP Publication 109 ^c	Ce rapport fournit des lignes directrices sur la préparation et la réaction à toutes les situations d'exposition aux rayonnements en cas d'urgence nucléaire ou radiologique.
WENRA Safety Reference Level for Existing Reactors 2020 ^{ci}	Ce rapport contient des directives sur une approche harmonisée de la sûreté nucléaire dans les différents États membres.

Législation belge

Vous trouverez ci-dessous un aperçu de la législation belge pertinente pour la planification d'urgence nucléaire (Tableau 102).

Tableau 102 : Législation belge pertinente pour la planification d'urgence nucléaire.

Nature	Table des matières
Loi du 15 avril 1994 relative à la protection de la population et de l'environnement contre les dangers résultant des rayonnements ionisants et relative à l'AFCN. ^{cii}	Cette loi comprend des dispositions pour une protection efficace de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants. La loi prévoit également la création d'une institution publique dotée de la personnalité juridique : « l'Agence fédérale pour le contrôle nucléaire », en abrégé AFCN, qui est chargée de veiller au respect de cette loi et de ses arrêtés d'exécution.
RGPRI (20/07/2001) ^{ciii}	Ce règlement s'applique à toutes les actions susceptibles d'entraîner un risque suite à l'exposition à des rayonnements ionisants émis par une source de rayonnement artificielle ou naturelle, lorsque des radionucléides naturels sont ou ont été traités en raison de leurs propriétés radioactives, de leurs propriétés fissiles ou de leurs propriétés de culture. Cet arrêté royal fixe notamment les normes de base de la protection contre l'exposition aux rayonnements ionisants.
Circulaire ministérielle NPU-1 concernant les plans d'urgence et d'intervention (26/10/2006) ^{civ}	Cette circulaire fournit de plus amples explications sur les dispositions et les principes contenus dans l'arrêté royal du 16 février relatif aux plans d'urgence et d'intervention.

AR portant prescriptions de sûreté des installations nucléaires (30/11/2011) ^{cv}	Cet arrêté s'adresse aux exploitants d'installations nucléaires de classe 1, et en particulier de réacteurs nucléaires pour la production d'électricité. Il promulgue une série de règles de sécurité que l'exploitant doit appliquer.
AR modifiant le RGPRI (20/07/2020) ^{cvii}	Cet AR modifie diverses dispositions du RGPRI afin de transposer partiellement la directive 2013/59/EURATOM. Certaines dispositions supplémentaires sont également insérées.
AR portant fixation du plan d'urgence nucléaire et radiologique pour le territoire belge, MB 6 mars 2018 ^{cviii}	<p>Cet AR établit le plan d'urgence nucléaire et radiologique pour le territoire belge. Ce plan vise à assurer la coordination des mesures de protection de la population et de l'environnement en cas de situation d'urgence radiologique menaçant directement ou indirectement le territoire belge. Le plan définit les tâches à accomplir et les compétences de toutes les parties concernées.</p> <p>La Belgique dispose d'un plan d'urgence nucléaire et radiologique national depuis 1991. Depuis lors, de nombreuses mises à jour ont été effectuées. Après consultation de tous les partenaires (inter)nationaux concernés, le plan d'urgence nucléaire et radiologique pour le territoire belge a été mis à jour en 2018.</p>

9.4.1.2 Plans d'urgence internes et externes pour les installations nucléaires de KC Doel et CN Tihange

Le plan d'urgence de chaque tranche nucléaire belge est systématiquement décrit dans le rapport de sûreté et approuvé au moment de la délivrance du permis. En outre, le plan d'urgence « interne » contient des instructions pour tous les acteurs.

En cas d'accident dans une tranche nucléaire de KC Doel ou CN Tihange, la salle des commandes dans la centrale concernée (c'est-à-dire le Centre technique sur le site) est activée et gère tous les problèmes techniques afin de maîtriser l'accident et d'en limiter les conséquences. Au niveau du site, la Salle du Plan d'urgence (SPU Tihange) / Noodplankamer (NPK Doel) gère les impacts environnementaux et assure la liaison avec le CGCCR (Centre Gouvernemental de Coordination et de Crise)^{cviii}.

9.4.1.3 Harmonisation entre les pays limitrophes pour KC Doel et CN Tihange

Il est souhaitable que les pays coordonnent au préalable leurs principes concernant l'approche à suivre en cas d'accident nucléaire transfrontière^{ciix}. Cela permet d'éviter que les mesures prises d'un côté de la frontière soient sensiblement différentes de celles prises de l'autre côté. Dans ce contexte, l'accord européen de coopération HERCA-WENRA^{cx} favorise l'harmonisation dans les zones frontalières autour des centrales nucléaires.

L'harmonisation signifie dans cette approche que le pays voisin ne prenne pas de mesures en conflit avec celles du pays source ou allant au-delà.

Les Pays-Bas, la France, la Belgique et l'Allemagne ont formulé des politiques visant à préparer des mesures de protection comparables en cas d'accident nucléaire (voir Tableau 103).

Tableau 103 : Valeurs indicatives d'intervention (VII) et zones de préparation ou de planification d'urgence (rayon des cercles en km) (ZPU) fixées par la Belgique, les Pays-Bas, l'Allemagne et la France autour de la centrale nucléaire de Doel et Tihange pour les mesures de protection immédiate en cas d'urgence nucléaire.

	Politique Belgique		Politique Pays-Bas		Politique Allemagne		Politique France	
	VII	ZPU	VII	ZPU	VII	ZPU	VII	ZPU
Zone réflexe	-	3,5 km ⁽¹⁴¹⁾	-	-	-	5 km ⁽¹⁴²⁾	-	2 km ⁽¹⁴¹⁾
Évacuer	50 mSv ⁽¹⁴³⁾	10 km	100 mSv	10 km	100 mSv ⁽¹⁴³⁾	10 km	50 mSv	(5 km ⁽¹⁴⁴⁾)
Se mettre à l'abri	5 mSv ⁽¹⁴⁵⁾	20 km	10 mSv	20 km	100 mSv ⁽¹⁴³⁾	100 km	10 mSv	10 km (→ 20 km ⁽¹⁴⁴⁾)
Prophylaxie à l'iode								
- ≤ 40 ans ⁽¹⁴⁶⁾	50 mSv ⁽¹⁴⁷⁾	20 → 100 km ⁽¹⁴⁸⁾	100 mSv	20 km	250 mSv ⁽¹⁴⁹⁾	100 km	50 mSv	-
- ≤ 18 ans et femmes enceintes	100 mSv ⁽¹⁴⁷⁾	20 → 100 km ⁽¹⁴⁸⁾	50 mSv	100 km	50 mSv ⁽¹⁴⁹⁾	Allemagne	50 mSv	-

Source : <https://www.herca.org/download/4719/>, <https://www.herca.org/download/4735/> <https://www.herca.org/download/4720/> en <https://www.herca.org/download/4712/>

9.4.1.4 Organisation des exercices de planification d'urgence pour KC Doel et CN Tihange

KC Doel et CN Tihange organisent des exercices internes plusieurs fois par an. En outre, le plan d'urgence nucléaire et radiologique pour le territoire belge prévoit qu'un exercice annuel de plan d'urgence soit organisé pour KC Doel et CN Tihange par le centre de crise. Tous les trois ans, un exercice de grande ampleur doit être organisé pour un site nucléaire, en principe en impliquant toutes les disciplines. Il existe deux types d'exercices^{Cxi} :

- Des exercices théoriques : les différents acteurs s'assoient ensemble autour de la table et discutent de la façon dont ils agiraient dans la réalité ;
- Des exercices sur le terrain : l'exercice est organisé sur le lieu de la situation d'urgence (simulée). En principe, il y a un déploiement réel d'hommes et de ressources sur ce lieu, mais différentes modalités sont possibles.

Conformément aux objectifs poursuivis, le centre de crise fait participer à ces exercices les différentes disciplines (pompiers, assistance médicale, police, protection civile, équipes de mesure, etc.).

Le Tableau 104 et le Tableau 105 illustrent les exercices pour KC Doel et CN Tihange au cours des 10 dernières années. Il y eu 2 fois un exercice pour Doel 4, et 5 fois un exercice pour Tihange 3.

¹⁴¹ Abri immédiat en cas de General Emergency – reflex mode.

¹⁴² Évacuation immédiate en cas de General Emergency – reflex mode.

¹⁴³ Dose efficace intégrée totale sur 7 jours (inhalation et rayonnement externe).

¹⁴⁴ En préparation

¹⁴⁵ Dose efficace intégrée totale sur 24 heures (inhalation et rayonnement externe).

¹⁴⁶ 45 ans pour l'Allemagne.

¹⁴⁷ Dose totale intégrée équivalente à la thyroïde (inhalation)

¹⁴⁸ Zone d'extension.

¹⁴⁹ Dose totale intégrée à la thyroïde sur 7 jours (inhalation)

Tableau 104 : Exercices KC Doel au cours des 10 dernières années (Source : NCCN).

Exercice	Date	Installation	Ampleur de l'exercice
Exercice KC Doel 2012	29 mars 2012	Doel 2	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.
Exercice KC Doel 2013	22 octobre 2013	Doel 3	Exercice avec encadrement méthodologique et déploiement sur le terrain.
Exercice KC Doel 2014	14 octobre 2014	Doel 2	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.
Exercice KC Doel 2015	26 mars 2015	Doel 4	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.
Exercice KC Doel 2016	15 mars 2016	Doel 1	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.
Exercice KC Doel (DoelEx) 2017	21 novembre 2017	Doel 3	Exercice avec encadrement méthodologique et déploiement sur le terrain.
Exercice KC Doel 2018	8 mai 2018	Doel 4	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.
Exercice KC Doel 2019	21 mars 2019	Doel 2	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.
Exercice KC Doel 2020	14 septembre 2020	Doel 1	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.
Exercice KC Doel 2021	19 octobre 2021	Doel 2	Exercice avec encadrement méthodologique sans déploiement sur le terrain.
Exercice KC Doel 2022	17 mai 2022	Doel 3	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.

Tableau 105 : Exercices CN Tihange au cours des 10 dernières années (Source : NCCN).

Exercice	Date	Installation	Ampleur de l'exercice
Projet d'Exercice Grande Ampleur Site Electrabel SA Tihange (PEGASE) 2012	20 et 21 novembre 2012	Tihange 3	Exercice avec encadrement méthodologique et déploiement sur le terrain.
Exercice Tihange 2013	5 décembre 2013	Tihange 1	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.
Exercice Tihange 2014	26 mai 2014	Tihange 3	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.
Exercice Tihange 2015	26 novembre 2015	Tihange 1	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.
Exercice Tihange 2016	29 novembre 2016	Tihange 3	Exercice avec encadrement méthodologique et déploiement <u>CELMES</u> sur le terrain.
Exercice Tihange 2017	24 novembre 2017	Tihange 1	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.
Exercice Tihange 2018	30 novembre 2018	Tihange 3	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.
Exercice Tihange 2019	16 mai 2019	Tihange 2	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.
Exercice Tihange (TihEx) 2020 phase 1*	17 mars 2021	Tihange 3	Exercice avec encadrement méthodologique et déploiement sur le terrain.
Exercice Tihange (TihEx) 2020 phase 2*	29 juin 2021		
Exercice Tihange (TihEx) 2022	28 novembre 2022	Tihange 2	Exercice d'ampleur limitée sans déploiement sur le terrain.
Exercice Celmes 2022	25 – 26 novembre 2022	Tihange ?	Exercice avec encadrement méthodologique et déploiement sur le terrain.

9.4.2 Lacunes dans les connaissances

Diverses incertitudes peuvent jouer un rôle dans le calcul de l'impact radiologique des rejets, comme la quantité et les caractéristiques des radionucléides rejetés (ledit terme source), les conditions météorologiques, la localisation et l'âge des personnes et les modes de vie locaux (par exemple, le régime alimentaire). Pour calculer l'impact en fonctionnement normal, les rejets sont bien connus et les conditions météorologiques sont prises en compte pour une année (de référence) complète. En outre, on considère que la personne la plus exposée a des habitudes de vie très prudentes en ce qui concerne l'impact radiologique. Cela aboutit à une estimation prudente de l'impact radiologique. Pour les scénarios d'accident également, des hypothèses prudentes sont faites, mais l'exposition réelle lors d'un accident dépend des quantités exactes de radionucléides rejetés, des conditions météorologiques précises (par exemple, averses locales) ainsi que de la localisation et des habitudes des personnes. Cela peut éventuellement être complété en cas d'accident par des contre-mesures telles que la mise à l'abri, l'administration d'iode stable et l'évacuation. Nonobstant les incertitudes décrites ci-dessus, en fonctionnement normal, les doses auxquelles on est exposé sont extrêmement faibles (bien inférieures à 1 mSv/an), mais en situation d'accident aussi, dans la plupart des cas, la dose encourue sera limitée pour la totalité ou la majeure partie de la population exposée (voir §9.2.2). Les doses sont donc bien inférieures à celles qui correspondent à l'apparition d'effets déterministes (les effets déterministes doivent être évités à tout moment, y compris dans les situations d'accident : voir les concepts de base (voir §2.3.2 et § 9.4.1), mais aussi presque toujours bien inférieures aux doses efficaces lorsque les études épidémiologiques peuvent démontrer des effets stochastiques du rayonnement (apparition de cancers et effets

génétiques (voir §2.3.2) [référence aux § Concepts de base de la radioprotection utilisés dans l'évaluation]. En effet, la probabilité que ces effets se produisent est très réduite à des doses aussi faibles, et ce, en plus d'une forte occurrence spontanée des mêmes effets. Bien que, en vertu du principe de précaution, nous associons la possibilité d'apparition d'effets stochastiques à chaque exposition supplémentaire encourue (dose), aussi faible soit-elle, il n'est pas possible de confirmer cette occurrence avec certitude. Nous savons seulement avec certitude que la probabilité de cette occurrence est très faible, voire inexistante (<0,57 % à une dose efficace de 100 mSv : voir § 2.3.2).

10 Conclusion générale

Le report de la désactivation de Doel 4 et Tihange 3 peut entraîner la perpétuation, pendant une période de 10 ans, d'un certain nombre d'effets environnementaux. Dans l'évaluation de l'impact environnemental, on a vérifié pour les groupes de récepteurs « homme » et « biodiversité » si ces effets (radiologiques et non radiologiques) pouvaient être considérés comme considérables. Une analyse d'impact a également été réalisée pour un certain nombre d'autres thèmes pour lesquels il existe des objectifs politiques qui pourraient être influencés par le projet ou qui déterminent l'effet sur l'homme et la biodiversité. En outre, les « effets évités » du projet, en termes d'émissions de gaz à effet de serre et d'oxydes d'azote, et leur impact sur les thèmes de la santé et du climat, ont également été étudiés. Les effets (évités) sur la santé, imputables à l'insécurité d'approvisionnement (évitée), ont également été abordés.

L'analyse démontre que les impacts sur le **système hydrographique** ne sont pas de nature à affecter l'état écologique de l'Escaut maritime ou de la Meuse, ou à mettre en péril la réalisation du bon potentiel écologique de ces masses d'eau. Dans les deux cas, la contribution des déversements à la qualité des masses d'eau est négligeable. Pour Doel, il n'y a un effet sur la qualité de l'eau que dans la zone dans la digue longitudinale ; pour les objectifs de la masse d'eau de l'Escaut maritime IV, cela n'a aucune conséquence. Pour le site de Doel, de l'attention est demandée dans l'évaluation de l'impact environnemental pour la résolution de problèmes propres au fonctionnement actuel, comme les débordements fréquents et l'état du réseau d'égouts. Pour la discipline Eau, il peut aussi être question d'effets transfrontières (limités) pour le site de Doel. Sur la base de la surveillance de la température de l'Escaut à hauteur de la frontière néerlandaise (à environ 3,4 km du point de rejet), l'influence du rejet de l'eau de refroidissement peut tout au plus être considérée comme négative limitée, ce qui implique que l'augmentation de la température due au rejet sera inférieure à 1°C. Cette augmentation de la température continuera à diminuer lentement en aval sur le territoire néerlandais.

La discipline **Biodiversité** a étudié les effets du projet pour le site de Doel en termes de qualité des eaux de surface, d'effet de barrière, de mortalité, de nuisance, d'occupation de l'espace, d'eutrophisation et d'acidification. Aucun effet n'était à prévoir en ce qui concerne l'effet de barrière et l'occupation directe des terres. Pour la mortalité, il peut y avoir un effet (limité) dû à l'aspiration de l'eau de refroidissement. Au niveau des perturbations, seules les nuisances sonores sont potentiellement pertinentes, mais aucun impact important sur les espèces dans les environs n'est attendu. Pour Tihange aussi, on peut conclure que la perturbation de la faune imputable au bruit et à l'éclairage n'est pas considérée comme significative, car l'installation est située dans une région déjà fortement urbanisée et l'exploitant a également pris des mesures pour réduire les effets acoustiques de l'installation.

Les effets négatifs de l'exploitation de Doel 4 et Tihange 3 en termes de dépôts acidifiants et eutrophisants sont négligeables. Des effets plutôt positifs sur le plan des dépôts d'azote peuvent être attendus des « émissions évitées » associées à 10 ans de production nucléaire supplémentaire. L'électricité qui sera produite par les deux réacteurs ne doit effectivement pas être produite par les installations STEG, qui donneraient lieu à une acidification et à un dépôt d'azote bien plus importants.

Le déversement des eaux de refroidissement, des eaux sanitaires et des eaux industrielles n'entraîne pas d'effets écologiques au niveau de l'Escaut, ni localement. Étant donné la désignation de l'Escaut comme Zone de la directive Habitats et l'importance possible de cette zone pour les oiseaux de la Zone de la directive Oiseaux proche il s'agit d'une conclusion importante. Pour Tihange aussi, il ressort de l'analyse que les effets du projet sur le milieu aquatique ne sont pas de nature à remettre en cause les objectifs de conservation des écosystèmes concernés, compte tenu des mesures prises par l'exploitant de l'installation.

Le projet ne cause pas de dommages évitables et irrémediables à la nature, et n'a pas d'impact significatif sur l'état de conservation des habitats et des espèces dans des zones de protection spéciales dans les environs des sites de Doel et Tihange. L'impact des émissions évitées sur les objectifs de conservation des sites Natura 2000 ailleurs en Belgique est probablement positif, mais son importance est difficile à estimer.

Les valeurs de rayonnement mesurées dans les environs de Doel et de Tihange restent sous les valeurs seuils pour les effets néfastes sur la faune et la flore. Le débit de dose calculé lors des déversements vers l'air et l'eau est aussi bien inférieur à cette valeur seuil. On peut donc conclure que les limites de déversement actuelles pour les centrales nucléaires belges considérées n'entraînent pas d'effets néfastes pour la faune et la flore, ce qui est également confirmé pour Doel par les résultats de mesure du programme de suivi de l'AFCN-FANC et de l'exploitant. Si seuls Doel 4 et Tihange 3, respectivement, sont encore en fonctionnement, l'impact radiologique sur les valeurs naturelles sera évidemment encore plus limité. Il est donc évident que les effets radiologiques de la prolongation du maintien ouvertes des deux centrales n'ont pas d'effet négatif sur les objectifs de maintien pour les zones de protection spéciales respectives.

En ce qui concerne les conséquences d'un accident, on peut affirmer pour les différents scénarios d'accident étudiés (et avec les hypothèses prudentes) sur la base des quantités déversées et des dépôts qui y sont liés que l'impact sur la faune et la flore à un effet très modéré à négligeable dans les environs de Doel 4 et un effet négligeable dans les environs de Tihange 3.

Le fonctionnement de Doel 4 et Tihange 3 peut également avoir un impact sur la **qualité de l'air**. Les principales sources ayant un impact possible sont les chaudières à vapeur et les moteurs diesel, qui n'ont toutefois qu'un nombre limité d'heures de fonctionnement annuellement. Étant donné que davantage d'installations d'incinération sont mises hors service au fil de la fermeture des autres réacteurs des deux sites, l'impact de ces installations diminuera encore. Les calculs d'impact pour KC Doel montrent que l'impact sur la qualité de l'air aux abords est négligeable (moins de 1% des valeurs limites ou test retenues).

Si la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 n'est pas prolongée, l'électricité devra plutôt être produite à partir de combustibles (partiellement) fossiles. Les émissions qui surviennent (et qui peuvent être considérées comme « évitées » lorsque la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 est prolongée) sont beaucoup plus élevées que les émissions qui surviennent pendant le fonctionnement de Doel 4 et Tihange 3, et l'impact sur la qualité de l'air sera aussi plus important.

Les **émissions de gaz à effet de serre** qui peuvent être attribuées au fonctionnement de Doel 4 et de Tihange 3 s'élèvent sur la période de la prolongation de la durée de vie à seulement une fraction des émissions de gaz à effet de serre évitées pour la même période. Les émissions évitées annuellement grâce au maintien ouvert plus longtemps de Doel 4 et Tihange 3 équivalent à près de 20 % des émissions du secteur de la « production d'électricité et de chaleur » en Belgique en 2021 (12,8 Mtonnes).

Ni Doel 4 ni Tihange 3 n'ont d'influence sur la résilience de leur environnement aux conséquences du changement climatique au cours de la période de référence. Dans la perspective temporelle de la prolongation de la durée de vie, les deux sites ne sont pas vulnérables non plus aux conséquences du changement climatique, et cette situation est indépendante de la prolongation ou non de la durée de vie de Doel 4 et de Tihange 3.

En termes de **santé**, on peut s'attendre à un impact positif (modeste) en raison de l'évitement d'une quantité d'émissions de NO_x pendant la période où Doel 4 et Tihange 3 restent ouvertes plus longtemps. Aucun lien démontrable n'a été constaté entre la perception des risques concernant les accidents nucléaires et la prévention des effets psychosomatiques au niveau de la population. La prolongation de la durée de vie de Doel 4 et de

Tihange 3 réduit sensiblement les risques de coupure d'électricité, ayant donc un effet positif pour éviter les effets sur la santé et sur la sécurité qui sont susceptibles d'être associés aux coupures d'électricité. En termes de sûreté externe, aucune augmentation significative du risque n'est attendue du fait de la prolongation de la durée de vie.

La dose efficace résultant des rejets gazeux et liquides qui coïncident avec la prolongation de la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 pour la personne la plus exposée (individu critique) est estimée à 0,010 mSv/an, et ce, pour la période de 10 ans d'exploitation supplémentaire. Il s'agit d'une dose insignifiante, bien inférieure à la limite légale de 1 mSv/an. Cette dose est en outre une estimation très prudente. Compte tenu de l'arrêt définitif, selon le calendrier actuel, des autres réacteurs des deux sites, il est prévu que l'exposition résultant des activités sur les sites de KC Doel et CN Tihange après 2025, également avec la prolongation de Doel 4 et Tihange 3, diminuera par rapport à la situation des dernières années. La dose efficace typique pour l'individu critique des rejets gazeux et liquides a été estimée ces dernières années et pour l'ensemble du site à environ 0,02 mSv/an pour la KC Doel et 0,03-0,05 mSv/an pour la CN Tihange, selon la période considérée et les hypothèses. Après 2025, et avec la prolongation de Doel 4 et Tihange 3, la dose efficace dans la période considérée du projet diminuera pour l'ensemble du site de la KC Doel à 0,017 - 0,013 mSv/an et pour la CN Tihange à 0,020 à 0,015 mSv/an.

On peut conclure que la prolongation de la durée de vie de Doel 4 et Tihange 3 n'entraîne pas d'effets négatifs sur la santé en cas de fonctionnement normal, ni suite aux effets radiologiques, ni suite à des effets non radiologiques. Les effets en termes d'émissions d'oxydes d'azote évitées et de plus petite probabilité de coupures de courant peuvent par contre donner lieu à des effets positifs sur la santé.

Dans l'évaluation des impacts environnementaux, les effets du projet ont également été étudiés sur la dose qui résulterait des deux **accidents de base de conception** et d'un **accident d'extension de la conception**. Une analyse sur la base du dossier de sécurité de Doel 4 révèle que les doses efficaces et les doses équivalentes à la thyroïde résultant des deux accidents de base de conception pour Doel 4 restent dans les limites fixées. Si l'analyse est basée sur les directives de la FANC-AFCN pour les installations neuves de Classe 1, le critère des doses équivalentes à la thyroïde est dépassé, ce qui signifie que dans un tel cas l'administration d'iode stable pour protéger la thyroïde serait recommandée. En cas d'accident d'extension de conception, la dose efficace semble être du même ordre que celle des deux accidents de base de conception, mais la dose équivalente à la thyroïde est plus faible. Dans les 3 scénarios d'accident, une contamination de la chaîne alimentaire pourrait également se produire, avec des niveaux d'activité typiquement dépassés dans le lait, les légumes à feuilles et la viande, par des isotopes radioactifs de l'iode. Compte tenu de la demi-vie relativement courte de ces isotopes (8,02 jours pour l'I-131), cette contamination serait limitée dans le temps.

Une analyse sur la base du dossier de sécurité de Tihange 3 révèle que les doses efficaces et les doses équivalentes à la thyroïde résultant des deux accidents de base de conception pour Tihange 3 restent dans les limites fixées. Cela vaut aussi si l'analyse est basée sur les directives de la FANC-AFCN pour les installations neuves de Classe 1. En cas d'accident d'extension de conception, la dose efficace semble être du même ordre que celle des deux accidents de base de conception, mais la dose équivalente à la thyroïde est plus faible.

Le projet comporte donc un risque limité lié à un accident (accident tant de base de conception que d'extension de conception). Pour l'ensemble du site de CN Tihange, cependant, le risque tombera, car pendant la période de 10 ans où la durée de vie est prolongée, seul Tihange 3 sera toujours exploité sur le site.

L'impact transfrontière des accidents reste limité ; pour tous les scénarios d'accident considérés pour Doel 4 et Tihange 3, il n'y a pas de contre-mesures directes comme la mise à l'abri, l'évacuation ou l'ingestion d'iode stable pour protéger la thyroïde nécessaires dans les pays voisins. C'est principalement aux Pays-Bas, vu la proximité de Doel 4, qu'il peut y avoir une contamination de la chaîne alimentaire avec des isotopes d'iode, ce qui peut nécessiter des contre-mesures. Dans les autres pays limitrophes, c'est très improbable, tant pour Doel 4 que Tihange 3, mais ce n'est pas totalement exclu pour plusieurs pays non plus. La contamination avec des isotopes d'iode est toutefois de courte durée, vu la demi-vie limitée. La contamination par des radionucléides de longue durée de vie comme le Cs-137 est très limitée et n'exige pas de contre-mesures. La dose tout au long de la vie faisant suite aux scénarios d'accident considérés est donc très limitée dans tous les pays limitrophes.

Étant donné qu'après 2025, selon le calendrier actuel, Doel 4 et Tihange 3 seront les seuls réacteurs sur les sites respectifs de la KC Doel et la CN Tihange qui seront exploités pour la production d'électricité, la probabilité d'un accident grave sur les deux sites diminue.

Une prolongation de l'exploitation des tranches Doel 4 et Tihange 3 conduira à la création d'une quantité supplémentaire de déchets faiblement et moyennement radioactifs qui, sur la base de moyennes à long terme, est estimée à un total de 864 m³ pour la période LTO actuellement proposée de 10 ans. Il s'agit principalement de déchets de catégorie A, avec seulement une quantité limitée de déchets de catégorie B. Par rapport aux ~50 000 m³ de déchets de catégorie A actuellement inclus comme terme source dans le dossier de sûreté du stockage en surface, cela représente une augmentation marginale (~ 1,7 %).

En supposant que la quantité de déchets de catégorie B est négligeable, le volume supplémentaire de déchets correspond à environ 2161 fûts de 400 litres qui seront conditionnés dans 540 unités de stockage (monolithes) pour stockage en surface dans l'installation prévue à cet effet à Dessel. La capacité (volumétrique) du stockage est de 34 modules, avec une réserve importante de 20 % soit 5,4 modules, pour tenir compte des incertitudes entourant la production future de déchets de catégorie A. Les déchets supplémentaires qui seraient produits par la LTO de Doel 4 et Tihange 3 occuperont 0,6 module. Comme il s'agit de la prolongation d'une activité existante, donnant lieu à des familles de déchets aux caractéristiques connues, on ne s'attend pas à d'autres impacts pour la gestion des déchets à court ou à long terme.

Une estimation a également été faite du nombre cumulé d'assemblages de combustibles qui seront consommés pendant une période LTO de 10 ans à Doel 4 et Tihange 3. Pour les deux tranches réunies, la LTO se traduira par une consommation supplémentaire d'environ 810 assemblages de combustibles (type UOX 14ft). Pondéré par rapport à l'ensemble du parc belge de réacteurs, cela correspond à un surplus de 7,3 % en nombre d'assemblages de combustible, soit 8,9 % en tonnes de métal lourd (tHM).

Compte tenu de cette quantité relativement limitée et en supposant que les propriétés de ces éléments seront similaires à celles des éléments combustibles existants, on ne s'attend à aucune incidence sur leur gestion future. Le report de la désactivation de Doel 4 et de Tihange 3 permet d'étaler la déconnexion du réseau des tranches sur les deux sites, au lieu de la condenser fortement sur quelques années. Les installations de SF² (Spent Fuel Storage Facility) à Doel et Tihange, qui sont autorisées et en cours de construction, fourniront une capacité suffisante pour un entreposage sur les sites, en attendant une décision sur la gestion à long terme.

Bibliographie

ⁱ <https://fanc.fgov.be/nl/nieuws/openbaar-onderzoek-voor-vergunning-nieuwe-installatie-doel>.

ⁱⁱ Arrêté royal du 20 juillet 2001 portant règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants.

ⁱⁱⁱ National final report on the stress tests of Belgian nuclear power plants, FANC-AFCN, September 2020 (<https://fanc.fgov.be/nl/system/files/best-2020.pdf>)

^{iv} Strategic Environmental Assessment for Nuclear Power Programmes: Guidelines. IAEA Nuclear Energy Series N° NG-T-3.17. International Atomic Energy Agency, 2018.

^v Arrêté royal du 19 août 2020 modifiant l'arrêté royal du 20 juillet 2001 portant règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants et transposant partiellement la directive 2013/59/EURATOM du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/EURATOM, 90/641/EURATOM, 96/29/EURATOM, 97/43/EURATOM et 2003/122/EURATOM et l'entreposage de substances radioactives à l'extérieur des bâtiments - <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/20200819-publicatie-kb-bss.pdf>.

- ^{vi} Calcul de l'exposition moyenne annuelle aux rayonnements ionisants en Belgique : Méthodologie et Évolution, FANC-AFCN, 2018 - https://afcn.fgov.be/fr/system/files/2018_nota_popdose_methodologie_fr.pdf.
- ^{vii} ICRP (2007) The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 pp. 2-4.
- ^{viii} Arrêté royal du 20 juillet 2001 portant règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants, Art. 20, 3 – 5.
- ^{ix} Arrêté royal du 20 juillet 2001 portant règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants, Art. 20, 3 – 5.
- ^x Schwibach, J., Riedel, H., Bretschneider, J., Investigations into the emission of carbon-14 compounds from nuclear facilities, novembre 1978, Commission of the European Communities - <http://aei.pitt.edu/49706/1/B0038.pdf>
- ^{xi} EPRI (Electric Power Research Institute). Estimation of Carbon-14 in Nuclear Power Plant Gaseous Effluents; 2010. - <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK201991/>.
- ^{xii} IAEA (1992) Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards - Technical Reports Series No. 332.
- ^{xiii} UNSCEAR (1996) Sources and effects of ionizing radiation - Report to the General Assembly, with scientific annex. Fifty-first Session, Supplement No. 46. New York: United Nations. A/51/46, UN sales publication E.96.IX.3.
- ^{xiv} UNSCEAR (2008) Effects of ionizing radiation on non-human biota. Fifty-sixth session, Vienna, 10-18 July 2008. New York: United Nations, A/AC.82/R.672.
- ^{xv} ICRP (2008) Environmental Protection: the concept and use of reference animals and plants (Publication 108). Ann. ICRP. Vol. 38, pp. 4-6.
- ^{xvi} Garnier-Laplace, J. and Gilbin, R. (eds.) (2006) Derivation of predicted-no-effects-dose-rate values for ecosystems (and their sub-organisational levels) exposed to radioactive substances. ERICA (contract number: FI6R-CT-2004-508847).
- ^{xvii} Garnier-Laplace, J. et al. (2006) First derivation of predicted-no-effect values for fresh water and terrestrial ecosystems exposed to radioactive substances. Environmental Science and Technology. Vol. 40, pp. 6498-6505.
- ^{xviii} Andersson, P. et al. (2008) Numerical benchmarks for protecting biota against radiation in the environment: proposed levels and underlying reasoning - Deliverable 5B (draft) of the EC EURATOM PROTECT project (contract number: 036425 (FI6R)). 352 5249-506-068 | SEA Afvalplan NIRAS.
- ^{xix} European Chemicals Bureau (2003) Technical Guidance Document in Support of the Commission Directive 93/67/EEC, Commission Regulation (EC) No. 1488/94, Directive 98/8/EC. Partie II. Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities. EUR 20418 EN/2.
- ^{xx} Brown, J. E. et al. (2004) Radiation doses to aquatic organisms from natural radionuclides. Journal of Radiological Protection. Vol. 24, pp. A63-A77.
- ^{xxi} Beresford, N. A. et al. Background exposure rates of terrestrial wildlife in England and Wales. Journal of Environmental Radioactivity. Vol. 99(9), pp. 1430-1439.
- ^{xxii} Site Web de l'AFCN, consulté le 31-01-2023.
- ^{xxiii} IAEA Safety Standards Series (2012) Safety of Nuclear Power Plants: Design, SSR-2/1.
- ^{xxiv} IAEA Safety Standards Series (2017) Safety of Nuclear Power Plants: Design, SSR-2/1 (Rev. 1).
- ^{xxv} IAEA Safety Standards, Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants (2010) Specific Safety Guide, SSG-2.
- ^{xxvi} IAEA Safety Standards, Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants (2019) Specific Safety Guide, SSG-2 (Rev. 1).
- ^{xxvii} Traité Euratom, version consolidée du traité instituant la Communauté européenne de l'énergie atomique (2012).
- ^{xxviii} Directive 2014/87/Euratom modifiant la directive 2009/71/Euratom établissant un cadre communautaire pour la sûreté nucléaire des installations nucléaires (2014).
- ^{xxix} Report WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors, WENRA RHWG (2014).
- ^{xxx} Arrêté royal du 30 novembre 2011 portant prescriptions de sûreté des installations nucléaires, 01-03-2012.
- ^{xxxi} Malcolm J. (2018) Nuclear Engineering Chapter 8 – Elementary Reactor Principles.
- ^{xxxii} Site Web de l'AIEA, Power Reactor Information System (PRIS), consulté le 31-01-2023.
- ^{xxxiii} IAEA Power Reactor Information System - <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>.
- ^{xxxiv} Site web de l'AIEA, International Nuclear and Radiological Event Scale (INES), consulté le 31-01-2023.
- ^{xxxv} Battist, L. & Peterson, H. T. (1980) Radiological Consequences of the Three Mile Island Accident, International Congress of the International Radiation Protection Association, Jerusalem, Israel, pp. 2263-2270.
- ^{xxxvi} NSAC (1980) Analysis of the Three Mile Island – Unit 2 Accident, NSAC-80-1.
- ^{xxxvii} Corey, G.R. (1979) A brief review of the accident at Three Mile Island, IAEA Bulletin, Vol. 21(5), pp. 54-59.
- ^{xxxviii} Conception de la centrale nucléaire de Doel – Deux tranches de 390 MWe – Informations générales dans le cadre de l'article 37 du TRAITÉ DE ROME (1972).
- ^{xxxix} 10010172197 - Traité EURATOM art 37 CNT2 et CNT3.pdf
- ^{xl} FANC (2017) Class I Guidance – Guideline – Safety demonstration of new class I nuclear installations – Approach to Defence-in-Depth, radiological safety objectives and application of a graded approach to external hazards, FANC 2013-05-15-NH-5-4-3.
- ^{xli} Bel V (2017) Safety Guidance – Guidance on the application of conservative and less conservative approaches for the analysis of radiological consequences.

- xliv <https://afcn.fgov.be/fr/publications/rapports-de-surveillance-radiologique-de-la-belgique>.
- xlvi Royaume de Belgique, article 179 §5 de la loi du 8 août 1980 relative aux propositions budgétaires 1979-1980, Moniteur Belge 15/08/1980 telle que modifiée.
- xlvi Royaume de Belgique, 30 mars 1981. Arrêté royal déterminant les missions et fixant les modalités de fonctionnement de l'organisme public de gestion des déchets radioactifs et des matières fissiles, Moniteur belge 05/05/1981.
- xlvi Royaume de Belgique, article 2 de la loi du 15 avril 1994 relative à la protection de la population et de l'environnement contre les dangers résultant des rayonnements ionisants et relative à l'Agence fédérale de contrôle nucléaire.
- xlvi <http://www.jurion.fanc.fgov.be/jurdb-consult/consultatieLink?wettekstId=27752>.
- xlvi <https://www.belgoprocess.be/verwerken-en-conditioneren-van-alle-types-van-radioactief-afval/>
- xlvi SPF Économie, « Informations générales sur le cycle du combustible nucléaire belge, Partie 1 » 2017, <https://economie.fgov.be/nl/publicaties/studie-kernbrandstoffen>
- xlvi <https://afcn.fgov.be/fr/dossiers/dossiers-dautorisation/dossiers-autorises/doel-projet-spent-fuel-storage-facility-sf2>
- l <https://afcn.fgov.be/fr/dossiers/dossiers-dautorisation/dossiers-autorises/tihange-projet-spent-fuel-storage-facility-sf2>
- li Vinçotte SA et SCK CEN, RIE Projet – ELECTRABEL KC Doel – Projet SF² à Beveren. Référence Vinçotte OPSAN-20-60600924-02-01, 25 septembre 2020.
- lii Vinçotte SA et SCK CEN, ÉTUDE D'INCIDENCES SUR L'ENVIRONNEMENT DU PROJET SF². SPENT FUEL STORAGE FACILITY – CENTRALE NUCLÉAIRE DE TIHANGE. Référence Vinçotte EOPSAS-18-60684759-01-01, 3 mai 2018.
- lii ENGIE Electrabel. Déclaration environnementale 2020, centrale nucléaire de Tihange, <https://nuclear.engie-electrabel.be/fr/powerplant/la-centrale-nucleaire-de-tihange/declaration-environnementale>
- liv Conseil des ministres, réunion du 16 janvier 1998, Gestion à long terme des déchets radioactifs de faible activité.
- lv Conseil des ministres, réunion du 23 juin 2006, Stockage des déchets radioactifs (catégorie A).
- lvi ONDRAF, Chapitre 7 du rapport de sûreté pour l'installation de stockage en surface des déchets de catégorie A à Dessel : Conception et construction des colis de stockage, NIROND-TR 2011-07 Version 3, 30 janvier 2019
- lvii ONDRAF, Synthèse du rapport de sûreté pour l'installation de stockage en surface des déchets de catégorie A à Dessel, NIROND-TR 2019-12, 20 août 2019
- lviii https://www.ondraf.be/sites/default/files/2020-04/Projet%20de%20Plan_FR_def.pdf.
- lix ONDRAF/NIRAS, Design and Construction of the Supercontainer for Category C waste, NIROND-TR 2017-11E V3, Brussels, Belgium, (2019).
- lx ONDRAF/NIRAS, Design and Construction of the Monolith B for Category B wastes, NIROND-TR 2017-10E V3, Brussels, Belgium, (2019).
- lxi VNSC (2019) Systeemanalyse natuur Schelde-estuarium. Gezamenlijk feitenonderzoek van stakeholders, deskundigen en de Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie, 62 p.
- lxii Arcadis (2012). Rapport sur cinq campagnes de surveillance (période juin 2011 – mars 2012) réalisées sur l'influence de la température de l'eau de refroidissement de la centrale nucléaire de Doel sur l'Escaut.
- lxiii Arrêté royal fixant l'autorisation d'exploitation de la centrale nucléaire de Doel, FANC-AFCN N° ANPP-0301714
- lxiv Rapports périodiques à l'AFCN et au Bel V sur les rejets radioactifs liquides et gazeux. Directive FANC-AFCN « 010-106 » : <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2020-05-12-010-106-nl.pdf>.
- lxv PSR3 D3 - SF14-2-2 : Radiological impact to the public (PSR3/4NT/0785907/000/02), Tractebel Engineering S.A., 2022
- lxvi KCD4 - SF14-8 - Actualisation of impact study radiological consequences, state of the art modelling (DOS34/4NT/0504460/000/02), Tractebel Engineering S.A., 2017
- lxvii Figure tirée des données du site Web RADD (European Commission RAdioactive Discharge Database for collecting, storing, exchanging and dissemination of information on radioactive discharges (<https://europa.eu/radd/nuclideDischargeOverview.do?action=submit&pageID=NuclideDischargeOverview&sessionId=z1Jr5jQaKbJgqCOTImhu5eqMBSenTgji710889633!1608128017306&redirectAction=null>)).
- lxviii <https://afcn.fgov.be/fr/publications/rapports-de-surveillance-radiologique-de-la-belgique>.
- lxix <https://afcn.fgov.be/fr/professionnels/etablisements-nucleaires-classe-i/surveillance-des-rejets-radioactifs-de-classe-i>, dossier d'information 2013 à 2021, consulté le 31/01/2023.
- lxx <https://afcn.fgov.be/fr/professionnels/etablisements-nucleaires-classe-i/surveillance-des-rejets-radioactifs-de-classe-i>, dossier d'information 2013 à 2021, consulté le 31/01/2023.
- lxxi <https://nuclear.engie-electrabel.be/fr/powerplant/la-centrale-nucleaire-de-doel/declaration-environnementale>.
- lxxii ONDRAF, Chapitre 6 du rapport de sûreté pour l'installation de stockage en surface des déchets de catégorie A à Dessel : Déchets, ONDRAF-TR 2011-06 Version 3, 30 janvier 2019.
- lxxiii ONDRAF, Chapitre 6 du rapport de sûreté pour l'installation de stockage en surface des déchets de catégorie A à Dessel : Déchets, ONDRAF-TR 2011-06 Version 3, 30 janvier 2019.
- lxxiv IAEA (2003) Spent fuel performance assessment and research. Final report of a coordinated research project on spent fuel performance assessment and research (SPAR), IAEA-TECDOC-1343, pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1343_web.pdf.
- lxxv <https://nuclear.engie-Electrabel nv.be/nl/kernenergie/de-kerncentrales-en-het-klimaat/wat-met-radioactief-afval>
- lxxvi Agence internationale de l'Énergie atomique. Methodologies for assessing the induced activation source term for use in decommissioning applications. IAEA safety reports series No.95, Vienna, 2019.
- lxxvii A. Stankovskiy and G. Van den Eynde, "Advanced Method for Calculations of Core Burn-Up, Activation of Structural Materials, and Spallation Products Accumulation in Accelerator-Driven Systems," Science and Technology of Nuclear Installations, vol. 2012, p. 545103, 2012.

- ^{lxviii} UKAEA, « Reference input spectra », 2018. [En ligne]. Disponible sur : https://fispact.ukaea.uk/wiki/Reference_input_spectra .
- ^{lxix} World Nuclear Association, 2022. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.world-nuclear.org/reactor/default.aspx/DOEL-4> .
- ^{lxx} SCK CEN, "Chemical composition Belgian surveillance materials_Doel IV_Tihange III.xlsx." SCK CEN/52958010, 2023.
- ^{lxxi} Evans J.C., Lepel E.L., Sanders R.W., Wilkerson C.L., Silker W., Thomas C.W., Abel K.H., Robertson D.R. (1984) "NUREG/CR-3474 Long-lived activation products in reactor materials", Pacific Northwest Laboratory, Richland, WA 99352.
- ^{lxxii} Rapports périodiques à l'AFCN et au Bel V sur les rejets radioactifs liquides et gazeux. Directive FANC-AFCN « 010-106 » : <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2020-05-12-010-106-nl.pdf>.
- ^{lxxiii} PSR3 T2/TEF : SF14-2 : Radiological impact to the public (PSR3/4NT/0791625/000/01), Tractebel Engineering S.A., 2022
- ^{lxxiv} <https://afcn.fgov.be/fr/publications/rapports-de-surveillance-radiologique-de-la-belgique>.
- ^{lxxv} Supervision radiologique en Belgique – Rapport de synthèse 2019, FANC-AFCN, <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2019-annual-report-srt-nl.pdf>.
- ^{lxxvi} <https://fanc.fgov.be/nl/professionelen/nucleaire-inrichtingen-klasse-i/toezicht-van-radioactieve-lozingen-van-klasse-i>, dossier d'information 2013 à 2021, consulté le 31/01/2023.
- ^{lxxvii} <https://fanc.fgov.be/nl/professionelen/nucleaire-inrichtingen-klasse-i/toezicht-van-radioactieve-lozingen-van-klasse-i>, dossier d'information 2013 à 2021 consulté le 31/01/2023.
- ^{lxxviii} Kingdom of Belgium Federal Agency for Nuclear Control. Eighth meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety. National report (report produced by the Federal Agency for Nuclear Control on behalf of Belgium). August 2019.
- ^{lxxix} Projet des unités 2 et 3 de la centrale nucléaire de Tihange. Puissances électriques nettes respectives de 900 et 1000 MW. DONNÉES GÉNÉRALES AU SENS DE L'ARTICLE 37 DU TRAITÉ D'EURATOM. Juillet 1981.
- ^{xc} <https://nuclear.engie-Electrabel.nv.be/fr/powerplant/la-centrale-nucleaire-de-tihange/declaration-environnementale>
- ^{xc1} ONDRAF, Chapitre 6 du rapport de sûreté pour l'installation de stockage en surface des déchets de catégorie A à Dessel : Déchets, ONDRAF-TR 2011-06 Version 3, 30 janvier 2019.
- ^{xcii} ONDRAF, Chapitre 6 du rapport de sûreté pour l'installation de stockage en surface des déchets de catégorie A à Dessel : Déchets, ONDRAF-TR 2011-06 Version 3, 30 janvier 2019.
- ^{xciii} UKAEA, « Reference input spectra », 2018. [En ligne]. Disponible sur : https://fispact.ukaea.uk/wiki/Reference_input_spectra.
- ^{xciv} World Nuclear Association, 2022. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.world-nuclear.org/reactor/default.aspx/TIHANGE-3>.
- ^{xcv} SCK CEN, "Chemical composition Belgian surveillance materials_Doel IV_Tihange III.xlsx." SCK CEN/52958010, 2023.
- ^{xcvi} Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency (2015) IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7, IAEA, Vienna.
- ^{xcvii} Directive 2013/59/Euratom fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom.
- ^{xcviii} Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency (2007) IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1, IAEA, Vienna.
- ^{xcix} Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency (1991) ICRP Publication 63. Pergamon Press.
- ^c ICRP (2009) Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. Publication 109. Pergamon Press.
- ^{ci} WENRA (2021) Safety Reference Level for Existing Reactors 2020 - Published by Reactor Harmonisation Working Group (RHWG) https://www.wenra.eu/sites/default/files/publications/wenra_safety_reference_level_for_existing_reactors_2020.pdf
- ^{cii} Loi du 15 avril 1994 relative à la protection de la population et de l'environnement contre les dangers résultant des rayonnements ionisants et relative à l'Agence fédérale de contrôle nucléaire.
- ^{ciii} Arrêté royal du 20 juillet 2001 portant règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants.
- ^{civ} Circulaire ministérielle NPU-1 du 26 octobre 2006 concernant les plans d'urgence et d'intervention.
- ^{cv} Arrêté royal du 30 novembre 2011 portant prescriptions de sûreté des installations nucléaires.
- ^{cvi} Arrêté royal du 20 juillet 2020 modifiant l'arrêté royal du 20 juillet 2001 portant règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants et transposant partiellement la directive 2013/59/EURATOM du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/EURATOM, 90/641/EURATOM, 96/29/EURATOM, 97/43/EURATOM et 2003/122/EURATOM et le stockage de substances radioactives à l'extérieur des bâtiments.
- ^{cvi} Arrêté royal du 1er mars 2018 portant fixation du plan d'urgence nucléaire et radiologique pour le territoire belge.
- ^{cvi} FANC (2017) Sixth meeting of the Contracting Parties to the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. National report.
- ^{cix} Onderzoekraad voor Veiligheid. Samenwerken aan nucleaire veiligheid. Een onderzoek naar de samenwerking tussen Nederland, België en Duitsland inzake de kerncentrales in de grensgebieden. La Haye, janvier 2018.
- ^{cx} HERCA-WENRA (2014) Approach for a better cross-border coordination of protective actions during the early phase of a nuclear accident.
- ^{cx} <https://crisiscentrum.be/nl/inhoud/oefeningen/>.