

Évaluation de l'impact environnemental

Comme prévu dans les directives 2011/92/UE, 92/43/CEE et 2009/147/CE dans le cadre du report de la désactivation des centrales nucléaires de Doel 1 et Doel 2

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

sous la référence 2020/VEF/67514 - Étude de l'impact environnemental

Date de publication : 2021-04-01

Le présent document est une traduction du rapport original rédigé en néerlandais.

© SCK CEN - Date de publication : 2021-04-01

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 pour les effets radiologiques

<p>Johan Camps (SCK CEN)</p> <p>Chef de l'unité Gestion de Crise et Aide à la Décision</p> <p>Habilité à réaliser la partie radiologique d'une étude de l'impact environnemental ainsi que sa rédaction (AFCN EIE-003882, habilitation du 1^{er} juillet 2018 au 30 juin 2023)</p>	
<p>Hildegarde Vandenhove (SCK CEN)</p> <p>Directrice de l'Institut Environnement, Santé et Sécurité</p> <p>Agréée pour l'élaboration d'un rapport d'étude de l'impact environnemental concernant les aspects liés aux rayonnements ionisants (AFCN, agrément à partir du 16 juillet 2020 pour une durée de 5 ans)</p>	
<p>Christophe Bruggeman (SCK CEN)</p> <p>Directeur adjoint de l'Institut Environnement, Santé et Sécurité, Chef du groupe Déchets & Stockage</p> <p>Agréé pour l'élaboration d'un rapport d'étude de l'impact environnemental concernant les aspects liés aux rayonnements ionisants (AFCN, agrément à partir du 16 juillet 2020 pour une durée de 5 ans)</p>	

SCK CEN - 65 ans d'expérience dans la recherche et la technologie nucléaires

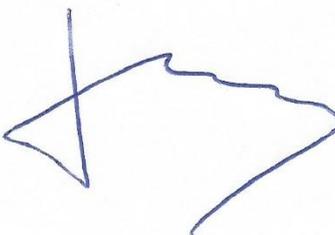
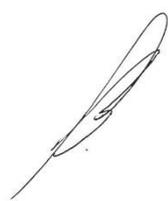
Le SCK CEN fait partie des plus grands instituts de recherche en Belgique. Plus de 850 collaborateurs s'investissent chaque jour dans le développement d'applications pacifiques des rayonnements ionisants et de la radioactivité. Les activités de recherche du SCK CEN s'articulent autour de trois thèmes principaux : la sécurité 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 remercions les collaborateurs du SCK CEN pour leur contribution à la réalisation de ce rapport : Kim Dams (avocate d'entreprise), Eef Weetjens, Lieve Sweeck, Christophe Gueibe, Katrijn Vandersteen, Bieke Abelshausen et Kristine Leysen.

Signatures des experts en EIE

<p>Koen Couderé</p> <p>Coordinateur EIE accrédité</p> <p>Accréditation N° LNE/ERK/MERCO/2019/00033</p> <p>Expert EIE accrédité Eau, sous-domaines : géohydrologie, eaux marines et eaux de surface et usées</p> <p>Expert EIE accrédité : Climat</p> <p>Accréditation N° EDA-222</p>	
<p>Annemie Pals</p> <p>Experte EIE accréditée Biodiversité</p> <p>Accréditation N° EDA-704</p>	
<p>Johan Versieren</p> <p>Expert EIE accrédité Air, sous-domaines : odeurs et pollution de l'air</p> <p>Accréditation N° EDA-059</p>	
<p>Geert Boogaerts</p> <p>Expert EIE accrédité Aspects humains, sous-domaines : aspects toxicologique et psychosomatique</p> <p>Accréditation N° EDA-624</p>	

Remerciements

Outre les experts EIE accrédités, Katelijne Verhaegen du KENTER a également contribué à ce rapport.

Tableaux

Tableau 1 : Calendrier de désactivation selon la loi sur la sortie du nucléaire.....	16
Tableau 2 : Calendrier de désactivation selon la loi modifiée sur la sortie du nucléaire.	17
Tableau 3 : Aperçu des données de base de la centrale nucléaire de Doel.....	25
Tableau 4 : Principales matières premières et flux de déchets.	29
Tableau 5 : Vue d'ensemble des principales installations et activités de la centrale nucléaire de Doel et leur relation avec les impacts environnementaux potentiels.	38
Tableau 6 : Aperçu des thèmes qui ne sont pas étudiés dans le rapport sur l'impact environnemental stratégique, et justification correspondante.....	42
Tableau 7 : Évaluation de l'état de la masse d'eau Escaut maritime IV.	51
Tableau 8 : Volume d'eau de refroidissement rejeté avec et sans report de désactivation.	56
Tableau 9 : Résumé de l'évaluation des objectifs par rapport au système hydrographique	62
Tableau 10 : Espèces cibles pour les zones Natura2000 qui chevauchent ou se trouvent à proximité immédiate de la zone du projet. x : espèce explicitement reprise comme objectif ; / : l'espèce n'est pas un objectif.....	67
Tableau 11 : Numérotation des zones de développement naturel existantes.....	71
Tableau 12 : Numérotation des futures zones de développement naturel.....	73
Tableau 13 : Résultats de la surveillance TRIADE au point de mesure VMM 154100.	76
<i>Tableau 14 : Plafonds d'émission cf. la directive NEC (révisée) (2016).</i>	<i>87</i>
<i>Tableau 15 : Objectifs d'émission 2030 par région (plafonds d'émission absolus ; Cf. le projet de décret sur l'approbation de l'accord de coopération du 24/04/2020 entre l'État fédéral et les régions).</i>	<i>87</i>
<i>Tableau 16 : Émissions des installations de combustion (2014) (EIE travaux Electrabel, 2021).</i>	<i>89</i>
<i>Tableau 17 : Émissions provenant de la production d'électricité en Flandre et estimation approximative des émissions évitées lors de la mise hors service de Doel 1 et 2, calculée sur la base d'une extrapolation des émissions observées pour le secteur.....</i>	<i>91</i>
<i>Tableau 18 : Estimation des émissions évitées en cas de remplacement de la production d'électricité de Doel 1 et 2 par des centrales TVG au gaz naturel de dernière génération.....</i>	<i>92</i>
<i>Tableau 19 : Estimation de la part relative des émissions « évitées » par rapport à l'objectif NEC-2030 selon une méthode de calcul basée sur l'extrapolation des émissions actuelles.</i>	<i>94</i>
<i>Tableau 20 : Estimation de la part relative des émissions « évitées » par rapport à l'objectif NEC-2030 selon une méthode de calcul basée sur les niveaux d'émission maximum de la dernière génération de grandes TVG.....</i>	<i>95</i>
Tableau 21 : Moteurs à combustible fossile attribuables sans ambiguïté au fonctionnement de Doel 1 et Doel 2..	99
Tableau 22 : Émissions de gaz à effet de serre (tonnes CO ₂ éq/an) pour la centrale nucléaire de Doel (CNDoel) et les unités de Doel 1 et 2 pour la période 2015-2019.....	100
Tableau 23 : Calcul des émissions de gaz à effet de serre évitées en cas de report de la désactivation de Doel 1 et 2 sur la période 2015-2025, en cas de mix énergétique non nucléaire mixte.....	102
Tableau 24 : Calcul des émissions de gaz à effet de serre évitées en cas de report de la désactivation de Doel 1 et 2 sur la période 2015-2020, en cas de production de remplacement non nucléaire basée sur des TVG de dernière génération.....	103
<i>Tableau 25 : Liste du transfert de données interdisciplinaires.</i>	<i>114</i>
<i>Tableau 26 : Facteurs de stress chimiques, physiques et autres pertinents.</i>	<i>116</i>

Tableau 27 : Exemples de l'activité de certaines sources radioactives.	122
Tableau 28. Contribution à la dose pour un belge moyen en 2015.	125
Tableau 29: Limites de dose.....	126
Tableau 30 : Dose efficace par an pour la personne la plus exposée suite aux rejets gazeux, liquides et au total de rejets correspondant aux limites de rejet pour l'ensemble de la CNDDoel.	134
Tableau 31 : Activités autorisées pour les rejets gazeux pour la CNDDoel.	139
Tableau 32 : Cadre de signification des effets radiologiques sur la faune et la flore.....	141
Tableau 33 : Principales différences de méthodologie pour déterminer l'impact radiologique sur l'homme et l'environnement.....	142
Tableau 34 : Directives internationales et européennes pertinentes relatives à l'identification des scénarios d'accident.....	143
Tableau 35 : Catégories des rejets surveillés.	148
Tableau 36 : Limites de rejets atmosphériques instantanés pour les unités Doel 1 et 2, Doel 3 et 4 et le bâtiment de traitement des eaux et des déchets (TED).....	149
Tableau 37 : Limites de rejet pour les effluents liquides.....	152
Tableau 38 : Programme de surveillance de l'AFCN à proximité de la CNDDoel.	157
Tableau 39 : Programme de suivi de l'exploitant.....	158
Tableau 40 : Volumes annuels de déchets de faible et moyenne activité transportés vers Belgoprocess, et volumes résultants à stocker après y avoir été traités ^{lxvii} . 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.....	164
Tableau 41 : Estimation de la quantité de déchets conditionnés (DC) produits annuellement dans la CNDDoel, sur la base des données fournies par l'AFCN.....	165
Tableau 42 : Nombre d'éléments combustibles définitivement déchargés dans les différentes unités de réacteurs de la CNDDoel.	166
Tableau 43 : Nombre de tonnes de matières fissiles (tHM ou tonne de métaux lourds) définitivement déchargées dans les différentes unités de réacteur de la CNDDoel.	166
Tableau 44 : Aperçu des différents types et du nombre d'éléments combustibles usés à la fin de la durée de vie des centrales nucléaires belges.....	173
Tableau 45 : Composition des principaux éléments de la cuve du réacteur (en % de poids).	174
Tableau 46 : Directives européennes et internationales pertinentes concernant la planification d'urgence nucléaire.	178
Tableau 47 : Législation belge pertinente pour la planification d'urgence nucléaire.	178
Tableau 48 : Zones de préparation établies par la Belgique et les Pays-Bas (rayon des cercles en km) autour de la centrale nucléaire de Doel pour les mesures de protection directes en cas d'urgence nucléaire.	180
Tableau 49 : Exercices CNDDoel des 15 dernières années.....	180

Figures

Figure 1 : Production brute d'électricité (gigawattheures) en Belgique pour la période 2005-2014, et part des différentes sources dans cette production (source : https://statbel.fgov.be/nl/themas/energie/elektriciteitsproductie).....	17
Figure 2 : Localisation de la CNDoel (Geopunt Vlaanderen).....	24
Figure 3 : 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).	26
Figure 4 : Les barrières successives protégeant l'uranium et les produits de fission du monde extérieur, autrement dit l'oxyde d'uranium comprimé en tablettes (1) est empilé dans les barres de combustible qui sont soudées (2), qui se trouvent dans le fût du réacteur (fermé pendant le fonctionnement, ouvert 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 du réacteur (4) successivement entourée par le mur secondaire du bâtiment du réacteur en béton armé (5).	27
Figure 5 : Évolution de la production d'électricité par les différentes sources sur la période 2020-2030 selon le Plan national énergie-climat.	31
Figure 6 : Représentation schématique de la situation de référence.	33
Figure 7 : Exploitation des quatre centrales de Doel avec et sans report.	34
Figure 8 : Représentation schématique du scoping dans les grandes lignes pour l'évaluation de l'impact environnemental de la décision politique de reporter la désactivation de Doel 1 et 2 (décision EIE).	41
Figure 9 : Éléments clés du continuum stratégique-opérationnel du rapport sur l'impact environnemental appliqués à l'évaluation de l'impact environnemental du Projet.....	46
Figure 10 : Bilan hydrologique de la CNDoel pour 2019.....	54
Figure 11 : Volume d'eau de refroidissement rejeté suite au report de la désactivation par rapport à la situation de référence (aucun report).	56
Figure 12 : Charge de N dans les eaux usées industrielles au cours de la période 2015-2019.	59
Figure 13 : Zones de protection de la nature.	66
Figure 14 : Aperçu des zones de développement naturel existantes (permanentes et temporaires).	71
Figure 15 : Futures zones de développement naturel.	72
Figure 16 : 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.	73
Figure 17 : Schéma de principe de l'eau de refroidissement indiquant la prise d'eau Doel 1 et 2 et Doel 3 et 4 (Source : Electrabel sa, 2011).	80
Figure 18 : Contours sonores des sources en fonctionnement continu pendant la période de jour, de soirée et de nuit (Source : EIE concernant les travaux).	81
Figure 19 : 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).	82
Figure 20 : Intensité des émissions de gaz à effet de serre (g CO ₂ eq/kWh) du secteur de l'électricité pour les différents États membres de l'UE.	101
Figure 21 : Carte récapitulative de l'exposition.	110
Figure 22 : Aperçu des habitants de Doel (Source : commune de Beveren).	111
Figure 23 : Méthodologie du plan par étapes (source : richtlijnboek mens – gezondheid, 2017).....	115

Figure 24 : Relation dose-réponse pour les effets déterministes (à gauche) et pour les effets stochastiques (à droite). Les effets déterministes se produisent à partir d'une 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 présenté 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.....	125
Figure 25 : Étapes de la méthodologie pour les rejets d'impact radiologique en fonctionnement normal.....	133
Figure 26 : Occurrence relative de la direction du vent à hauteur de la CNDoel sur la base de données horaires sur une période de trois ans, du 1er juin 2017 au 1er juin 2020 (source IRM - CEPMMT).....	136
Figure 27 : Concentration moyenne en Bq/m ³ près du niveau du sol à un rejet constant (CNDoel) de 1 TBq/an...	137
Figure 28 : Dépôt total d'aérosols en Bq/m ² (sans tenir compte de la désintégration) à un rejet constant (CNDoel) de 1 TBq/an.....	138
Figure 29: État opérationnel et accidentel d'une centrale nucléaire ^{xliii}	143
Figure 30 : Rejets gazeux par an pour l'ensemble du site de la CNDoel.....	150
Figure 31 : Rejets réels pour la période 2014-2019 exprimés en pourcentage des limites de rejet pour les différents groupes de radionucléides.....	151
Figure 32 : Évolution des rejets liquides dans l'Escaut pour la période 2005-2019.....	153
Figure 33 : Les stations annulaires du réseau TELERAD autour de Doel (carte de fond : OpenStreetMap).....	156
Figure 34 : Stations annulaires et d'agglomération du réseau TELERAD (carte de fond : OpenStreetMap).....	156
Figure 35 : Débit de dose en fonction du temps pour l'année 2018 complète mesuré par deux stations TELERAD à la limite du domaine de la CNDoel, dont l'une est à l'ouest de Doel 1 et 2 (IMR/D 9) et l'autre à l'est de Doel 1 et 2 (IMR/D 15). Les fortes augmentations du débit de dose sont le résultat du rayonnement de fond naturel qui change en raison de l'évolution des conditions météorologiques, comme principalement l'apparition de la pluie (surtout après de longues périodes sèches). L'intensité des précipitations est également indiquée dans le graphique du bas de cette figure (données relatives au débit de dose : AFCN, Données de précipitations pour le site CNDoel IRM). Le dépassement du seuil d'alarme (figure hors échelle) n'a jamais été atteint en 2018.	157
Figure 36 : Lieux d'échantillonnage pour le programme complémentaire réalisé par l'exploitant de la CNDoel (dénominations voir Tableau 39, carte de fond : OpenStreetMap).....	159
Figure 37 : Campagne de mesure effectuée avec un détecteur de grand volume à bord d'un véhicule dans la région au nord-est de la CNDoel (mesures SCK CEN, 2020). Les unités de la légende sont spécifiques au détecteur et illustrent uniquement les différences relatives. Les débits de dose normaux sont mesurés sur toute la zone (carte de fond : Bing VirtualEarth).....	160
Figure 38 : Concentrations de Cs-137 en Bq/m ² mesurées lors d'une campagne 10 ans après l'accident de Tchernobyl. À cette époque, 1810 Bq/m ² de Cs-137 ont été mesurés à proximité de la CNDoel, une valeur moyenne pour la Belgique.....	161
Figure 39 : Résumé des activités de surveillance complémentaires pour le suivi des impacts radiologiques.....	162
Figure 40 : Dose efficace pour l'individu le plus critique à proximité de la CNDoel, calculée à partir des rejets réels signalés. La limite de dose pour le public est indiquée à titre de comparaison.....	162
Figure 41 : Accumulation des dépôts maximum de Cs-137 en Bq/m ² sur la durée de vie de la CNDoel avec désactivation en 2015 de Doel 1 et Doel 2 et report de la désactivation en 2025 de Doel 1 et Doel 2. La contribution des différentes unités en cas de report de la désactivation est aussi présentée.....	169
Figure 42 : Flux à travers la cuve du réacteur en fonction de l'énergie neutronique sur la section transversale centrale d'une cuve de réacteur Doel I/II utilisée par le code ALEPH2.....	175

Figure 43 : Activité cumulée de l'inventaire isotopique dans le volume de contrôle de la cuve du réacteur, en fonction du temps (au-dessus : irradiation constante ; en dessous : avec désintégration entre les cycles)..... 175

Abréviations

ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ANB	Agentschap voor Natuur en Bos
AOX	Composés organohalogénés adsorbables
RGPRI	Règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants
BC	Carbone noir
BEL V	Autorité de contrôle des installations nucléaires (filiale de l'AFCN)
PAS	Plan d'aménagement spécial
CFVS	Containment Filtered Venting System
CGCCR	Centre de coordination et de crise du gouvernement
CO ₂	Dioxyde de carbone
CRM	Capacity Remuneration Mechanism
CSBO	Complete Station Black Out
dB	Décibel
DEC	Design Extension Conditions
DPIE	Décret sur la politique intégrale de l'eau
EC	Carbone élémentaire
CCSA	Capacité de conteneurs supplémentaire Anvers
CQE	Coefficient de qualité écologique
ESD	Effort sharing decision
ETS	Emissions trading system
UE	Union européenne
AFCN	Agence fédérale de Contrôle nucléaire
FHA	Fuel handling accident
GUN	Grande unité nature
GUND	Grande unité nature en développement
PESR	Plan d'exécution spatial régional
Ha	Hectare
HERCA	Heads of the European Radiological protection Competent Authorities
ZDH	Zone de la directive Habitats
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
CIPR	Commission internationale de protection radiologique
OM	Objectifs de maintien

INES	Échelle internationale des événements nucléaires
IVON	Integraal Verweings- en Ondersteunend Netwerk
AR	Arrêté royal
CNDoel	Centrale nucléaire de Doel
VCD	Valeur critique de dépôt
DCE	Directive-cadre Eau
LOCA	Loss Of Coolant Accident
RGE	Rive gauche de l'Escaut
LTO	Long Term Operation
EIE	Évaluation de l'impact environnemental
e.i.e	Évaluation des incidences sur l'environnement
RIE	Rapport sur l'impact environnemental
PANES	Plan d'action national pour l'environnement et la santé
ONDRAF	Organisme National belge des Déchets radioactifs et des Matières fissiles enrichies
NOx	Oxyde d'azote
ZLN	Zones de liaison naturelle
OCDE/AEN	Organisation de Coopération et de Développement économiques / Agence pour l'Énergie nucléaire
EVP	Équivalent véhicule personnel
Pb	Plomb
DHP	Déshydrogénation propylène
PM	Particulate Matter
PRIS	Power Reactor Information System
PWR	Pressurised Light-Water Moderated and Cooled Water Reactor
RDE	Rive droite de l'Escaut
PES	Plan d'exécution spatial
PPE	Programme de protection des espèces
ZPS-H	Zone de protection spéciale de la directive Habitats
ZPS-O	Zone de protection spéciale de la directive Oiseaux
OM-S	Objectifs de maintien spécifiques
SO ₂	Dioxyde de soufre
TVG	Turbine à vapeur et à gaz
DNG	Deuxième nivellement général
DTL	Détecteur de thermoluminescence
TMI	Three Mile Island

VEN	Vlaams Ecologisch Netwerk
VEKP	Vlaams Energie- en Klimaatplan
VLAREBO	Vlaams Reglement betreffende de bodemsanering
VLAREM	Vlaams Reglement betreffende de milieuvergunning
VLAREMA	Vlaams Reglement voor het duurzaam beheer van materiaalkringlopen en afvalstoffen
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij
VNSC	Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie
ZDO	Zone de la directive Oiseaux
WENRA	Association des responsables des Autorités de sûreté nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest
OMS	Organisation mondiale de la santé

Table des matières

Signatures des experts pour les effets radiologiques	3
Signatures des experts en EIE	4
Tableaux.....	5
Figures	7
Abréviations.....	10
1 Introduction.....	16
1.1 Contexte de l'évaluation de l'impact environnemental	16
1.1.1 Antécédents	16
1.1.2 Objectif de cette évaluation de l'impact environnemental.....	21
1.1.3 Initiateur et équipe d'experts	22
1.1.4 Guide de lecture.....	22
1.2 Objet de l'évaluation de l'impact environnemental et alternatives à étudier.....	23
1.2.1 Le Projet.....	23
1.2.2 Alternatives.....	29
1.2.3 Évolution de la sécurité d'approvisionnement au cours de la période 2020-2030	30
1.2.4 Situation de référence et scénario de référence.....	33
1.2.5 Développements autonomes et contrôlés potentiellement pertinents	34
1.3 Procédure	35
2 Effets non radiologiques.....	37
2.1 Méthodologie générale	37
2.1.1 Scoping	37
2.1.2 Cadre d'évaluation général.....	45
2.1.3 Cadres d'évaluation spécifiques.....	45
2.1.4 Profondeur de l'évaluation	45
2.2 Effets du Projet.....	46
2.2.1 Généralités	46
2.2.2 Eau	47
2.2.3 Biodiversité.....	63
2.2.4 Air.....	87
2.2.5 Climat.....	96
2.2.6 Homme et Santé.....	109
2.3 Effets transfrontières.....	120
3 Effets radiologiques.....	121

3.1	Concepts de base de la protection contre le rayonnement utilisés dans l'évaluation	121
3.2	Concepts de base des déchets radioactifs et de la gestion	127
3.2.1	Origine des déchets radioactifs	127
3.2.2	Classification	128
3.2.3	Gestion des déchets radioactifs.....	129
3.3	Méthodologie	132
3.3.1	Rejets de routine.....	133
3.3.2	Rejets accidentels	142
3.3.3	Déchets radioactifs opérationnels et combustibles usés.....	147
3.3.4	Démantèlement.....	147
3.4	Situation existante	147
3.4.1	Contrôle des rejets	147
3.4.2	Contrôle de la radioactivité sur le site et dans l'environnement.....	153
3.4.3	Impact sur la base des calculs et des mesures.....	161
3.4.4	Déchets radioactifs et combustibles usés	163
3.5	Effets en cas de désactivation	167
3.5.1	Fonctionnement normal	167
3.5.2	Accidents	167
3.6	Effets en cas de report de la désactivation.....	167
3.6.1	Impact sur la santé humaine.....	167
3.6.2	Effets radiologiques sur la biodiversité (faune et flore).....	170
3.6.3	Effets sur les déchets radioactifs, combustibles usés et démantèlement.....	172
3.7	Effets transfrontières.....	176
3.7.1	Fonctionnement normal	176
3.7.2	Accidents	176
3.8	Mesures d'atténuation : plan d'urgence.....	177
3.8.1	Objectif et concepts de base	177
3.8.2	Cadre légal.....	178
3.8.3	Plans d'urgence internes et externes pour les installations nucléaires de la CNDoeI	179
3.8.4	Harmonisation entre les pays limitrophes pour la CNDoeI	179
3.8.5	Organisation des exercices de planification d'urgence pour la CNDoeI.....	180
3.9	Lacunes dans les connaissances	181
4	Synthèse et conclusion.....	182
4.1	Synthèse des effets	182
4.1.1	Effets non radiologiques.....	182
4.1.2	Effets radiologiques	187
4.2	Synthèse des effets transfrontières	190

4.2.1 Effets non radiologiques.....	190
4.2.2 Effets radiologiques.....	190
4.3 Mesures d'atténuation.....	190
4.4 Lacunes dans les connaissances.....	190
4.5 Conclusion générale.....	192
Bibliographie.....	194

1 Introduction

1.1 Contexte de l'évaluation de l'impact environnemental

1.1.1 Antécédents

Législation pertinente

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.

Le Tableau 1 indique pour les différentes centrales nucléaires belges la date de mise en service industrielle et la date à laquelle la période de 40 ans prévue par la loi sur la sortie du nucléaire prendrait fin. Afin de garantir la continuité de l'approvisionnement énergétique, une désactivation progressive a été choisie.

Tableau 1 : Calendrier de désactivation selon la loi sur la sortie du nucléaire.

Centrale	Date de mise en service industrielle	Date de désactivation (après 40 ans)
Doel 1	15 février 1975	15 février 2015
Doel 2	1er décembre 1975	1er décembre 2015
Doel 3	1er octobre 1982	1er octobre 2022
Doel 4	1er juillet 1985	1er juillet 2025
Tihange 1	1er octobre 1975	1er octobre 2015
Tihange 2	1er février 1983	1er février 2023
Tihange 3	1er septembre 1985	1er septembre 2025

Cet aperçu démontre que la période d'exploitation du réacteur nucléaire de Doel 1 devait prendre fin le 15 février 2015 et celle de Doel 2 le 1er décembre 2015.

Dans le courant de l'année 2012, un programme de démantèlement de Doel 1 et 2 a été lancé et prévoyait l'arrêt définitif des centrales. À partir de la mi-février 2015, plus aucune électricité n'était produite à la centrale nucléaire de Doel 1 ; la production d'électricité à la centrale de Doel 2 devait être interrompue la même année.

Toutefois, la loi sur la sortie du nucléaire prévoyait également qu'en cas de menace pour la sécurité de l'approvisionnement en électricité, le Roi pouvait prendre les mesures nécessaires par arrêté¹.

Le 28 juin 2015, le législateur fédéral belge a donc adopté une loi modifiant la loi du 31 janvier 2003 sur la sortie progressive de l'énergie nucléaire à des fins de production industrielle d'électricité (loi modifiée sur la sortie du nucléaire). Cette modification de la loi stipulait que la centrale nucléaire de Doel 1 (qui était déjà à l'arrêt à l'époque) pouvait à nouveau produire de l'électricité et serait désactivée le 15 février 2025 (soit 10 ans plus tard que prévu

¹ Sans préjudice des articles 3 à 7 de la loi, en ce qui concerne la construction de nouvelles centrales nucléaires, sauf en cas de force majeure.

initialement). La loi modifiée sur la sortie du nucléaire précisait aussi les dates auxquelles les autres centrales nucléaires seraient désactivées. Pour Doel 2, cela signifiait une prolongation de 10 ans. Pour Tihange 1, une loi avait déjà été votée le 18 décembre 2013 reportant de 10 ans la fermeture de cette unité de réacteur. Pour les autres centrales, ni la loi du 18 décembre 2013, ni celle du 28 juin 2015 ne changeait quoi que ce soit par rapport à la loi du 31 janvier 2003 sur la sortie du nucléaire.

Tableau 2 : Calendrier de désactivation selon la loi modifiée sur la sortie du nucléaire.

Centrale	Date de mise en service industrielle	Date de désactivation
Doel 1	15 février 1975	15 février 2025
Doel 2	1er décembre 1975	1er décembre 2025
Doel 3	1er octobre 1982	1er octobre 2022
Doel 4	1er juillet 1985	1er juillet 2025
Tihange 1	1er octobre 1975	1er octobre 2025
Tihange 2	1er février 1983	1er février 2023
Tihange 3	1er septembre 1985	1er septembre 2025

Comme nous l'avons déjà indiqué, la raison de la prolongation de la durée de vie des centrales nucléaires les plus anciennes était que la sécurité de l'approvisionnement ne pouvait être garantie en cas de fermeture à l'approche de la date d'arrêt initialement prévue. Avant 2015, la sécurité d'approvisionnement dépendait en effet dans une large mesure de l'énergie fournie par les centrales nucléaires, comme l'illustre la Figure 1. Cette figure montre la répartition de la production brute d'électricité au cours des 10 années précédant 2015. La part de l'énergie nucléaire dans la production totale fluctuait entre 46 % et 55 % du total durant cette période.

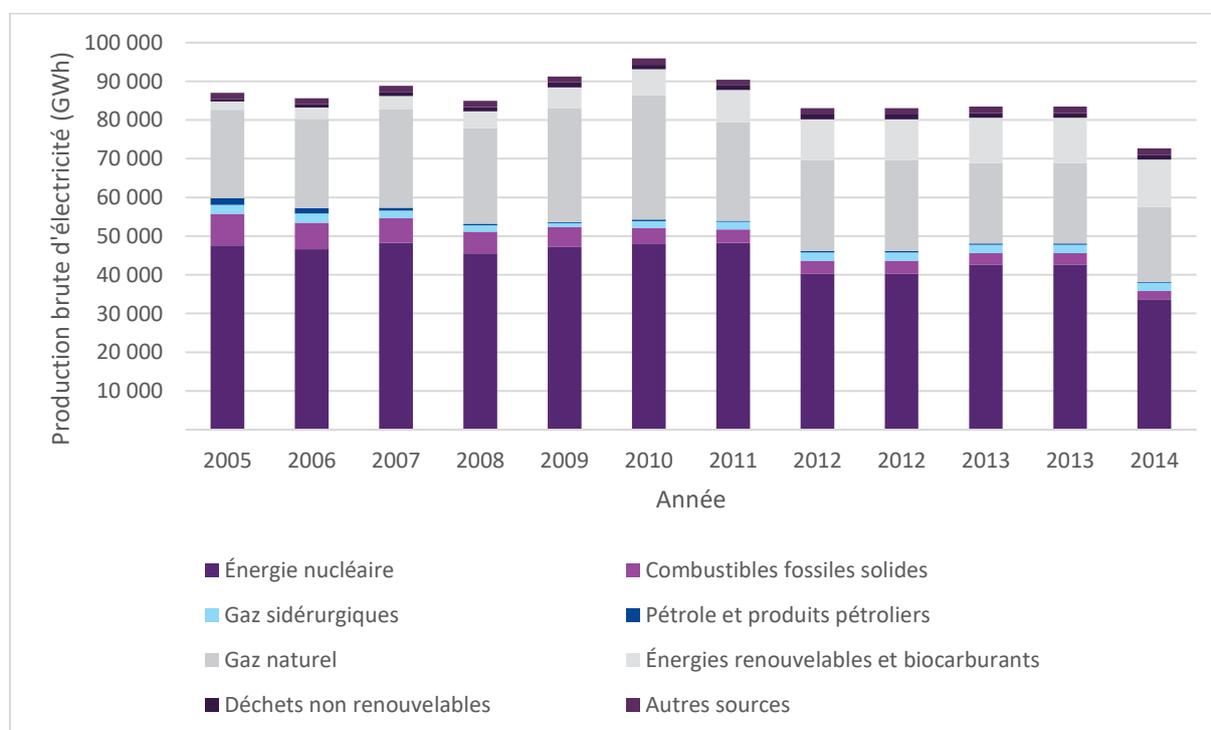


Figure 1 : Production brute d'électricité (gigawattheures) en Belgique pour la période 2005-2014, et part des différentes sources dans cette production (source : <https://statbel.fgov.be/nl/themas/energie/elektriciteitsproductie>).

Les unités de réacteur Doel 1 et 2 représentent ensemble environ 15 % de la capacité de production nucléaire, et leur part dans la production d'électricité nucléaire pour la période 2015-2019 se situait entre 9 % et 16 %, soit entre 3,5 % et 8 % de la production totale d'électricité.

La perte d'une telle part de production ne pouvait évidemment se justifier que si l'on pouvait être sûr que ce déficit pourrait être entièrement compensé. Si ce n'était pas possible, le coût socio-économique qui en résulterait serait considérable (voir encadré).

Le coût social des blackouts en Belgique

Comme indiqué ci-dessus, la loi du 28 juin 2015 a été motivée par la garantie de la sécurité d'approvisionnement à court terme. Les pannes de courant peuvent en effet entraîner des coûts économiques et sociaux potentiellement importants.

Dans une étude¹ menée en 2014 par le Bureau fédéral du Plan, une évaluation quantitative de l'effet des pannes de courant 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).

L'exposé des motifs accompagnant la loi du 28 juin 2015, projet de loi modifiant la loi du 31 janvier 2003 sur la sortie progressive de l'énergie nucléaire à des fins de production industrielle d'électricité et portant modification de la loi du 11 avril 2003 sur les provisions constituées pour le démantèlement des centrales nucléaires et pour la gestion des combustibles irradiés dans ces centrales (DOC 53, 3087/001) mentionne en effet la situation potentiellement problématique en matière de sécurité d'approvisionnement à court terme et renvoie à diverses études qui ont démontré cette situation². Il souligne également la grande incertitude qui entoure le redémarrage des centrales de Doel 3 et Tihange 2, la fermeture annoncée des unités de production conventionnelles en 2015, et le fait que l'intégration des capacités de production étrangères dans le réseau électrique belge n'est pas possible à court terme.

Le même exposé des motifs précise que la prolongation devra être conforme aux dispositions relatives à la révision décennale de la sûreté et, en particulier, aux mesures prévues dans le plan d'exploitation à long terme (LTO) des centrales nucléaires belges élaboré par Electrabel SA. Ce plan LTO précise les mesures à prendre pour prolonger la production industrielle d'électricité des deux centrales afin de les moderniser et d'assurer le respect des règles de

² Il s'agit notamment de « l'Étude sur les perspectives d'approvisionnement en électricité à l'horizon 2030 » (Service public fédéral Économie et Bureau fédéral du Plan, 2015) et du rapport « Quel mix énergétique idéal pour la Belgique aux horizons 2020 et 2030 ? » (Groupe GEMIX, 2009). Ce dernier rapport recommande de reporter d'une révision décennale la fermeture des réacteurs nucléaires Doel 1, Doel 2 et Tihange 1.

sécurité. Selon l'exposé des motifs, l'ajustement du plan d'action pour les tests de résistance et les approbations requises de l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN) doivent également être pris en compte³.

Recommandations dans le cadre de la sécurité d'approvisionnement de l'étude GEMIX de 2009.

Dans l'exposé des motifs de la loi du 28 juin 2015, il est fait spécifiquement référence, entre autres, au rapport « *Quel mix énergétique idéal pour la Belgique aux horizons 2020 et 2030 ?* » (Groupe GEMIX, 2009). Les principales conclusions et recommandations de cette étude concernant la sécurité d'approvisionnement sont brièvement résumées ci-dessous.

L'étude indique :

« Le calendrier actuel des mises en service et déclassements (...) comme prévu dans la loi de 2003 des trois premières (plus anciennes) unités nucléaires en 2015, conduirait à un déficit tant en énergie qu'en capacité. Il n'est pas garanti que des importations puissent combler ce déficit croissant en raison des capacités limitées des réseaux interconnectés et des capacités de production existantes à l'étranger. Cette situation de la production électrique en Belgique s'est d'ailleurs tendue au cours des années. Même avec une simplification drastique des procédures administratives, il n'est pas garanti que des investissements complémentaires se concrétisent en temps opportun. Plusieurs projets de production ne sont qu'annoncés, sans garantie de mise en service dès 2015, sans autorisation(s) acquise(s) et encore moins, sans décision définitive de réalisation de la part de leur concepteur »⁴.

Le rapport souligne que la fermeture des unités de production Doel 1, Doel 2 et Tihange 1 en 2015 devrait conduire à la mise en service, à partir de 2014, d'unités de remplacement non nucléaires à un taux de 50 % de la puissance nominale des trois réacteurs mentionnés (correspondant à une puissance de 700 à 800 MW), en tenant compte d'une période minimale de mise en service de quatre ans pour les nouvelles centrales à gaz. Notons que dans une étude plus récente (Laleman et Albrecht, 2014⁵), le déficit de capacité installée (en cas de fermeture de Doel 1 et Doel 2) en 2017 serait compris entre 2,42 et 3,16 GW, selon l'hypothèse concernant le niveau de la demande de pointe, si l'on souhaitait maintenir une marge de réserve de 5 % (et ne pas dépendre structurellement d'importations d'électricité supplémentaires).

Sur la base de l'analyse ci-dessus, entre autres, le groupe GEMIX fait la recommandation suivante concernant la fermeture des centrales nucléaires :

« Eu égard :

- au timing serré qui affecte la réalisation d'un parc de production de capacité suffisante pour répondre à la demande ;
- au souci de veiller à la continuité de fonctionnement du tissu économique ; tout en satisfaisant aux exigences environnementales et de sécurité d'approvisionnement,

le groupe recommande :

- de retarder d'une révision décennale la fermeture des trois réacteurs nucléaires Doel 1, Doel 2 et Tihange 1 ;
- de réévaluer la situation dans dix ans afin d'évaluer la valeur ajoutée d'une nouvelle prolongation de dix ans de leur durée de fonctionnement ;

³ Suite à la décision prise en 2015 par le gouvernement belge d'autoriser l'exploitation de Doel 1 et 2 jusqu'en 2025, l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN) a effectué une analyse de sûreté pour cette période d'exploitation prolongée et a ensuite imposé des travaux à l'exploitant, Electrabel sa, pour mettre les réacteurs en conformité avec les normes de sûreté les plus récentes. Les travaux ont été nommés travaux LTO, qui signifie Long Term Operation. Electrabel sa a donc élaboré des plans d'action visant à réaliser ces activités selon un calendrier précis lors de chaque arrêt périodique des réacteurs. Les travaux sur Doel 1 et 2 sont maintenant terminés. L'AFCN a donné son feu vert pour redémarrer ces réacteurs les 29 et 22 mai 2020 respectivement. Voir également <https://afcn.fgov.be/fr/dossiers/centrales-nucleaires-en-belgique/exploitation-long-terme-lto-des-centrales-nucleaires>

⁴ Dans une version mise à jour de son rapport (juillet 2012), la commission GEMIX déclare toujours explicitement ce qui suit : « *du côté de l'offre de capacités, force est de constater un retard dans la réalisation de plusieurs projets de centrales (au gaz) susceptibles de compenser en temps opportun les productions des unités nucléaires déclassées* ».

- de retarder de vingt ans la fermeture des autres réacteurs plus récents (Doel 3, Doel 4, Tihange 2 et Tihange 3)⁵. »

En ce qui concerne cette recommandation, le rapport formule un certain nombre de *conditions sine qua non* sur la sécurité de fonctionnement et la gestion des déchets et sur la ratification de chaque prolongation par l'AFCN sur la base d'une évaluation comparative internationale. Ailleurs, le rapport indique également que « *l'éventuelle prolongation de la durée de vie des unités nucléaires devrait s'accompagner, de toute façon, d'une politique très ambitieuse de la maîtrise de la demande et de l'amélioration de l'efficacité énergétique* ».

Recours en annulation devant la Cour constitutionnelle

Le 5 janvier 2016, Inter-Environnement Wallonie et Bond Beter Leefmilieu Vlaanderen ont introduit un recours en annulation de la loi du 28 juin 2015 devant la Cour constitutionnelle. Cette demande était fondée sur le fait que la prolongation des centrales nucléaires a été adoptée sans évaluation environnementale et sans procédure impliquant le public. Les traités internationaux et les directives européennes suivants ont été cités à l'appui de la demande d'annulation :

- La convention d'Espoo sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement dans un contexte transfrontière du 25 février 1991 ;
- La Convention d'Aarhus sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement du 25 juin 1998 ;
- La directive 2011/92/UE du 13 décembre 2011 concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement (directive EIE) ;
- La directive 92/43/CEE du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages ;
- La directive 2009/147/CE du 30 novembre concernant la conservation des oiseaux sauvages.

Par un arrêt interlocutoire du 22 juin 2017, la Cour constitutionnelle a posé à la Cour de justice de l'Union européenne des questions préjudicielles concernant l'interprétation des traités et des directives.

La Cour de justice de l'Union européenne, dans son arrêt du 29 juillet 2019⁶, a estimé que les travaux nécessaires effectués sur les centrales de Doel 1 et 2 pour les moderniser et assurer le respect des règles de sécurité en vigueur doivent être soumis à une évaluation de l'impact environnemental. Étant donné que la loi du 28 juin 2015 modifiant la loi du 31 janvier 2003 est indissociable des travaux de modernisation nécessaires (soumis à une EIE), la Cour de justice a jugé que, conjointement avec ces travaux, elle constituait un « projet » au sens de la directive 2011/92/UE, et devait donc en principe être soumise à une évaluation de l'impact environnemental.

En outre, les centrales étant situées à proximité de la frontière entre la Belgique et les Pays-Bas, le projet devait être soumis à la procédure d'évaluation transfrontière prévue par la directive avant l'adoption de la loi en question. La Cour de justice européenne a également statué que l'urgence du projet ne pouvait pas être invoquée pour justifier une exemption de l'évaluation de l'impact environnemental, car la Belgique n'avait pas informé la Commission européenne de son souhait de faire usage de cette possibilité. Une telle exemption ne pourrait d'ailleurs pas être appliquée compte tenu des effets transfrontières du projet. En outre, la Cour de justice a déclaré que le projet devait être soumis à une évaluation appropriée compte tenu des effets possibles sur les zones de protection spéciale, y compris l'Escaut.

Après avoir reçu l'arrêt de la Cour de justice, le 5 mars 2020, la Cour constitutionnelle a annulé la loi du 28 juin 2015 modifiant la loi du 31 janvier 2003. La Cour a déclaré que « la loi attaquée devait être précédée, avant son adoption, d'une évaluation de ses incidences environnementales et d'une consultation du public portant sur le principe de la

⁵ Cette recommandation n'a pas été suivie d'effet dans la pratique.

⁶ Arrêt dans l'affaire C-411/17 Inter-Environnement Wallonie asbl et Bond Beter Leefmilieu Vlaanderen vzw contre le Conseil des ministres.

prolongation (...) ainsi que sur les conséquences de cette prolongation en matière de travaux de modernisation et de sécurisation ». La Cour a également déclaré que la loi attaquée, ainsi que les travaux de modernisation et de sécurisation qui y sont inextricablement liés, auraient dû être précédés d'une évaluation appropriée de l'impact environnemental avant son adoption.

Toutefois, la Cour constitutionnelle a décidé, « afin d'éviter le risque réel et grave d'interruption de l'approvisionnement en électricité du pays », de maintenir ses effets jusqu'à l'adoption d'une nouvelle loi, précédée de l'évaluation des incidences sur l'environnement requise et d'une évaluation appropriée, y compris la participation du public et la consultation transfrontière, et au plus tard jusqu'au 31 décembre 2022.

Par conséquent, l'État belge doit adopter une nouvelle loi d'ici le 31 décembre 2022 pour prolonger l'exploitation des centrales nucléaires de Doel 1 et 2 et, avant l'adoption de cette nouvelle loi, procéder aux évaluations requises, y compris la consultation publique et la consultation transfrontière.

1.1.2 Objectif de cette évaluation de l'impact environnemental

Comme mentionné ci-dessus, afin de traiter les conséquences de l'arrêt de la Cour constitutionnelle, avant l'élaboration d'une nouvelle loi, une évaluation de l'impact environnemental doit être réalisée pour la décision visant à maintenir les centrales nucléaires ouvertes pendant 10 années supplémentaires, ainsi que pour les travaux de modernisation et de sécurisation nécessaires pour assurer le fonctionnement optimal des centrales nucléaires de Doel 1 et 2 dans le cadre de la prolongation de l'exploitation. Les travaux mentionnés sont en effet inextricablement liés à la décision et, ensemble, ils forment un seul et même Projet.

L'évaluation de l'impact environnemental de ce Projet a un double caractère, puisqu'elle concerne d'une part une décision stratégique et d'autre part des travaux concrets ; elle est donc subdivisée en deux parties. **Cette évaluation de l'impact environnemental (EIE) comprend l'évaluation des impacts causés par la décision politique stratégique de reporter de 10 ans la désactivation de Doel 1 et 2.**

Une évaluation des incidences sur l'environnement distincte, commandée par l'exploitant des centrales nucléaires, évalue les effets des travaux spécifiques à réaliser à la suite de la loi sur la production d'électricité prolongée qui sera adoptée par le législateur.

Les deux évaluations environnementales ont été préparées séparément, mais ensemble, elles constituent l'évaluation environnementale du Projet telle que définie ci-dessus. Pour distinguer les deux parties de cette évaluation globale de l'impact environnemental, nous parlons respectivement de « l'évaluation de l'impact environnemental liée à la décision » et de « l'évaluation de l'impact environnemental liée aux travaux »⁷.

L'évaluation de l'impact environnemental sur la décision stratégique de reporter la désactivation de Doel 1 et 2 implique l'identification, la description et l'évaluation des impacts directs et indirects du Projet. Il s'agit d'une évaluation de l'impact environnemental au niveau stratégique qui, conformément à l'article 3 de la directive EIE (Directive 2011/92/UE concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement, modifiée par la Directive 2014/52/UE du 16 avril 2014), doit tenir compte des facteurs suivants :

- a) La santé de la population et la santé humaine ;
- b) La biodiversité, avec un accent particulier sur la conservation des habitats naturels et de la faune et de la flore sauvages en vertu de la Directive 92/43/CEE et la Directive 2009/147/CE concernant la conservation des oiseaux sauvages ;
- c) La terre, le sol, l'eau, l'air et le climat ;
- d) Les biens matériels, le patrimoine culturel et le paysage ;
- e) La relation entre les facteurs mentionnés aux points a) à d).

⁷ Une évaluation distincte de l'impact environnemental est réalisée pour les « travaux » pour le compte d'Electrabel sa, l'exploitant de la centrale nucléaire de Doel.

L'annexe IV de la directive (modifiée) précise en outre que les facteurs énumérés à l'article 3 susceptibles d'être affectés de manière significative par le projet comprennent « la population, la santé humaine, la biodiversité (par exemple la faune et la flore), les terres (par exemple l'occupation des terres), le sol (par exemple, les matières organiques, l'érosion, le tassement, l'imperméabilisation), l'eau (par exemple, les changements hydromorphologiques, la quantité et la qualité), l'air, le climat (par exemple, les émissions de gaz à effet de serre, les impacts pertinents pour l'adaptation), les biens matériels, le patrimoine culturel, y compris les aspects architecturaux et archéologiques, et le paysage ».

L'évaluation de l'impact environnemental pour les effets non radiologiques couvre les facteurs énumérés ci-dessus. Au § 2.1.1, nous indiquons quels effets sont mis en évidence et pourquoi. Pour les effets radiologiques, l'accent est mis sur les facteurs « population et santé humaine » et « biodiversité ».

1.1.3 Initiateur et équipe d'experts

1.1.3.1 Initiateur

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

1.1.3.2 Équipe d'experts

L'évaluation de l'impact environnemental a été préparée par une équipe d'experts indépendants en EIE radiologique et non radiologique. Une référence à leur reconnaissance dans ce domaine se trouve à la p. 3 et 4.

Experts en RIE radiologique du SCK CEN :

- Johan Camps (chef d'unité CMD) : Coordinateur de projet et expert en EIE radiologique ;
- Hildegard Vandenhove (directrice de l'institut EHS) : SPOC SCK CEN avec le Service public fédéral Économie et Electrabel sa et experte en EIE radiologique ;
- Christophe Bruggeman (responsable de l'expertise W&D et directeur adjoint de l'institut EHS) : Expert en EIE radiologique, responsable de l'analyse des déchets nucléaires.

Experts en RIE non radiologique

- Coordination EIE : Koen Couderé (KENTER) ;
- Expert EIE Eau et Climat : Koen Couderé (KENTER) ;
- Expert EIE Biodiversité : Annemie Pals (effet Mieco) ;
- Expert EIE Air : Johan Versieren (Joveco) ;
- Expert EIE Homme et Santé : Geert Boogaerts.

Katelijne Verhaegen (KENTER) a travaillé sur la discipline Eau et les parties méthodologiques générales de cette évaluation de l'impact environnemental.

1.1.4 Guide de lecture

Cette évaluation de l'impact environnemental est structurée en cinq chapitres.

Le *chapitre 1* d'introduction (le présent chapitre) décrit le contexte du Projet qui fait l'objet de la présente évaluation de l'impact environnemental (EIE). Le contexte juridique et politique et l'objectif de l'évaluation ont été abordés ci-dessus, et l'équipe qui a réalisé cette étude a 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 développements externes qui peuvent influencer cette situation de référence. Il examine également brièvement la procédure suivie, en mettant l'accent sur la consultation et la participation du public, et la demande d'avis auprès d'un certain nombre d'instances compétentes.

Les effets du Projet sont décrits dans deux chapitres distincts. Le chapitre 2 traite des aspects non radiologiques, le chapitre 3 des aspects radiologiques.

Le *chapitre 2* traite d'abord de la délimitation de la portée de l'étude (scoping). Cette section identifie les sujets qui feront l'objet d'une attention particulière dans cette EIE et donne les raisons pour lesquelles certains sujets ne sont pas couverts en détail. Ensuite, les impacts (non radiologiques) du projet pour les thèmes de l'eau, de la biodiversité, de l'air, du climat et de la santé sont décrits et évalués. L'évaluation est toujours basée sur un examen des objectifs politiques pertinents pour le thème.

Le *chapitre 3* aborde d'abord les concepts de base de la radioprotection et des déchets radioactifs ainsi que leur gestion. Il décrit ensuite la méthodologie utilisée pour déterminer les effets des rejets courants et accidentels sur l'homme et l'environnement, des déchets radioactifs et du démantèlement. La situation actuelle en termes d'impact radiologique est également examinée en détail. Les impacts du report de la désactivation de Doel 1 et Doel 2 qui sont décrits ci-après concernent la santé humaine, la biodiversité ainsi que la production et la gestion des déchets radioactifs. Les effets normaux et accidentels sont pris en compte, y compris les effets transfrontières. Les mesures d'atténuation sous forme de plans d'urgence sont également discutées.

Le *chapitre 4* présente une synthèse des effets non radiologiques et radiologiques. Une attention particulière est accordée aux effets transfrontières, à la nécessité de mesures d'atténuation et aux lacunes en matière de connaissances. Une conclusion générale est formulée sur cette base.

Enfin, le *chapitre 5* fournit le résumé non technique de cette EIE, destiné à donner à un large public un aperçu des résultats de cette 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 concerne la décision stratégique de reporter la désactivation de Doel 1 et 2, en tenant compte de toutes les directives européennes applicables (2011/92/UE, 92/43/CEE et 2009/147/CE). Comme indiqué ci-dessus, une évaluation de l'impact environnemental est également réalisée par l'exploitant des centrales nucléaires afin d'évaluer l'impact des travaux réalisés dans le cadre des plans d'action intégrés pour la poursuite de l'exploitation de Doel 1 et 2 sur la période 2015-2025. Les deux évaluations constituent ensemble l'Évaluation de l'impact environnemental du Projet, comme le prescrit l'arrêt de la Cour constitutionnelle du 5 mars 2020.

Le Projet qui fait l'objet de cette évaluation de l'impact environnemental (et de l'évaluation séparée de l'impact environnemental en ce qui concerne les travaux associés) comprend le « report de la désactivation » des réacteurs nucléaires/unités de production d'électricité Doel 1 et 2 qui font partie du site de la centrale nucléaire de Doel (CNDoel), exploitée par Electrabel sa, et située dans la Scheldemolenstraat, Haven 1800, 9130 Doel. La CNDoel compte au total quatre réacteurs nucléaires, les bâtiments d'assistance et les installations nécessaires à la production d'électricité et au stockage des combustibles usés. Le site est situé dans la commune de Beveren (Flandre orientale), sur la rive gauche de l'Escaut et à une distance minimale de 3,15 km de la frontière néerlandaise (voir Figure 2). Le fonctionnement de la centrale nucléaire, qui se concentre sur l'exploitation des unités Doel 1 et 2 qui font partie du Projet, est décrit plus en détail au § 1.2.1.2.



Figure 2 : Localisation de la CNDoel (Geopunt Vlaanderen).

Le Projet est considéré comme indépendant des autres projets en cours et/ou prévus pour le site de la CNDoel, tels que le projet SF² (construction d'une nouvelle installation pour le stockage temporaire de combustible nucléaire utilisé sur le site de Doel (la « Spent Fuel Facility » ou installation pour les combustibles utilisés)ⁱⁱⁱ) et l'arrêt de Doel 3⁸ (actuellement prévu le 1er octobre 2022^{iv} et suivi d'une phase post-opérationnelle avant le début du démantèlement proprement dit). En outre, l'installation SF² ne stockera que les combustibles usés (traitement compris) des unités nucléaires de Doel 3 et 4, afin d'augmenter la capacité de stockage provisoire actuelle avec une durée de vie prévue pour cette installation de 80 ans.

Cette évaluation de l'impact environnemental au niveau stratégique concerne la décision politique stratégique sur la poursuite de l'ouverture et de l'exploitation des unités Doel 1 et 2 pour la production d'énergie sur la période 2015-2025.

La phase post-opérationnelle et le démantèlement ne font pas partie du Projet tel qu'il est considéré ici, bien que certains aspects de l'exploitation des unités Doel 1 et 2 sur la période 2015-2025, qui peuvent être importants dans le contexte du démantèlement, soient pris en compte.

La période 2015-2025 pour Doel 1 et 2 comprend, comme indiqué précédemment, une période d'exploitation supplémentaire après la période de fonctionnement initiale de 40 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 que l'on appelle la Révision décennale ou Révision de Sûreté périodique (Periodic Safety Review). Pour la période débutant en 2015, il s'agit de la quatrième révision et les deux unités sont également en service depuis 40 ans. Dans le cadre de l'exploitation après 40 ans, également connue sous le nom d'exploitation à long terme des centrales nucléaires (Long Term Operations ou LTO), un plan d'action a été élaboré et intégré dans la quatrième Révision décennale^v. L'objectif de ce plan d'action est d'améliorer continuellement la sûreté des plus anciennes unités nucléaires de Belgique (dont Doel 1 et 2) pour la porter au niveau prévu pour les centrales les plus récentes. Des actions découlant d'un vaste programme de tests de résistance (« Stress tests ») qui a vu le jour après l'accident

⁸ Comme prévu par la loi du 31 janvier 2003 sur la sortie progressive de l'énergie nucléaire.

survenu à la centrale nucléaire de Fukushima le 11 mars 2011 y ont aussi été intégrées. Les principales actions sont les suivantes :

- La construction d'une nouvelle station de pompage sismique pour améliorer la sécurité contre l'incendie, ce qui permettra à Doel 1 et 2 d'être mieux protégés contre le feu en cas de tremblement de terre.
- L'installation d'un système de ventilation filtrée de confinement (Containment Filtered Venting System - CFVS) pour effectuer une dépressurisation de l'enceinte de confinement (bâtiment du réacteur) face à une surpression en cas d'accident avec fusion nucléaire (accident grave), afin de préserver l'intégrité du bâtiment et de limiter les conséquences radiologiques sur l'environnement.

Les travaux portent donc principalement sur les dispositifs de sécurité qui n'affectent pas le fonctionnement de la centrale dans des conditions normales (comme la puissance thermique). Les travaux réalisés dans le cadre de ces plans d'action intégrés ne font pas l'objet de la présente évaluation de l'impact environnemental. Les effets de ces travaux sont décrits et évalués dans une évaluation de l'impact environnemental distincte réalisée par l'exploitant des centrales nucléaires, comme indiqué ci-dessus. La présente EIE porte exclusivement sur la décision politique stratégique relative à la poursuite de l'exploitation de Doel 1 et 2 pour la production d'électricité au cours de la période 2015-2025.

1.2.1.2 Fonctionnement d'une centrale nucléaire

La centrale nucléaire de Doel (CNDoel) se compose de quatre réacteurs nucléaires pour la production d'électricité et de toute l'infrastructure d'assistance nécessaire à son exploitation.

Doel 1 et 2 sont des réacteurs jumeaux du type dit à eau pressurisée ou à haute pression (Pressurized-Water Reactor PWR) du modèle Westinghouse. Le Tableau 3 donne un aperçu des données de base pour ces deux unités de production. Dans un souci d'exhaustivité, les données relatives à Doel 3 et 4 sont également incluses.

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

Unité	Type/modèle	Puissance thermique	Énergie électrique	Date de la première criticité	Confinement	Capacité de stockage de combustible
Doel 1	PWR (2 circuits de refroidissement primaires) Westinghouse	1312	445	18/07/1974	Double (acier + béton armé)	Ensemble pour Doel 1 et 2 : 664 positions
Doel 2	PWR (2 circuits de refroidissement primaires) Westinghouse	1312	445	04/08/1975	Double (acier + béton armé)	
Doel 3	PWR (3 circuits de refroidissement primaires) Westinghouse	3064	1006	14/06/1982	Double avec liner intérieur	672 positions
Doel 4	PWR (3 circuits de refroidissement primaires) Westinghouse	3000	1036	31/03/1985	Double avec liner intérieur	628 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. Nous décrivons ici le fonctionnement typique d'un PWR avec des données spécifiques pour Doel 1 et 2.



Figure 3 : 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 le fût (ou 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 (UO₂) avec un pourcentage d'enrichissement en uranium 235 (U-235) d'environ 4 % (l'uranium naturel contient environ 0,7 % d'U-235). Les tablettes de combustible sont empilées dans des conduits en alliage de zirconium. Ils assurent le confinement des produits de fission. Les broches ainsi formées sont regroupées en éléments de combustible et maintenues dans un réseau par des grilles. La fission 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 utilise des faisceaux absorbants (barres de contrôle) et du bore⁹ (un élément qui capte facilement les neutrons) . Les barres de contrôle sont divisées en deux groupes :

- Les barres de contrôle (21 pièces) qui assurent le contrôle rapide de la réactivité ;
- Les barres d'arrêt ou le système d'arrêt (également appelé SCRAM, 12 pièces) qui, avec les barres de contrôle, peuvent procéder à un arrêt d'urgence.

Les barres de contrôle 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 désintégration radioactive des produits de fission, le cœur du réacteur reste chaud après l'arrêt et doit être refroidi davantage.

L'énergie libérée lors de la fission, provenant de l'énergie et de la désintégration 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 1 et 2. 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 bouillonne. À Doel 1 et 2, cette eau

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

est pompée par deux circuits, qui forment ensemble le circuit de refroidissement primaire (chacun avec sa propre pompe), du cœur du réacteur au générateur de vapeur. Un réservoir sous pression régule la pression. Les bâtiments du réacteur sont constitués d'une enveloppe (sphérique ?) en acier à l'intérieur, tandis que l'extérieur cylindrique est en béton armé sur lequel repose une coupole semi-circulaire. L'espace entre la sphère en acier et le béton armé est toujours maintenu sous pression. Les bâtiments des réacteurs (BR) de Doel 1 et 2 sont situés symétriquement des deux côtés du bâtiment des services d'assistance nucléaires (BAN), qui est commun aux deux réacteurs. Il comprend les principaux systèmes de sécurité des deux unités (systèmes de refroidissement et d'aspersion), le stockage externe des éléments combustibles nucléaires frais, les bains pour les combustibles usés (dont l'eau est purifiée et refroidie en continu) et les réservoirs de stockage des effluents liquides et gazeux.

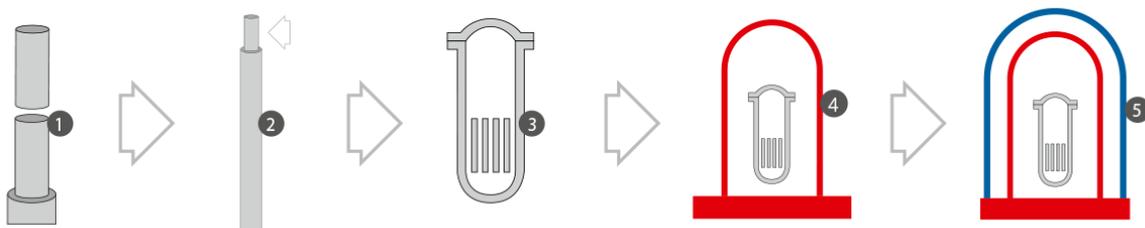


Figure 4 : Les barrières successives protégeant l'uranium et les produits de fission du monde extérieur, autrement dit l'oxyde d'uranium comprimé en tablettes (1) est empilé dans les barres de combustible qui sont soudées (2), qui se trouvent dans le fût du réacteur (fermé pendant le fonctionnement, ouvert 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 du réacteur (4) successivement entourée par le mur secondaire du bâtiment du réacteur en béton armé (5).

Les principaux systèmes de sécurité sont logés dans le bâtiment commun (GNH) et les caractéristiques de ces bâtiments ont généré des points d'attention spécifiques, comme abordé en détail dans le test de résistance belge, le Rapport national des centrales nucléaires belges^{vi} faisant partie de la révision décennale/Long Term Operations pour Doel 1 et 2. Une description détaillée des systèmes de sécurité est reprise dans un rapport national de sécurité de l'AFCN^{vii}.

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, 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. La vapeur du circuit secondaire transfère sa chaleur à l'eau de l'Escaut du circuit tertiaire, ce qui provoque un léger réchauffement de cette eau de l'Escaut. C'est pourquoi elle est d'abord acheminée vers les tours de refroidissement à tirage forcé avant de retourner au condenseur ou de s'écouler à nouveau dans l'Escaut.

La radioactivité et le rayonnement¹⁰ sont présents dans un réacteur nucléaire ou proviennent des éléments suivants :

- Le combustible nucléaire : il est composé d'oxyde d'uranium et contient divers isotopes d'uranium, notamment l'U-238, l'U-235 et l'U-236, qui sont tous spontanément radioactifs, mais qui ont une longue demi-vie et se désintègrent principalement par désintégration alpha ;

¹⁰ Voir § 3.1.

- La fission nucléaire pendant le fonctionnement du réacteur, qui génère 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 en émettant des rayonnements bêta et gamma ; les neutrons libérés par la fission sont eux-mêmes une forme de rayonnement ionisant ;
- 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) ;
- 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, tous radioactifs et dont plusieurs ont des demi-vies très longues.

Comme dans tous les processus industriels, de petites quantités de ces éléments radioactifs peuvent être libérées dans la zone nucléaire pendant l'exploitation normale et lors de la maintenance. Cela crée un certain nombre de flux de déchets radioactifs sous forme gazeuse, liquide et solide, en plus des éléments combustibles usés. Il existe également à cette fin des systèmes de traitement des effluents solides et liquides sur le site de la CNDoeI, qui se trouvent dans le bâtiment de traitement des eaux et des déchets (TED).

Un certain nombre de modifications ont été apportées aux installations de Doel 1 et 2 pour permettre leur raccordement au TED. Ces modifications visent principalement à adapter la séparation existante des déchets aux principes applicables à Doel 3 et 4 :

- Les effluents recyclables avec d'une part les drains d'eau primaire non dégazés et d'autre part les drains d'eau primaire dégazés ;
- Les effluents non recyclables avec : les effluents d'exploitation (drains de sol, eaux de douche et de lavage), les drains chimiques et les effluents de régénération issus de la purification continue des condensats.

En plus des composants décrits ci-dessus, il existe un certain nombre de bâtiments d'assistance, dont certains sont liés à la sécurité, en dehors de la partie nucléaire de la centrale :

- Le bâtiment des générateurs diesel (BGD, 5 générateurs diesel) ;
- Le bâtiment des services d'assistance électrique (BAE) où se trouve la salle de contrôle ; il n'y a qu'une seule salle de contrôle pour les deux unités Doel 1 et Doel 2 ;
- Le bâtiment des services d'assistance mécanique (BAM) ;
- Le bâtiment eau-vapeur (BAR) abrite les vannes d'isolement des systèmes d'alimentation en eau des générateurs de vapeur, des conduites de vapeur, des soupapes de sécurité, des soupapes de décharge de la vapeur vers l'atmosphère et des systèmes d'alimentation en eau ;
- Le bâtiment du système d'urgence (BSU, 2^e niveau de protection). Ce bâtiment a été ajouté lors de la première évaluation de sécurité. Le bâtiment abrite un système d'alimentation d'urgence en eau, un système d'injection d'urgence pour les étanchéités de la pompe primaire, une salle de contrôle d'urgence et un certain nombre de systèmes de support ;
- Les tours de refroidissement à tirage forcé (HUK) pour refroidir le système de refroidissement des composants.

D'autres bâtiments ne sont pas spécifiquement liés à la sécurité :

- La salle des machines (SMA, mentionnée ci-dessus) ;
- Les stations de pompage pour l'alimentation en eau de l'Escaut (WVA), le tunnel d'entrée correspondant et le canal de décharge de l'eau non traitée ;
- Sous-sols pour le réservoir de neutralisation et les pompes correspondantes (NBK).

L'exploitation de la centrale nucléaire dans son ensemble et de Doel 1 et Doel 2 spécifiquement pour la production d'électricité nécessite, comme tout processus industriel, des matières premières et produira également un certain nombre de flux de déchets. Nous en résumons les principaux éléments dans le Tableau 4.

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 utilisé
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 (eau de refroidissement)	Eaux usées sanitaires et industrielles
Eau de ville	Eau de refroidissement redéversée
Utilisation des terres	

1.2.2 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 tout d'abord de savoir quel est l'objectif du présent Projet (reporter la désactivation de Doel 1 et 2), et ensuite s'il existe (ou s'il y a eu) d'autres moyens d'atteindre cet objectif.

Comme indiqué précédemment, l'objectif politique poursuivi avec le report de la désactivation est de *garantir la sécurité d'approvisionnement* dans le domaine de l'électricité. En gardant les réacteurs Doel 1 et 2 ouverts plus longtemps (jusqu'en 2025 au lieu de 2015) et en reportant donc la désactivation décidée précédemment, cet objectif est effectivement atteint (pour la période allant jusqu'en 2025).

La question qui se pose alors est de savoir si, au moment de l'approbation de la loi du 28 juin 2015 (ou, plus précisément, au moment de la décision gouvernementale du 18 décembre 2014), il existait des moyens alternatifs pour atteindre l'objectif (garantir la sécurité d'approvisionnement pour la période 2015 - 2025). Il ne suffit pas de concevoir des solutions de remplacement théoriques sous la forme de mélanges d'énergies alternatives. 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 était une option plausible.

La réponse à cette question est qu'en 2015, il n'y avait pas d'alternatives valables et opérationnelles qui pouvaient garantir durablement la sécurité de l'approvisionnement. La capacité d'énergie renouvelable n'était pas encore suffisamment développée et ne pouvait être développée à court terme. Il en va de même pour les (nouvelles) centrales à gaz qui pourraient être utilisées comme éventuelle solution de transition entre la phase nucléaire et la phase renouvelable ; celles-ci devaient encore être construites en 2015.

En ce qui concerne l'importation d'électricité en provenance de l'étranger, l'exposé des motifs de la loi du 28 juin 2015 précise que « l'intégration de capacités de production étrangères dans le réseau belge n'est pas possible à court terme ». L'étude GEMIX (2009), pour sa part, a fait valoir qu'une dépendance structurelle excessive à l'égard des importations d'électricité introduit une forme de vulnérabilité dans le système. L'étude indique qu'une dépendance structurelle de plus de 10 % par rapport aux importations rend le système électrique vulnérable en cas de défaillance. En outre, il fallait également tenir compte d'une diminution attendue des exportations françaises d'électricité et d'une demande croissante d'importations structurelles en provenance d'Allemagne¹¹. Enfin, l'étude

¹¹ Cet aspect est confirmé dans une étude récente d'Elia (*Adequacy and flexibility study for Belgium 2020 - 2030. ELIA, 2019*). Cette étude stipule entre autres ce qui suit : « Au cours de la prochaine décennie, environ 100 GW de centrales nucléaires et à charbon seront fermés en Europe, dont la majorité en Europe occidentale (...). C'est surtout la sortie accélérée du charbon dans nos pays voisins (Pays-Bas, Grande-Bretagne, Italie, France, mais surtout Allemagne) qui a un impact négatif sur nos possibilités d'importation pendant les mois d'hiver ».

GEMIX a également noté que la pénurie chronique de capacité de production en Belgique (avant la crise économique) avait déjà atteint les limites de la capacité d'importation, pour laquelle aucune augmentation n'était prévue d'ici 2020. En résumé, les importations d'électricité ne constituaient pas une solution structurelle à la perte de capacité nucléaire en 2015.

La conclusion est donc qu'il n'y avait pas d'alternatives valables à l'objectif politique spécifique auquel le report de la désactivation visait à répondre.

Ce qui précède ne veut pas dire qu'il n'est pas possible de concevoir d'autres combinaisons de ressources de production, chacune ayant ses propres avantages et inconvénients en termes d'impact environnemental¹². Toutefois, la présente analyse n'a pas pour objet de comparer ces scénarios, qui pourraient être élaborés à partir de préférences politiques clairement distinctes.

Dans cette analyse, nous nous limitons à visualiser l'impact environnemental du maintien des réacteurs nucléaires Doel 1 et 2 ouverts plus longtemps, sur la période 2015-2025. Nous ne faisons donc pas la comparaison avec les effets des solutions alternatives (hypothétiques)¹³. Cependant, nous assurons une comparaison avec la situation où le Projet n'aurait pas été réalisé et où la désactivation n'aurait pas été reportée (voir §1.2.3).

Comme mentionné ci-dessus, le manque de certitude concernant l'approvisionnement en électricité de la Belgique a été la principale raison de la décision de reporter de 10 ans la désactivation des réacteurs de Doel 1 et 2. Bien entendu, la mesure dans laquelle l'approvisionnement en électricité peut être garanti a évolué depuis lors, et continuera à évoluer à l'avenir. Ce qui est certain, c'est que la sortie complète du nucléaire, qui sera achevée en 2025, entraînera la disparition de quelque 5,9 GW de capacité de production. La manière dont la sécurité d'approvisionnement peut être garantie au cours de la période 2020-2030 est examinée au § 1.2.3. Ces informations sont fournies afin d'exposer le contexte plus large de la question, mais ne font pas l'objet de la présente évaluation de l'impact environnemental.

1.2.3 Évolution de la sécurité d'approvisionnement au cours de la période 2020-2030

Le Plan national énergie-climat (PNEC) contient un pronostic sur la manière dont la capacité nécessaire à la production d'électricité jusqu'en 2030 sera remplie et sur la production d'électricité correspondante. La Figure 5 résume l'évolution supposée entre 2020 et 2030, en termes de production d'électricité (en GWh).

¹² La faisabilité de plusieurs de ces alternatives a été étudiée, entre autres, dans « L'Étude sur les perspectives d'approvisionnement en électricité à l'horizon 2030 » du Service public fédéral Économie (2015) et dans l'étude GEMIX (2009). Un plan RIE a également été dressé pour la première étude (Arcadis, 2015).

¹³ Sauf en ce qui concerne les « émissions évitées », voir ci-dessous.

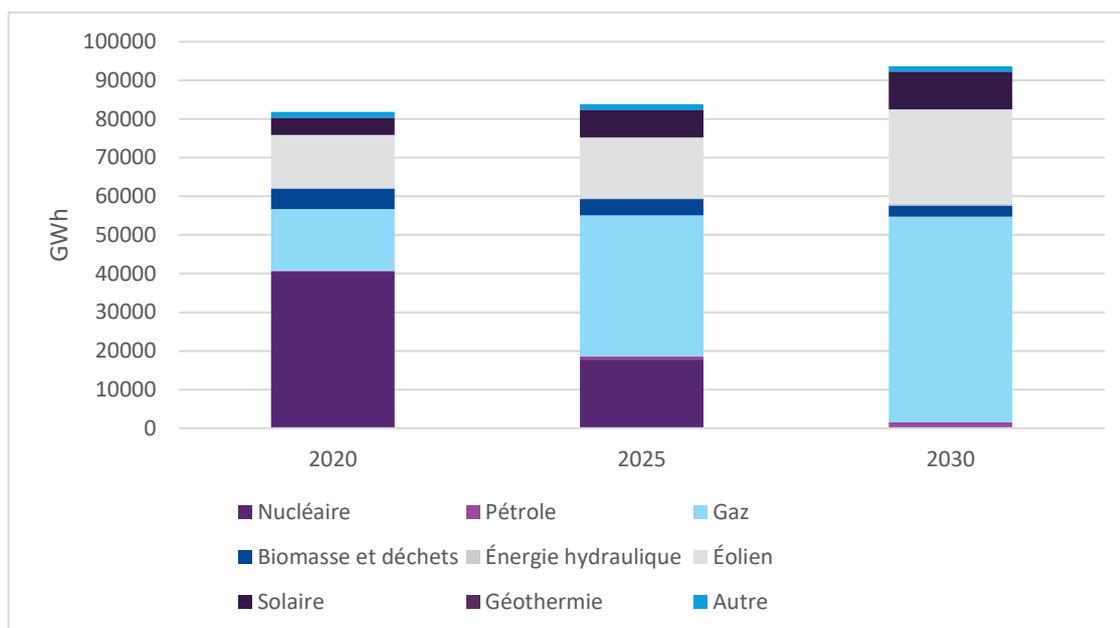


Figure 5 : Évolution de la production d'électricité par les différentes sources sur la période 2020-2030 selon le Plan national énergie-climat.

Une première observation concernant cette figure est que la production en 2030 devrait être sensiblement plus élevée qu'en 2025. Cela est dû en premier lieu à l'électrification en cours dans plusieurs secteurs, notamment le secteur des transports (voitures électriques) et le secteur du chauffage résidentiel (pompes à chaleur). En outre, la croissance économique pourrait entraîner une augmentation de la demande d'électricité, mais on suppose que celle-ci sera satisfaite par une efficacité énergétique accrue.

Une deuxième observation est que, selon cette prévision, la production d'électricité en 2030 reposera sur deux piliers principaux : les centrales au gaz d'une part (selon les chiffres du PNEC, elles représentent environ 57 % de la production), et d'autre part les énergies renouvelables sous forme (principalement) de solaire et d'éolien (ensemble, environ 35 % du total selon le PNEC). D'autres études se basent sur des proportions légèrement différentes, mais c'est finalement le marché (en combinaison avec d'éventuels incitants gouvernementaux) qui déterminera la part exacte des différentes sources dans l'approvisionnement énergétique.

Bien entendu, les investissements dans les capacités de production (centrales à gaz et énergies renouvelables) ne sont pas le seul moyen de répondre à la demande d'électricité : outre l'augmentation de l'efficacité énergétique, les importations d'électricité, entre autres, peuvent également jouer un rôle important. En 2017, par exemple, Elia¹⁴ a supposé que les importations (nettes) d'électricité pourraient contribuer à la demande à hauteur de 21 TWh. Le stockage et la gestion de la demande de leur part peuvent contribuer à absorber ou à aplanir les pics de demande.

La manière dont la transition doit être réalisée après 2025 est plus importante que la part exacte de gaz, de soleil ou de vent. Elia^{viii} a récemment calculé que d'ici 2025, après la fermeture des centrales nucléaires, environ 3,9 GW de capacité de production flexible supplémentaire seront nécessaires pour répondre aux normes de sécurité d'approvisionnement et de flexibilité. Cette estimation représente une augmentation de quelque 8 % par rapport à l'estimation faite par Elia en 2017. La raison principale de cet ajustement est la sortie du charbon que plusieurs pays européens veulent mettre en œuvre à un rythme accéléré. Cela réduit les possibilités pour la Belgique d'importer de l'électricité des pays voisins en période de pénurie. L'offre disponible plutôt que le débit devient le facteur

¹⁴ Electricity scenarios for Belgium towards 2050. Elia's quantified study on the energy transition in 2030 and 2040. Elia, novembre 2017.

limitant. Le chiffre de 3,9 GW prend déjà en compte l'amélioration de l'efficacité énergétique, la gestion de la demande, le stockage de l'énergie, le parc de production existant et l'augmentation des énergies renouvelables. Il a également été tenu compte d'une situation dans laquelle des circonstances imprévues dans les pays voisins entraîneraient une réduction nette de la quantité d'électricité pouvant être importée.

Elia note que les conditions du marché (notamment les faibles prix de l'énergie) n'offrent pas en soi les incitants nécessaires aux entreprises pour investir dans la capacité de production nécessaire. Pour rendre ces investissements possibles, des mesures supplémentaires sont donc nécessaires, outre les mécanismes de marché existants.

Actuellement (et jusqu'à l'hiver 2021-2022), le système de la « réserve stratégique » est toujours en vigueur en Belgique. Cela signifie que les producteurs sont payés pour fournir une production supplémentaire à la demande si des pénuries (temporaires) menacent de se produire. 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.

Comme alternative, un « mécanisme de rémunération des capacités » (Capacity Remuneration Mechanism - CRM) est préconisé depuis plusieurs années. Ce système a également reçu une base juridique depuis peu. L'objectif est qu'une enchère de la capacité de production ait encore lieu cette année (estimée à 3,9 GW au total ; voir ci-dessus), après quoi les unités de production correspondantes pourront être construites, pour être opérationnelles en 2025 au plus tard. Le CRM n'a pas de préférence particulière pour une certaine technologie, tant qu'elle puisse être utilisée de manière flexible. En pratique, il s'agira principalement de turbines à vapeur et à gaz (TVG) en cycle fermé de dernière génération, qui ont un rendement élevé et peuvent donc être exploitées à un coût relativement faible. Toutefois, les centrales de biomasse ou de cogénération, par exemple, entrent également en considération pour le mécanisme CRM.

On s'attend à ce que la période pendant laquelle les TVG joueront un rôle important dans le remplacement de la capacité nucléaire (et fonctionneront donc à un régime élevé) s'étende au moins jusqu'en 2040. Dans la phase de back-up suivante, les heures de fonctionnement diminueront progressivement à mesure que davantage d'énergie renouvelable sera disponible. Les centrales à gaz ne seront alors utilisées que lorsque les sources renouvelables ne produiront pas assez d'énergie. En tout cas, d'ici 2050, la production d'énergie devrait être totalement neutre en carbone.

Pour la période après 2025, l'approvisionnement semble donc assuré, en partie grâce au mécanisme CRM. Elia souligne également que même s'il était décidé de maintenir certains réacteurs nucléaires ouverts au-delà de 2025, il serait toujours nécessaire de déployer des capacités (fossiles) supplémentaires et donc un système de rémunération des capacités. En même temps, l'entreprise indique qu'il est tout aussi important de continuer à miser sur l'efficacité énergétique et un développement accéléré des sources d'énergie renouvelables, en plus de l'utilisation du CRM.

Cependant, il n'y a pas de solution structurelle pour la période entre la fermeture de la première centrale nucléaire (Doel 3) en 2022 et le début du mécanisme CRM en 2025. Il n'est pas certain que des pénuries se produiront réellement pendant cette période. Cela dépend aussi en grande partie de la disponibilité des autres unités de production¹⁵. Pour la période 2022-2025 (et compte tenu des événements imprévus dans les pays voisins qui pourraient freiner les importations), Elia suppose un besoin de capacité pouvant atteindre plus de 1 GW, ce pour quoi aucune solution structurelle n'est disponible. Elia pense que la prolongation du système de réserve stratégique ou l'accélération de l'activation du mécanisme CRM pourrait apporter une solution à ce niveau.

¹⁵ Le calcul d'Elia prend en compte les mises hors service programmées des centrales nucléaires pour maintenance et les indisponibilités (estimées) imprévues des centrales nucléaires et des TVG.

1.2.4 Situation de référence et scénario de référence

Dans une évaluation environnementale, il est important de définir clairement la situation de référence afin de cartographier 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. Ainsi, la situation de référence dans ce cas est la situation qui résulterait si la désactivation n'était pas retardée, c'est-à-dire si Doel 1 et 2 devaient être arrêtés en 2015 selon le calendrier de la loi sur la sortie du nucléaire. La situation qui se présenterait si le plan ou le projet devait être mis en œuvre (report de la désactivation) est comparée à la situation de référence (désactivation). La différence entre les deux indique l'ampleur de l'effet du plan ou du projet (dans ce cas, la décision de reporter la désactivation) (Figure 6).

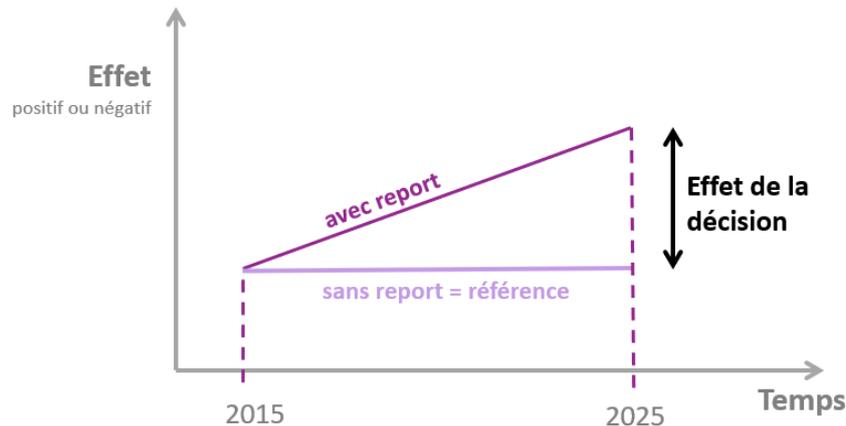


Figure 6 : Représentation schématique de la situation de référence.

La situation de référence dans ce cas est en principe la situation de l'environnement en l'an 2015.

En outre, on part du principe que cette situation de référence ne change pas fondamentalement (sous l'influence de développements sans rapport avec l'exploitation de Doel 1 ou 2) entre 2015 et 2025, ou du moins pas de manière à modifier l'évaluation de l'impact environnemental. Si tel était le cas, il faudra tenir compte de la situation de référence (modifiée) en 2025. Cette question est examinée plus en détail au § 1.2.5.

En plus de la situation de référence, nous utilisons également les termes « période de référence » et « scénario de référence » dans cette 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 période ou en effectuant une estimation comparable des effets cumulés sur la période 2015-2025. Enfin, dans cette évaluation de l'impact environnemental, nous parlons également du *scénario de référence*. Il décrit les développements liés au projet pendant la période de référence si le projet n'est pas exécuté, c'est-à-dire si la désactivation de Doel 1 et 2 aurait eu lieu en 2015. Plus précisément, cela signifie :

- Plus de production d'électricité à Doel 1 et 2 après le 15 février et le 1er décembre 2015 respectivement ;
- Les autres réacteurs du site de Doel seront fermés selon le calendrier prévu par la loi sur la sortie du nucléaire (cf. 1.1.1).

Ce scénario constitue la base de comparaison pour l'objet de la présente évaluation de l'impact environnemental (Figure 7).

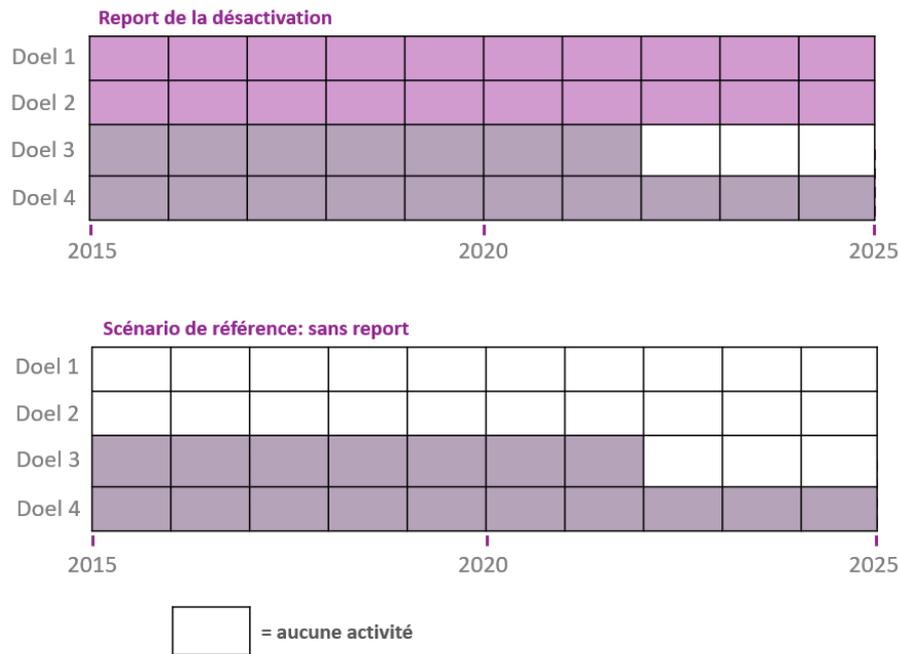


Figure 7 : Exploitation des quatre centrales de Doel avec et sans report.

1.2.5 Développements autonomes et contrôlés potentiellement pertinents

Comme indiqué ci-dessus, le point de départ de cette EIE est que la situation de référence (la situation qui se présenterait sans report de la désactivation en 2015) ne subit elle-même aucun changement au cours de la période de référence qui soit significatif pour l'évaluation de l'impact environnemental.

Pour vérifier si c'est le cas, un aperçu est donné ci-dessous d'un certain nombre de développements autonomes et contrôlés (dans la zone d'étude ou à proximité) qui peuvent être pertinents, et leur pertinence pour l'évaluation de l'impact environnemental du report de la désactivation de Doel 1 et 2 est brièvement évaluée.

1. Projet complexe de capacité supplémentaire de conteneurs à Anvers (CCSA CP) : 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). Cette phase se déroule normalement jusque fin 2021 et se termine par une décision sur le projet. Une fois la décision sur le projet prise, la construction du dock commencera. La construction du dock prendra plus de trois ans. La phase opérationnelle du projet ne coïncidera donc pas avec la période pendant laquelle Doel 1 et Doel 2 seront encore actifs ou non, mais les trois dernières années de cette période coïncideront avec la phase de construction du projet.

Bien qu'il s'agisse d'un projet d'infrastructure de (très) 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 du CP CCSA entraîne des effets sur l'environnement (nuisances sonores, émissions, génération de trafic, etc.), ces effets font partie de la situation de référence de l'évaluation environnementale pour Doel 1 et 2. La description des incidences du report de la désactivation devrait donc tenir compte, dans la mesure du possible, d'une situation de référence modifiée au cours des trois dernières années de la durée du projet.

2. Un projet séparé est en cours pour le village de Doel, qui ne doit pas disparaître pour la CCSA, et la zone tampon le long du nouveau dock. Le 17 mai 2019, un marché a été attribué afin d'élaborer une perspective

d'avenir durable pour Doel, ainsi que pour les problèmes de mobilité dans toute la région du Waasland, dans le cadre de la décision préférentielle sur la CCSA. Cette recherche ne fait pas partie du projet complexe CCSA, mais les deux sont étroitement coordonnés. La décision préférentielle pour la CCSA étant actuellement contestée devant le Conseil d'État, l'étude sur l'avenir de Doel a été temporairement interrompue. Actuellement, Doel est une zone résidentielle (selon le plan d'aménagement) et des habitations y sont aussi présentes dans les faits.

3. 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 octobre 2019, les permis pour les travaux préparatoires (dont une déforestation de 49 ha) ont été délivrés. Dans une prochaine phase, les autorisations pour les installations elles-mêmes seront demandées. 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. Par conséquent, il n'y a pas de véritable chevauchement entre l'exploitation de ce projet et le présent Projet de maintien de Doel 1 et 2 ouverts pendant 10 années supplémentaires.
4. 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 la CNDoel. Ces projets augmentent les valeurs naturelles et donc la vulnérabilité potentielle des environs à certains effets liés au report de la désactivation de Doel 1 et 2 (voir plus loin § 2.2.3.4).
5. Réalisation des différentes étapes de la loi sur la sortie du nucléaire : la présente EIE étudie les conséquences du maintien plus long des réacteurs Doel 1 et 2. Cela n'a toutefois aucune influence sur les autres étapes prévues dans la loi sur la sortie du nucléaire. Pour la période de référence, cela signifie que le 1er octobre 2022, la production d'électricité à Doel 3 cessera. Dans la mesure où cela aurait un impact significatif sur les effets du fonctionnement de Doel 1 et 2 (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 dans les trois années restantes d'exploitation de Doel 1 et 2, la qualité du fond non radiologique de l'environnement ne changera pas de manière significative suite à l'arrêt de Doel 3.

Les développements ci-dessus sont pris en compte dans l'évaluation des incidences de l'EIE et on examine en particulier la mesure dans laquelle ils peuvent accroître l'ampleur des incidences, par exemple parce que la vulnérabilité de la zone environnante a augmenté ou parce que les projets abordés ont des incidences propres qui se cumulent avec les incidences décrites dans la présente évaluation de l'impact environnemental.

1.3 Procédure

Comme indiqué ci-dessus, cette 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 les procédures détaillées prescrites par la réglementation fédérale ou régionale (en termes, par exemple, de délais) ne s'appliquent pas à l'évaluation de l'impact environnemental du présent Projet.

Les notifications requises en vertu de la convention d'Espoo, de la convention d'Aarhus et de la directive EIE (transfrontière et à l'intérieur de la Belgique) sont exécutées par les autorités belges, le Service public fédéral Économie et le Ministre de l'Énergie.

Le 13 août 2020, dans le cadre de la nouvelle loi sur le report de la désactivation de Doel 1 et 2, le Service public fédéral Économie a informé les autorités des pays situés dans un rayon de 1.000 km autour de Doel 1 et 2 du projet proposé. 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 intéressés à participer à la consultation transfrontière auront la possibilité de fournir, à la Direction générale Énergie du Service public fédéral Économie, PME, Classes moyennes et Énergie, un résumé des avis, de leur public et des autorités compétentes, sur l'évaluation des incidences sur l'environnement.

Une fois les évaluations de l'impact sur l'environnement terminées, le Service public fédéral Économie organise une consultation avec les trois régions belges, les provinces belges, les administrations communales intéressées, le Conseil fédéral du développement durable, l'Organisme national belge des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies (ONDRAF) et l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN).

Par ailleurs, une consultation publique en ligne est également organisée pendant 60 jours calendrier sur un site web dédié à la publication de l'intégralité du dossier d'évaluation environnementale concernant le report de la désactivation de Doel 1 et 2 (évaluation de l'impact environnemental au niveau stratégique et évaluation de l'impact environnemental des travaux). La notification concernant la consultation et la participation du public est assurée par le Service public fédéral Économie.

2 Effets non radiologiques

2.1 Méthodologie générale

2.1.1 Scoping

2.1.1.1 Concept

Le scoping (sélection des impacts potentiellement significatifs) vise à identifier les thèmes et les impacts environnementaux (probablement) les plus significatifs dès le début de l'EIE, et à les distinguer d'autres thèmes moins pertinents. 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 ?).

Pour pouvoir y répondre, il convient de connaître le Projet, les caractéristiques de l'environnement et les relations de cause à effet attendues.

La première étape consiste à essayer d'obtenir un aperçu aussi complet que possible de tous les effets potentiels. Dans un deuxième temps, la liste des impacts possibles est réduite en identifiant lesquels de ces impacts peuvent être (potentiellement) considérables. Pour déterminer si les impacts sont potentiellement considérables, 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 de l'initiative proposée 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.

2.1.1.2 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 composantes du Projet (c'est-à-dire des centrales de Doel 1 et 2) et de l'impact environnemental qu'elles pourraient causer ;
- Analyse de la vulnérabilité de l'environnement ;
- Consultation des évaluations d'impact environnemental réalisées antérieurement et du scoping qui y a été effectué (MER Kerncentrale Doel 2010, Long Term Operation - Screening van de milieuaspecten voor Doel 1 en 2 - 2015, MEB Electrabel nv - 2021 - MER SF² 2020, Évaluation environnementale stratégique de l'Étude sur les perspectives d'approvisionnement en électricité à l'horizon 2030 de 2015) ;
- 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 de la centrale 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 différents thèmes. 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 radiologiques et non radiologiques.

Pour les effets non radiologiques, on a également vérifié pour quels autres récepteurs énumérés à l'article 3 et à l'annexe IV de la directive EIE européenne des effets négatifs importants pourraient se produire. Ce point est traité plus en détail au § 2.1.1.3.

2.1.1.3 Scoping dans les grandes lignes

Étape 1 : Analyse des éléments potentiellement générateurs d'impact

Dans une première étape du scoping, la nature des effets qui peuvent se produire est délimitée. Cette analyse commence par une liste des principaux composants et installations de la centrale 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 (RIE 2010, Note de screening 2015, EIE relative aux travaux 2021).

Le résultat de cette analyse est présenté dans le Tableau 5. Les symboles de ce tableau ont les significations suivantes :

- X L'effet peut se produire et est potentiellement important ;
- (x) L'effet peut se produire, mais est probablement négligeable ;
- N L'effet peut se produire et être significatif, mais il ne se distingue pas du fait que la désactivation de Doel 1 et 2 soit reportée ou non.

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 de la centrale 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 5 : Vue d'ensemble des principales installations et activités de la centrale nucléaire de Doel et leur relation avec les impacts environnementaux potentiels.

Composant	Disciplines auxiliaires					Disciplines réceptrices			
	Eau	Sol/eaux souterraines	Air	Mobilité	Bruit	Climat	Biodiversité	Santé	Paysage
1. Traitement et rejet des eaux usées industrielles	X		(x)				X	(x)	
2. Traitement et rejet des eaux usées sanitaires	X		(x)				X	(x)	
3. Rejet d'eau de refroidissement	X						X		
4. Gestion des eaux pluviales	X	(x)							
5. Captage de l'eau de refroidissement	X						X		
6. Tours de refroidissement (Doel 3 et 4)	X		N		N		N	N	N
7. Tours de refroidissement auxiliaires (Doel 1 et 2)			(x)		(x)				
8. Circuits de refroidissement			(x)		(x)	(x)		(x)	
9. Installations DeMin	(x)								
10. Consommation d'eau courante	(x)								

Composant	Disciplines auxiliaires					Disciplines réceptrices			
	Eau	Sol/eaux	Air	Mobilité	Bruit	Climat	Biodiversité	Santé	Paysage
11. Ventilation des bâtiments			(x)		(x)		(x)		
12. Chaudières à vapeur auxiliaires									
13. Générateurs de secours			(x)		(x)	X	(x)	X	
14. Installation de chauffage			(x)		(x)	X	(x)	X	
15. (Bâtiment de) réacteur									N
16. Turbines à vapeur + alternateur					(x)				
17. Transformateurs		(x)			(x)		(x)		
18. Compresseurs					(x)		(x)		
19. Pompes/stations de pompage					(x)		(x)		
20. Batteries stationnaires									
21. Stockage des huiles usagées		(x)							
22. Stockage du diesel		(x)	(x)						
23. Stockage de l'ammoniac		(x)	(x)						
24. Stockage de l'hydrazine		(x)	(x)						
25. Déchets non nucléaires		(x)							
26. Installations diverses (bureaux, sanitaires, réfectoire, etc.)	(x)								
27. Utilisation du sol/revêtement	X	(x)							
28. Éclairage extérieur							(x)		
29. Trafic			(x)				(x)		
30. Infrastructures à haute tension								(x)	
31. Fonctionnement de l'ensemble de la centrale	X	(x)	(x)	(x)	(x)	X	X	X	N

Cette EIE ne vise pas à décrire l'impact complet de la centrale nucléaire de Doel, mais seulement à montrer la différence entre les impacts dans le cas d'une désactivation de Doel 1 et 2 en 2015, d'une part, et d'un report de cette désactivation jusqu'en 2025, d'autre part. Cela signifie que tous les effets générés par la centrale nucléaire ne sont pas pertinents pour cette EIE.

Les effets attribuables uniquement à Doel 3 et 4 font partie de la situation de référence de cette EIE ; ils se produisent dans les deux cas et ne déterminent donc pas la différence entre les situations avec ou sans report de la désactivation de Doel 1 et 2¹⁶. Ces effets sont indiqués dans le tableau avec un N majuscule. Le fait que ces effets soient significatifs ou non n'a pas d'importance. Citons à titre d'exemple le fonctionnement des tours de refroidissement et les effets connexes en termes de bruit, d'impact visuel ou d'équilibre hydrique. Étant donné que Doel 1 et 2 ont leur propre

¹⁶ Il est à noter que la fermeture prévue de Doel 3 le 1er octobre 2022 modifie la situation de référence à cette date.

système d'eau de refroidissement indépendant (dans des circonstances normales), qui n'utilise pas les grandes tours de refroidissement, leurs effets ne sont pas pertinents pour cette EIE.

Pour les autres effets, on distingue ceux qui sont potentiellement pertinents (X) et ceux qui peuvent se produire, mais qui sont plus que probablement négligeables ((x)). Ces derniers ne sont pas examinés en détail dans la présente EIE. Il convient de noter en ce qui concerne les effets dont on ne peut pas affirmer au préalable qu'ils sont uniquement imputables à Doel 3 et 4, qu'il n'est pas toujours possible de déterminer la proportion de ceux-ci qui est exclusivement attribuable au fonctionnement de Doel 1 et 2. Cela peut être dû au fait qu'il s'agit de systèmes communs qui ne peuvent pas être attribués spécifiquement à un ou plusieurs des réacteurs, ou parce que les données manquent pour faire cette distinction.

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

Au cours de cette étape, on détermine sur la base du Tableau 5 quels thèmes devront faire l'objet d'une plus grande attention dans cette évaluation stratégique de l'impact environnemental. En pratique, il s'agit des thèmes dans lesquels des effets potentiellement significatifs peuvent se produire, qui peuvent être attribués au moins en partie à l'exploitation ou à la présence de Doel 1 et 2.

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 si la désactivation est retardée, mais qui se produisent si Doel 1 et 2 sont désactivées. Cette question est examinée plus en détail ci-dessous.

La Figure 8 illustre schématiquement le scoping dans les grandes lignes au niveau des thèmes.

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

Ces effets sont directement attribuables au Projet, c'est-à-dire à la décision politique stratégique qui a conduit à l'exploitation des unités Doel 1 et 2 pendant une période de 10 ans. Comme nous l'avons dit, nous indiquerons de manière plus détaillée de quels effets il s'agit précisément lorsque nous aborderons les thèmes. Nous suivons une approche basée sur les récepteurs, selon laquelle nous évaluons d'abord les effets sur la biodiversité et la santé 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 hydrographique, d'autre part. Les émissions de gaz à effet de serre sont également traitées dans cette EIE, à la fois comme un effet direct et comme un effet « évité ». Le thème du paysage n'est plus abordé dans ce schéma, car l'analyse résumée démontre qu'au sein de ce thème, il ne faut pas s'attendre à des effets significatifs et déterminants pour la différence entre le report ou non de la désactivation. Cela s'applique également aux disciplines auxiliaires du sol, des eaux souterraines, du bruit et de la mobilité.

L'air, l'eau de surface, la biodiversité, la santé et le climat sont donc les cinq thèmes (disciplines) pour lesquels les effets directs du Projet sont déterminés dans cette EIE. Pour chacun de ces thèmes, les critères d'évaluation et les impacts attendus pour chacun de ces critères sont examinés plus en détail plus loin dans la présente EIE.

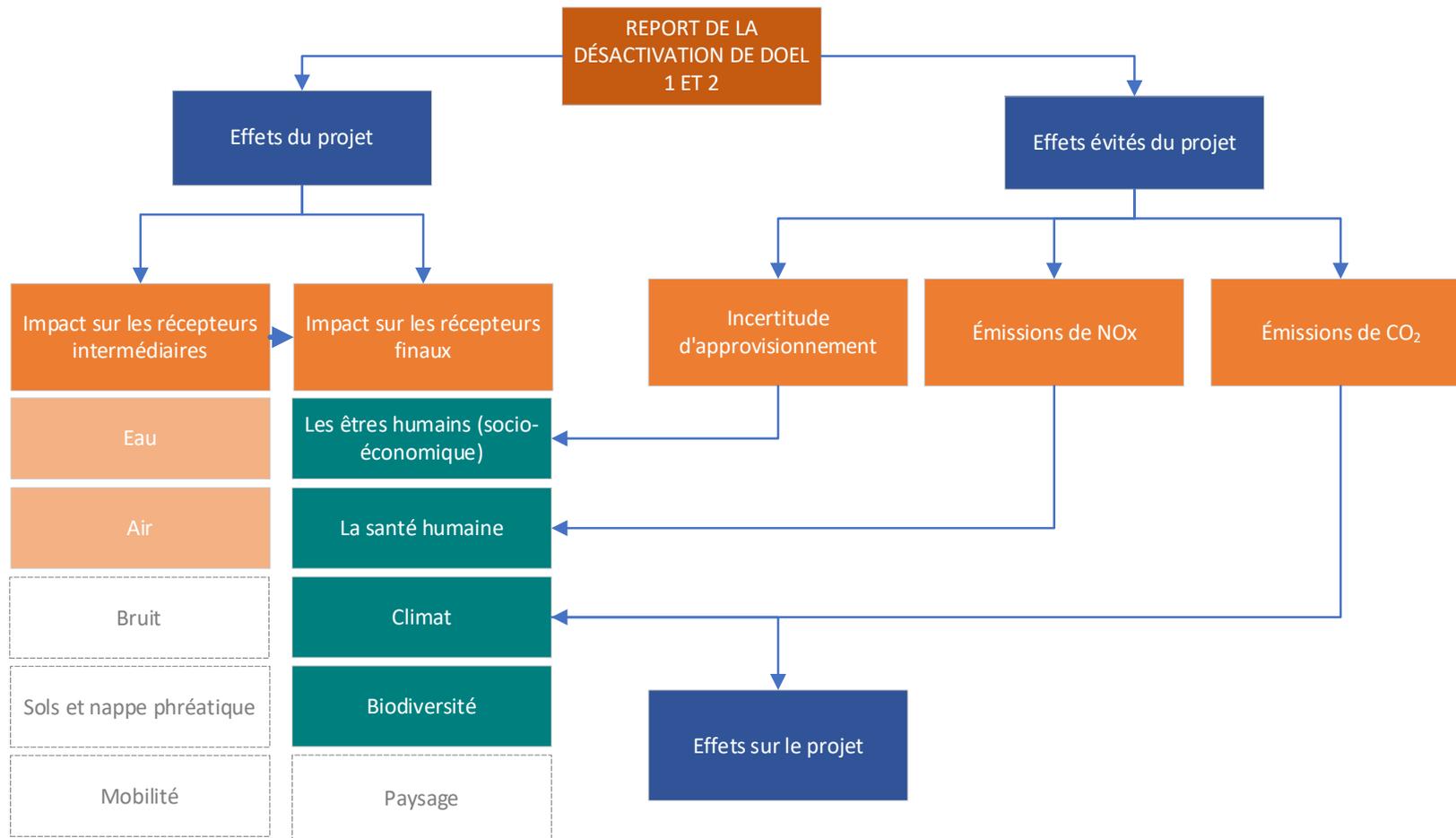


Figure 8 : Représentation schématique du scoping dans les grandes lignes pour l'évaluation de l'impact environnemental de la décision politique de reporter la désactivation de Doel 1 et 2 (décision EIE).

Un certain nombre d'autres thèmes ne sont donc pas abordés dans cette EIE stratégique (décision EIE). Le Tableau 6 résume les raisons pour chacun de ces thèmes. Il convient de noter que ces thèmes sont abordés dans l'évaluation de l'impact environnemental concernant les travaux de report de la désactivation de Doel 1 et 2.

Tableau 6 : 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 au stockage de substances dangereuses dans l'installation. Ce stockage est assuré selon les conditions du Vlarem II.</p> <p>Sur la base d'enquêtes précédentes, plusieurs parcelles du site de la CNDoel ont été inscrites au registre des terrains contaminés, 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>Le stockage et la manipulation 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 ce stockage est également directement liée à Doel 1 et 2 (par exemple, une partie du stockage de diesel nécessaire pour maintenir les pompes en marche en cas de panne de l'alimentation électrique). Le fait de garder Doel 1 et 2 ouvertes plus longtemps augmente donc théoriquement le risque de pollution supplémentaire du sol à la suite de fuites diffuses ou d'accidents. Compte tenu des mesures prises conformément aux conditions du Vlarem (par exemple, l'encuvement, la détection des 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 1 et 2 implique aussi le revêtement de la partie du site occupée par les installations. Le report de la désactivation signifie que ce revêtement de sol est prolongé pendant 10 ans. Toutefois, on peut supposer que même si les centrales avaient été arrêtées en 2015, le revêtement n'aurait pas été enlevé au cours des dix années suivantes, étant donné la longue période nécessaire au démantèlement. Le projet LTO prévoit la construction de quelques nouveaux bâtiments (station de pompage et réservoir pour l'eau d'extinction), mais cela n'implique pas une augmentation significative du revêtement du sol.</p>
Paysage	<p>L'impact de la centrale nucléaire de Doel sur le paysage est principalement déterminé par les tours de refroidissement de 170 m de haut et leurs panaches de vapeur d'eau caractéristiques, et, dans une moindre mesure, par les installations de Doel 3 et 4. Les lignes à haute tension contribuent également à l'impact visuel. En comparaison, les installations de Doel 1 et 2 sont relativement modestes en termes de hauteur et d'ampleur. Leur présence pendant une période supplémentaire de dix ans n'a pas d'effet substantiel sur l'impact visuel global de la centrale. Il en va de même pour l'impact des quelques installations supplémentaires mises en place dans le cadre du projet LTO.</p>
Eaux souterraines	<p>La centrale nucléaire de Doel n'utilise pas les eaux souterraines. Par conséquent, le report ou non de la désactivation de Doel 1 et 2 n'a aucune conséquence à cet égard. La présence de plusieurs bâtiments déjà existants avec des fondations et des pieux atteignant la profondeur des sédiments tertiaires (-15 m) et de parois moulées autour de différentes parties de la centrale peut perturber l'écoulement naturel des eaux souterraines. Toutefois, cette situation ne changerait pas fondamentalement si Doel 1 et 2 étaient désactivés, certainement pas à court terme.</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 du stockage de substances polluantes est très faible, compte tenu des mesures prises conformément à la réglementation en vigueur.</p> <p>Un effet sur le bilan 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> <p>Il ressort de la description reprise dans l'EIE réalisée par Electrabel sa concernant les travaux (le projet LTO) que des égouts drainants et des conduites d'eaux usées et d'eau de refroidissement qui fuient sont</p>

	<p>présentes sur le site, ce qui pourrait en théorie constituer la base d'un impact sur les eaux souterraines. Ces impacts sont décrits plus en détail dans l'évaluation de l'impact environnemental dont il est question. On peut supposer que cette situation serait partiellement assainie en cas de désactivation de Doel 1 et 2, mais étant donné que de nombreux égouts et conduites mentionnés sont communs aux différentes installations du site, on peut s'attendre à ce que l'effet positif de cet assainissement (qui, soit dit en passant, ne se produirait pas à court terme) soit limité.</p>
<p>Mobilité</p>	<p>Les mouvements de trafic résultant de l'exploitation de la CNDDoel sont principalement causés par les véhicules du personnel et des sous-traitants à destination et en provenance du site. Il y a également des mouvements de véhicules du personnel à l'intérieur du site de la CNDDoel. 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). Le transport lié à l'exploitation quotidienne de la centrale se fait par la route. 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 1.700 personnes sont présentes sur le site (pendant la journée) et cette présence peut être liée à quelque 1.300 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.</p> <p>En période de pointe, la circulation de personnes atteint jusqu'à 600 evp/h, complétée par une densité de camions de 25 evp/h. Aux heures les plus chargées (entre 7h et 9h et entre 16h et 18h), les chiffres s'élèvent à 625 evp/h (RIE Projet Electrabel CNDDoel, 2010). La saturation du réseau routier local vers la CNDDoel ne se produit pas. Toutefois, il est possible que la circulation soit dense aux heures de pointe du matin et du soir.</p> <p>Le report de la désactivation de Doel 1 et 2 n'augmente pas le nombre de mouvements de véhicules par rapport à la période précédant 2015. Par rapport à une situation avec désactivation en 2015, aucune diminution significative des mouvements de véhicules n'est attendue, car une grande partie d'entre eux concerne l'ensemble de la centrale et ne peut être spécifiquement attribuée à l'exploitation de Doel 1 et 2. Au contraire, le démantèlement des deux réacteurs pourrait générer beaucoup de trafic supplémentaire, peut-être même davantage s'ils sont désactivés en 2015 par rapport à un report de la désactivation en 2025. Comme mentionné, la différence peut être pertinente au niveau local, mais pas à une échelle spatiale plus grande.</p> <p>Dans ce cadre, il faut également tenir compte des travaux liés au projet CCSA, qui doivent commencer au cours des dernières années de la période d'exploitation prolongée de Doel 1 et 2. Ces travaux peuvent temporairement générer un trafic de chantier supplémentaire, mais une partie de ces travaux vise aussi spécifiquement à améliorer la situation de la mobilité autour du Deurganckdok et du nouveau deuxième dock à marée (Tweede Getijdendok), via l'aménagement du désenclavement ouest (Westelijke Ontsluiting). La construction de cette voie de désenclavement aura également un effet positif sur les possibilités de désenclavement de la centrale nucléaire de Doel.</p>
<p>Bruit</p>	<p>Sur le site de la CNDDoel, 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>Il ressort du RIE de 2010 que les deux tours de refroidissement sont responsables de 55 % du bruit (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.</p> <p>La note technique LTO 2015 (Tractebel Engineering) démontre que les nouvelles installations envisagées dans le cadre du LTO ne causeront pas de nuisances sonores supplémentaires. Inversement, on peut également affirmer que la désactivation de Doel 1 et 2 n'aura qu'un impact (positif) limité sur les nuisances</p>

	sonores, car celles-ci sont dans une large mesure liées aux tours de refroidissement couplées à Doel 3 et 4, qui continueront à fonctionner après la fermeture des Doel 1 et 2.
--	---

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 2015-2025. 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)¹⁷.

Afin de simplifier cet exercice, il a été décidé dans cette évaluation environnementale, pour déterminer les effets évités, de faire en sorte que la capacité théoriquement perdue soit comblée selon les mêmes rapports que ceux que l'on retrouve dans la part actuelle de la capacité non nucléaire.

Il est clair que ce comblement ne doit pas être considéré comme une alternative à part entière et raisonnable au report de la désactivation, puisque cette alternative n'était pas disponible en pratique au moment où le report a été décidé¹⁸. C'est pourquoi nous n'étudions pas tous les aspects de ce comblement alternatif. Il est par exemple insensé de comparer les effets sur le paysage d'une capacité théorique de parcs éoliens avec les effets sur le paysage de Doel 1 et 2, ou les effets de l'eau de refroidissement d'une capacité théorique de centrales au gaz avec l'effet réel des rejets d'eau de refroidissement de Doel 1 et 2.

Nous limitons spécifiquement l'étude des effets évités aux éléments suivants :

- Les émissions de gaz à effet de serre évitées (avec des répercussions sur la discipline Climat) ;
- Les émissions de NOx 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 relatifs à cet aspect si la désactivation de Doel 1 et 2 n'avait pas été reportée, cas de figure dans lequel, comme indiqué ci-dessus, il n'y avait dans les faits pas d'alternative raisonnable pour combler la capacité perdue en cas de désactivation. Les effets de l'incertitude de l'approvisionnement sont examinés avant tout dans le contexte du thème « Homme ».

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*.

¹⁷ 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.

¹⁸ De nombreux scénarios d'approvisionnement énergétique alternatifs ont été élaborés ces dernières années, qui tiennent compte d'une sortie totale ou partielle du nucléaire, mais comme mentionné ci-dessus, ils n'étaient pas opérationnalisables en 2015 et ne peuvent donc pas être considérés comme des alternatives raisonnables au présent plan.

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 change¹⁹.

2.1.2 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.

2.1.3 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).

2.1.4 Profondeur de l'évaluation

Comme indiqué précédemment, l'évaluation de l'impact environnemental concernant la décision politique de reporter de dix ans la désactivation de Doel 1 et 2 se situe à un niveau stratégique, contrairement à l'évaluation de l'impact environnemental des travaux (qui y sont indissociablement liés), qui est élaborée au niveau du détail d'un projet²⁰. Il existe bien sûr un certain nombre de différences entre les deux approches.

Dans la pratique, il n'y a pas de frontières claires entre ce que nous considérons comme des évaluations au niveau stratégique et des évaluations au niveau des projets. Il y a plutôt une transition progressive de la réflexion stratégique à la réflexion opérationnelle. Les éléments clés et les polarités de ce continuum stratégique-opérationnel sont représentés graphiquement dans la Figure 9.

Il est clair que la présente EIE, en ce qui concerne la décision politique, se situe plutôt sur la gauche que sur la droite de ce continuum. Cela signifie, entre autres, que cette EIE utilisera principalement des données existantes, que la description et l'évaluation de l'impact seront essentiellement non quantitatives et que, pour ces raisons, l'incertitude par rapport à certaines déclarations peut être plus grande que ce ne serait le cas pour une évaluation de l'impact environnemental avec le niveau de détail d'un projet. Compte tenu de la nature stratégique de la décision étayée par cette EIE, c'est également acceptable.

¹⁹ 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.

²⁰ Ensemble, ces deux évaluations constituent l'évaluation de l'impact environnemental du Projet.

Projet : report de la désactivation de Doel 1 et 2		
	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 9 : Éléments clés du continuum stratégique-opérationnel du rapport sur l'impact environnemental^{ix} appliqués à l'évaluation de l'impact environnemental du Projet.

2.2 Effets du Projet

2.2.1 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 2015, l'année où la décision de report de la désactivation a été prise. Nous décrivons également ici toute évolution (autonome ou contrôlée) qui pourrait faire en sorte que la situation en 2025 soit (fondamentalement) différente de celle de 2015. 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.

2.2.2 Eau

2.2.2.1 Objectifs politiques pertinents

Pour le thème de l'Eau, qui est une compétence régionale, la note de politique de l'eau (Waterbeleidsnota) 2020-2025 et, dans une moindre mesure mais de manière connexe, le « Blue Deal » (2020) sont pertinents :

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

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

- Viser le bon état des masses d'eau²¹ :
 - 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.

²¹ En pratique, cela revient à une évaluation au regard de la directive-cadre sur l'eau (Directive-cadre Eau - DCE).

- 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 intégrale de l'eau et en faisant de la Flandre un terrain d'essai pour l'innovation dans la gestion intégrale 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)

Récemment, 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 l'augmentation du soutien public, 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'exemple clair 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.

Plans de gestion des bassins hydrographiques

Dans le projet de plan de gestion des bassins hydrographiques de l'Escaut (2020), la politique de l'eau est traduite plus concrètement dans des domaines spécifiques en Flandre. Au plus tard le 22 décembre 2021, le gouvernement flamand définira le plan de gestion du bassin hydrographique 2022-2027 pour l'Escaut et le programme de mesures associé. Les plans comprendront 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 2016-2021 actuellement applicable.

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 normes imposées 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'attention ont été identifiées, dont l'Escaut maritime. Les zones d'attention sont les 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 les troisième et quatrième plans de gestion des bassins hydrographiques soient mises en œuvre.

Le programme d'action pour l'Escaut maritime, qui comprend une zone d'attention 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 obtenir un bon état dans cette zone, 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, les objectifs suivants concernant le système hydrographique peuvent être utilisés pour l'examen du Projet en vue du maintien ouvert de Doel 1 et 2 pendant 10 années supplémentaires :

- 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 ;
- Viser l'approvisionnement durable en eau.

Comme indiqué ci-dessus (scoping, voir § 2.1.1), 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 des centrales de Doel 1 et 2 en 1975. 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 contamination accidentelle du sol due au stockage et à l'utilisation de contaminants sur le site. Depuis plusieurs décennies maintenant, des études d'orientation et de description des sols sont systématiquement effectuées, comme l'exige la loi, en raison de la présence d'activités VLAREBO²². Sur la base des évaluations, il apparaît que la contamination 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 Vlare sur le stockage 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'exploitation²³ de la centrale et celle-ci n'a pas d'autre impact sur l'état des eaux souterraines ou sur la contamination locale (historique) des eaux souterraines présentes. Cependant, le système d'égouts et d'eau de refroidissement existant présente des fuites à plusieurs endroits et draine les eaux souterraines.

Les travaux réalisés dans le cadre des adaptations en vue du LTO (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 2020-2025, 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 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.

²² Les résultats de ces études de sol ont été décrits dans le RIE de projet pour le renouvellement des permis (2010) et complétés dans l'EIE pour les travaux (2021).

²³ Les eaux souterraines près de l'Escaut sont salines et, pour cette raison, ne conviennent pas comme eau de traitement.

2.2.2.2 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 Doel 1 et 2) 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 Doel est très dépendante du système hydrographique 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 3 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 chlorure 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 de déminéralisation) 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 des trottoirs, sont traitées 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 autre situé plus sur la rive pour les unités Doel 3 et 4. Chaque biorotor pour l'épuration des eaux usées sanitaires dispose d'un point de rejet, les eaux usées industrielles et les eaux de refroidissement sont rejetées dans l'Escaut au même endroit.

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 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 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 une période de 10 ans. Il faut s'attendre 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 important.

2.2.2.3 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 1 et 2. 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 bassin 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 2015. Nous supposons que dans la plupart des cas, la situation actuelle (2020) sera une approximation suffisamment bonne de la situation de 2015. Les éventuels développements autonomes ou contrôlés qui pourraient avoir pour effet que la situation en 2025 soit (fondamentalement) différente de celle de 2015 pourraient être pour l'Escaut maritime 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 ou la marée).

Dans l'évaluation de l'impact environnemental concernant les travaux, un aperçu détaillé de la qualité de l'Escaut maritime a été réalisé, sur la base des données de mesure de la VMM pour la période 2013-2014 et 2015-2019.

L'Escaut maritime, tant en amont qu'en aval du point de rejet de la CNDoel, 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 la 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 mesures 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 situation de référence (2015) et la période 2015-2019, 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 l'Escaut (bassin inférieur de l'Escaut) conformément à la directive-cadre sur l'Eau (Tableau 7).

L'Escaut à hauteur de la CNDoel 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 du bassin hydrographique (2016-2021) est basée sur les résultats des mesures des années 2005-2013 et peut donc être considérée comme représentative de la situation de référence 2015, tandis que l'évaluation dans le cadre du 3^e plan de gestion du bassin hydrographique (2022-2027) est basée sur les résultats des mesures des années 2016-2018 et peut donc être considérée comme représentative de la situation actuelle 2020.

Tableau 7 : Évaluation de l'état de la masse d'eau Escaut maritime IV.

Encadré : deuxième plan de gestion du bassin hydrographique	Encadré : troisième plan de gestion du bassin hydrographique (projet)
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 : - insuffisante pour les macrophytes ;	L'évaluation des éléments biologiques est insuffisante : - insuffisante pour les macrophytes ;

Encadré : deuxième plan de gestion du bassin hydrographique	Encadré : troisième plan de gestion du bassin hydrographique (projet)
Résultats des mesures 2005-2013	Résultats des mesures 2018
<ul style="list-style-type: none"> - moyenne pour les macroinvertébrés ; - insuffisante pour les poissons. 	<ul style="list-style-type: none"> - moyenne pour les macroinvertébrés ; - bonne pour les poissons.
<p>L'évaluation des éléments physico-chimiques qui sont déterminants pour les éléments biologiques est généralement mauvaise.</p> <p>Voici ce qui s'applique pour l'évaluation des éléments physico-chimiques séparés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise évaluation pour le nitrate+nitrite+ammonium ; - Bonne évaluation pour la température, l'oxygène dissous et le pH. 	<p>L'évaluation des éléments physico-chimiques qui sont déterminants pour les éléments biologiques est généralement mauvaise.</p> <p>Voici ce qui s'applique pour l'évaluation des éléments physico-chimiques séparés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise évaluation pour le nitrate+nitrite+ammonium ; - Bonne évaluation pour l'oxygène dissous et le pH²⁴.
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 de la dernière décennie et on observe une amélioration des ressources halieutiques.

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 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

²⁴ 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 ».

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 le cadre de l'évaluation de l'impact environnemental concernant les travaux, 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 la CNDoeI.

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 déchargé par la CNDoeI. 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 la CNDoeI. 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 la base de cette évaluation, on ne s'attend pas à ce que la mise en œuvre du Projet (maintenir la centrale nucléaire ouverte plus longtemps) entraîne une détérioration de l'état ou qu'elle mette en péril les objectifs fixés pour l'ensemble de la masse d'eau. Il s'ensuit que cette déclaration sera également valable en cas de fermeture de Doel 1 et 2 (scénario de référence), puisque cette situation implique que la charge de pollution se retrouvant dans l'Escaut maritime via les rejets sera inférieure à celle qui résulterait du maintien ouvert de Doel 1 et 2 pendant 10 années supplémentaires.

2.2.2.4 Description des effets

Cette description est basée sur les données et informations disponibles contenues dans les déclarations environnementales annuelles établies par l'exploitant de la centrale et les différents rapports d'impact environnemental dressés au cours de la période 2010-2020 (RIE du projet pour le renouvellement des permis de Doel 1, 2, 3 et 4 en 2010, note de screening pour les travaux LTO pour le maintien de Doel 1 et 2 ouverts plus longtemps en 2015 et l'EIE pour les travaux LTO en 2021).

Le report de la désactivation de 10 ans signifie que pendant cette période, l'eau continuera à être consommée et rejetée par les centrales de Doel 1 et 2. 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 10 illustre la consommation d'eau pour l'année 2019. 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 hydrologique.

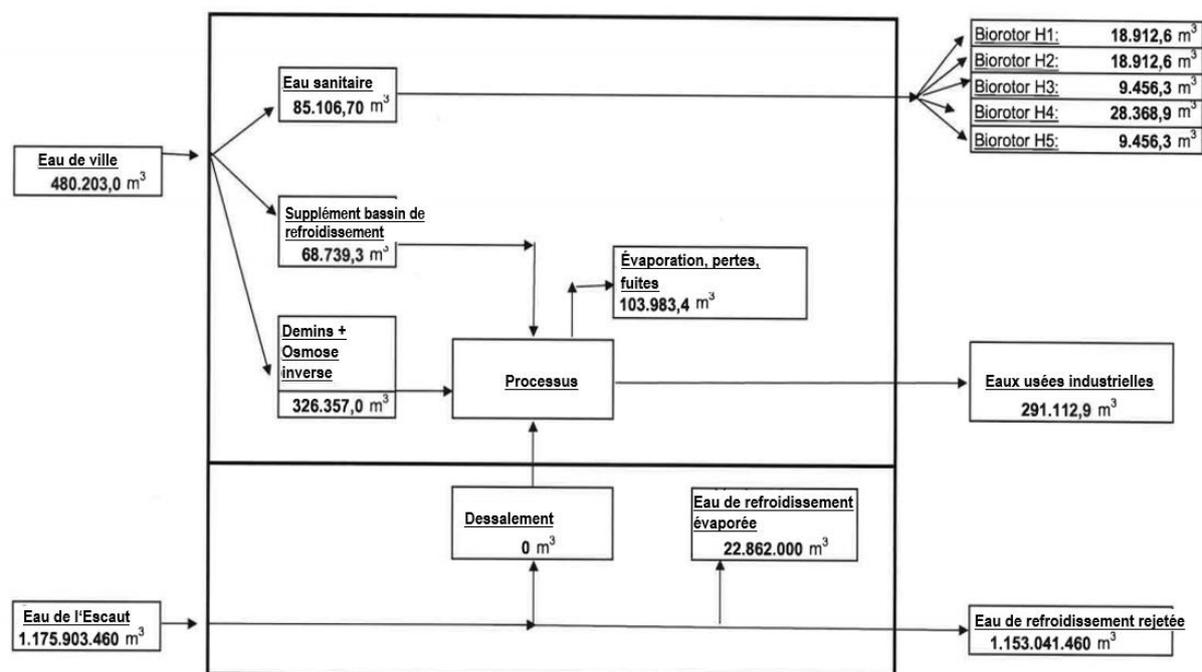


Figure 10 : Bilan hydrologique de la CNDoeil pour 2019.

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 sanitaires²⁵.

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 2019, le débit annuel des eaux usées domestiques (mélange d'eaux sanitaires et d'eaux pluviales) était d'environ 85.106 m³.

Les *eaux usées industrielles* sont constituées d'effluents provenant de la régénération des installations de déminéralisation de Doel 1 à Doel 4 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.

²⁵ 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 paramètres les plus caractéristiques des eaux usées industrielles sont les suivants :

- 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 2019, le débit annuel des eaux usées industrielles était d'environ 291.113 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 complétée. Toutes les eaux de refroidissement et évacuées 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 évacuées et les eaux usées industrielles, au même point de rejet K3.

En 2019, 1.153.041.460 m³ d'eau de refroidissement ont été extraits de l'Escaut. La quantité autorisée est de 1.500.000.000 m³.

La Figure 11 illustre la quantité d'eau de refroidissement rejetée sur une période de 10 ans (2015-2025) pour le Projet avec report par rapport au scénario de référence (sans report). Les chiffres jusqu'en 2019 inclus sont basés sur les débits réels rejetés mesurés au cours de la période 2013-2019 (source Electrabel sa, données du bilan hydrique). Le volume moyen des eaux de l'Escaut prélevées pendant cette période s'élevait à environ 1.145 millions de m³, tandis que le volume moyen des eaux de refroidissement rejetées était d'environ 1.128 millions de m³, soit environ 1,5 % d'évaporation. Les fluctuations des volumes sont dues à l'arrêt d'une partie des installations (par exemple en 2015 et 2018).

Pour la période 2020-2025, un pronostic a été établi par Electrabel sa sur la base du nombre d'heures de fonctionnement prévu et du débit horaire moyen des pompes au point d'admission pour Doel 3 et 4 (RIE LTO 2020). La future consommation annuelle d'eau de l'Escaut pour Doel 3 et 4 a été estimée à environ 704 millions de m³ (volume annuel), ce qui représente environ 60 % de la consommation d'eau de l'Escaut des quatre centrales réunies (1.173 millions de m³). On peut en déduire une consommation par Doel 1 et 2 d'environ 469 millions de m³ par an pour la période 2020-2025.

Notons qu'à partir de 2023, Doel 3 n'est plus en service dans aucune des deux alternatives. À partir de 2015, Doel 1 et 2 ne seront plus utilisés dans le scénario de référence, ce qui réduira les besoins en eau de refroidissement.



Figure 11 : Volume d'eau de refroidissement rejeté suite au report de la désactivation par rapport à la situation de référence (aucun report).

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. 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.

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. Le Tableau 8 résume les différences entre les deux scénarios en termes de volumes d'eau de refroidissement et d'eaux usées (sanitaires et industrielles). Les différences entre les alternatives en termes de consommation d'eau de ville, et donc de rejet des eaux usées sanitaires et industrielles, sont faibles et n'ont pas été budgétées séparément. Sur une période de 10 ans, cela représente une consommation supplémentaire d'eau de ville d'environ 4,2 millions de m², soit environ 0,4 million de m³ par an. Il faut donc s'attendre à un impact supplémentaire sur la qualité de l'eau et la quantité d'eau de l'Escaut.

Tableau 8 : Volume d'eau de refroidissement rejeté avec et sans report de désactivation.

Rejet		Report de 10 ans de la désactivation	Scénario de référence (pas de report)
Eau de refroidissement	Quantité totale	11,4 milliards de m ³	6,7 milliards de m ³
	Moyenne par an	1,14 milliards de m ³	0,67 milliard de m ³
Sanitaires	Quantité totale	600.000 m ³	<600.000 m ³
	Moyenne par an	60.000 m ³	<60.000 m ³
Industrielles	Quantité totale	3 millions de m ³	<3 millions de m ³
	Moyenne par an	300.000 m ³	<300.000 m ³

À partir des déclarations environnementales annuelles publiées par Electrabel sa, des RIE de 2010 et 2020 et de la note de screening de 2015, 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 l'Escaut. Il faut s'attendre à des effets sur la quantité (débit) et la qualité de l'Escaut.

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 7.000 m³/s à hauteur de Doel. Cette valeur est la moyenne d'une mesure réalisée pendant six heures durant la phase de flot. Cet effet est négligeable.

En 2019, la centrale nucléaire de Doel a utilisé 1.175.903.460 m³ d'eau de l'Escaut. Environ 22.862.000 m³ se sont évaporés dans les tours de refroidissement et 1.153.041.460 m³ ont été rejetés dans l'Escaut. En raison du rejet des eaux usées sanitaires et industrielles, environ 85.107 m³ et 291.113 m³ ont été rejetés en 2019, respectivement. Ces quantités représentent une fraction du volume d'eau de refroidissement qui est extrait et compensent une petite fraction de la perte par évaporation (1,6 %) mais, comme nous l'avons dit, qui est négligeable par rapport au débit d'eau de refroidissement (qui en soi n'a pas d'impact significatif sur le débit de l'Escaut).

Au cours de la période 2013-2018, les quantités ont fluctué proportionnellement au fait qu'une ou plusieurs unités étaient à l'arrêt ou non (de 867.049.790 m³ au minimum en 2015 à 1.306.752.910 m³ au maximum en 2016).

Pour les années à venir (2020-2025), une quantité annuelle similaire en ordre de grandeur est attendue (1.173 millions de m³ pour 2020, 2021 et 2022, voir ci-dessus, et à partir de 2023, après l'arrêt de Doel 3, environ 821 millions de m³). Même dans ce cas, l'impact sur le système hydrographique en termes de débit ne sera jamais un problème, mais sera bien sûr plus important que dans le scénario de référence (2015-2025) dans lequel Doel 1 et 2 cessent de fonctionner à partir de 2015 et Doel 3 à partir de 2022. La différence entre l'alternative avec et sans report s'élève à 58 % sur une base annuelle, mais est en tout cas négligeable en termes d'impact sur le débit de l'Escaut.

Aucune différence substantielle dans les niveaux de revêtement n'est attendue au cours de la période 2015-2025, que ce soit pour le Projet avec report de la désactivation ou pour le scénario de référence dans lequel Doel 1 et 2 seraient mis hors service. Le degré élevé de revêtement (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, 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 pour N, P et DCO.

Une question qui doit également être posée dans le cadre du contrôle de l'eau est de savoir si le site de la CNDoel est sensible aux inondations, dans son état actuel et dans un avenir proche (jusqu'à environ 2025). On peut dans ce cadre tout d'abord effectuer une vérification à l'aide de cartes des zones inondables (2017), d'une part, et on peut d'autre part vérifier si l'on peut s'attendre à une augmentation des risques d'inondation dans un avenir proche en raison du changement climatique, suite à des précipitations plus intenses ou de la montée du niveau des mers. En tout cas, la centrale nucléaire n'est pas située dans une zone effectivement ou potentiellement inondable. 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. Les polders situés plus bas à l'ouest de CNDoel se trouvent quant à eux dans des zones potentiellement inondables. À court terme (d'ici 5 ou 10 ans), aucun problème n'est prévu à ce niveau dans aucune des alternatives/aucun des scénarios. Pour plus de détails, veuillez vous référer à la discipline Climat.

Qualité

Pour la période 2015-2019, la durée de débordement des puits de collecte a varié entre 12 et 46 jours. Non seulement l'eau de pluie se retrouve dans les égouts mixtes, mais les eaux de refroidissement qui fuient, provenant des galeries souterraines et même des eaux souterraines (qui contiennent naturellement de l'arsenic), se retrouvent dans les égouts et les puits de collecte via le sol. Ces fuites d'eau de refroidissement et, dans une moindre mesure, d'eau souterraine dans les égouts mixtes expliquent également les fréquents débordements. Le fait de garder Doel 1 et 2 ouverts 10 ans de plus maintiendra certainement cette situation de débordement. Dans le scénario de référence avec seulement Doel 3 et 4, le degré de revêtement ne changera pas de manière significative et les eaux usées sanitaires ne seront probablement pas non plus réduites de manière drastique. Étant donné que le système d'égouts

mixtes restera en place et que l'eau de refroidissement et les eaux souterraines pourront toujours entrer dans le réseau d'égouts par les galeries qui fuient, on s'attend à ce que la fréquence des débordements soit peu différente entre les deux alternatives.

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. La température de rejet moyenne instantanée était de 24,26 °C, la moyenne journalière de 24,24 °C et la moyenne mensuelle de 24,11 °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 (2020-2025).

Dans le RIE de 2010 et celui de 2020, l'impact des eaux usées et des eaux de refroidissement sur l'Escaut a été largement abordé. La principale conclusion est que, en ce qui concerne les eaux usées, l'augmentation moyenne calculée de la concentration dans l'Escaut due aux activités de la CNDoeI par rapport aux normes de qualité environnementale (NQE) dans les années 2013-2014 précédant la période de référence (2015-2025), 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 2015-2019, on peut supposer que pour cette période, aucun effet important sur la qualité de l'Escaut n'a été observé. Pour la période future (2020-2025), dans des conditions normales et selon le même mode d'exploitation, aucun impact significatif sur la qualité de l'eau n'est attendu. Si la qualité des eaux de l'Escaut continue à s'améliorer au cours des cinq prochaines années, la contribution relative du rejet de la CNDoeI peut évidemment devenir légèrement plus importante, mais l'effet sera toujours négligeable.

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, mesure continue et intervention plus rapide), la modification de l'installation, un meilleur fonctionnement de l'installation de collecte de D3 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. La charge totale de N rejetée est sous contrôle depuis 2017 (Figure 12). En 2019, la future norme de 2 mg N-NO₂/l est encore sporadiquement dépassée, mais la concentration est en moyenne inférieure à la norme.

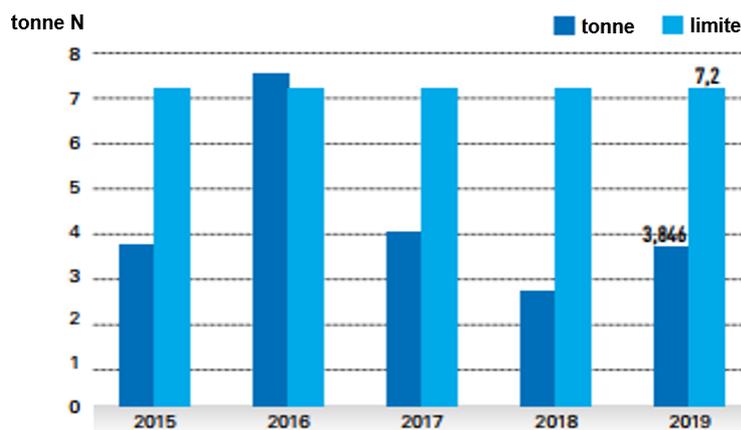


Figure 12 : Charge de N dans les eaux usées industrielles au cours de la période 2015-2019.

Un autre problème qui se pose en 2019 est l'apparition de niveaux excessifs d'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 comme la limite de détection de la mesure du chlore actif est trop élevée, 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 n'est pas encore possible.

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 la CNDoeel peut être observée dans la zone de la digue longitudinale, jusqu'à une distance maximale d'environ 1.050 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 1.300 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 la CNDoeel. 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 peut toujours être franchi par les organismes aquatiques. Pour une évaluation plus approfondie de cet effet, veuillez vous référer à la discipline Biodiversité.

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 marée qu'est l'Escaut à cet endroit, certainement pas dans les cinq prochaines années. 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 contribué^x. En ce qui concerne l'effet du changement climatique sur la température des eaux de surface, l'INBO (2015)^{xi} 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. Au cours de la période de référence (restante) (2020-2025), cela signifierait théoriquement que la température de l'eau de l'Escaut pourrait augmenter de 0,25 à 0,3°C. Cependant, en supposant que cela doit être considéré comme un maximum pour la rivière à marée de 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 et un contrôle adapté de la capacité de refroidissement présente. En outre, Doel 3 sera mis hors service à partir de 2023, ce qui signifie que la charge thermique sera déjà réduite.

Le fait de maintenir Doel 1 et 2 ouverts pendant 10 ans de plus signifie donc que pendant 10 ans, une quantité d'eaux usées de composition similaire, avec des concentrations similaires et une charge polluante totale annuelle similaire telle qu'évaluée dans les années 2013-2014 (augmentation de la concentration de moins de 0,1 %) sera déversée et que cela aura également un impact négligeable sur l'Escaut. Pour les cinq années restantes, on peut supposer que le problème des nitrites et des AOX restera/sera maîtrisé.

Par rapport au scénario de référence (Doel 1 et 2 ferment en 2015), 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. Les unités Doel 1 et 2 et leur circuit de refroidissement ne seront plus en service, ce qui signifie que l'utilisation de l'eau de l'Escaut comme eau de refroidissement diminuera également pour atteindre environ 704 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 à environ 60 % par rapport au Projet avec report de la désactivation. À partir de 2023, après la fermeture de Doel 3, ce chiffre sera encore inférieur de 50 %. La charge thermique de l'eau de refroidissement sur l'Escaut devrait également baisser à environ 60 %, ce qui réduira également l'ampleur du 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.

2.2.2.5 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 1 et 2 ouverts 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 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 Doel 1 et 2 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. Comme les normes de rejet peuvent être respectées pour la plupart des 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 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. Les normes de rejet ne sont pas toujours respectées pour un certain nombre de paramètres (par exemple AOX, nitrites). En termes de charge polluante totale, la centrale nucléaire peut quoiqu'il en soit être qualifiée de déchargeur important. 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 1 et 2 ouverts dix ans de plus, à condition que l'on continue à prêter attention au suivi et à l'ajustement en temps utile.

Étant donné les effets limités de la centrale nucléaire sur la qualité de l'eau, mais les efforts continus qui seront fournis pour réduire davantage les effets au cours de la période 2020-2025, 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 ouvert de Doel 1 et 2 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 l'Escaut maritime vers un état moyen.

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 goulets d'étranglement 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'égouts mixtes, ce qui contribue également à la problématique des débordements. Étant donné qu'il est indéniable que le changement climatique a entraîné des précipitations plus intenses, il s'agit d'un goulet d'étranglement auquel il faudra prêter attention au cours des cinq prochaines années d'exploitation de la centrale nucléaire. Une telle dilution des flux d'eaux usées n'entraîne pas un traitement efficace et efficient.

En général, la centrale nucléaire respecte 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 goulets d'étranglement.

Pour un certain nombre de paramètres présents dans les effluents sanitaires, les eaux usées industrielles ou les eaux de refroidissement, les mesures ne sont pas toujours effectuées de manière cohérente ou la limite de détection dans les mesures 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 contrôler 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 des centrales ouvertes pendant 10 ans de plus signifie que la présence d'égouts mixtes et le problème des débordements se perpétueront pendant cette période. L'impact thermique sur l'Escaut maritime se poursuivra aussi. Sans l'application des mesures mentionnées ci-dessus, il faut conclure qu'il n'est pas possible d'affirmer que la chaîne de l'eau est gérée de manière durable.

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 l'élévation du niveau de la mer et 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 (dans les polders situés plus bas). Par conséquent, le fait de garder Doel 1 et 2 ouverts plus longtemps ne contribuera pas de façon notable à réduire ou à provoquer les risques d'inondation.

Viser un approvisionnement durable en eau

On évalue à ce niveau si le fait de garder les unités Doel 1 et 2 ouvertes plus longtemps contribue à l'utilisation de l'eau avec parcimonie, si l'eau utilisée l'est de manière suffisamment circulaire et si des mesures d'adoucissement sont prises. L'un des défauts de cette évaluation est par exemple le fait que l'eau de pluie n'est pas utilisée pour certaines applications (notamment dans les installations sanitaires ou pour la maintenance ou certains processus, ou comme élément de refroidissement pour contrer l'effet d'îlot de chaleur en été, etc.), ce qui pourrait entraîner des économies considérables dans la consommation d'eau de ville. En ce sens, il semble également utile d'éviter autant que possible toute utilisation d'eau de ville dans le circuit d'eau de refroidissement et d'examiner si cela pourrait également être une option dans des circonstances spécifiques (par exemple dans les tours de refroidissement auxiliaires de Doel 1 et 2), dans des conditions d'essai ou dans des situations d'accident, sans bien sûr compromettre la sécurité opérationnelle. 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 également que l'évaluation de cet objectif politique devrait plutôt recevoir une note négative.

2.2.2.6 Résumé des principales conclusions

L'évaluation par rapport aux objectifs pour le système hydrographique est résumée dans le Tableau 9.

Tableau 9 : 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 et n'hypothèque 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
Approvisionnement durable en eau	Pas d'efforts/plans sur l'utilisation circulaire de l'eau	Négatif

2.2.2.7 Mesures d'atténuation

Les recommandations visant à atteindre les objectifs stratégiques fixés concernant le système hydrographique 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'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.
- Il est recommandé d'optimiser le traitement des eaux usées (nitrites, AOX), de mesurer de manière plus cohérente un certain nombre d'autres paramètres afin de pouvoir vérifier que 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.
- 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 l'Escaut maritime.

2.2.2.8 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, on manque d'informations sur la proportion d'eaux usées provenant de Doel 1 et 2 et donc sur la contribution exacte de l'exploitation de Doel 1 et 2 à la pollution résiduelle se retrouvant dans l'Escaut pendant les 10 années d'exploitation supplémentaires.

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

2.2.3 Biodiversité

2.2.3.1 Objectifs politiques pertinents

Le décret Nature (et divers arrêtés d'exécution) 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 de forêt, la compensation des forêts. Cependant, comme le Projet ne provoque pas la disparition de la forêt, ce n'est pas un objectif politique pertinent pour cette 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 à la fois à la surface et à la qualité. L'obligation 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 1 et 2, ne causent pas de « **dommages** » **évitable**s (cf. décret Nature) pour la nature.

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

Le devoir de diligence ne signifie pas que de nouveaux développements ne sont pas possibles, 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 Projet. 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 verweving 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 Projet 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** prévoit la protection d'espèces spécifiques. Cela signifie qu'il ne doit pas y avoir de dommages pour ces espèces ou leur habitat et 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 Projet 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 (voir 2.2.2), 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 du projet (principalement l'Escaut maritime), il faut examiner si le Projet a un impact sur la réalisation des objectifs de qualité de l'eau. Comme susmentionné, cet aspect est évalué dans le cadre de 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 (zones relevant des directives Oiseaux et Habitats) (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 sur les 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) ?

2.2.3.2 Effets pertinents et relations de cause à effet

Le Projet peut avoir un impact sur la discipline de la 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.

Nombre 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 salés 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 Projet 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 section 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 des centrales 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 de l'EIE, ces effets perturbateurs seront estimés de manière qualitative.

Le Projet peut théoriquement aussi contribuer aux effets **d'acidification et d'eutrophisation depuis les airs** suite à l'installation de combustion, aux générateurs et pompes de secours et au trafic lui-même. 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 seraient en effet toujours nécessaires pour l'exploitation de Doel 3 et 4 après l'arrêt, ce qui signifie que la décision de maintenir Doel 1 et 2 ouverts plus longtemps n'a pas d'impact à ce niveau.

2.2.3.3 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'attention 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) « Schorren en polders van de Beneden-Schelde » (BE2301336) et de la zone de protection néerlandaise Westerschelde & Saefthinghe qui est à la fois la une ZPS-H (NL9803061) et une ZPS-O (NL9802026). Les zones VEN à proximité se situent dans de 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.

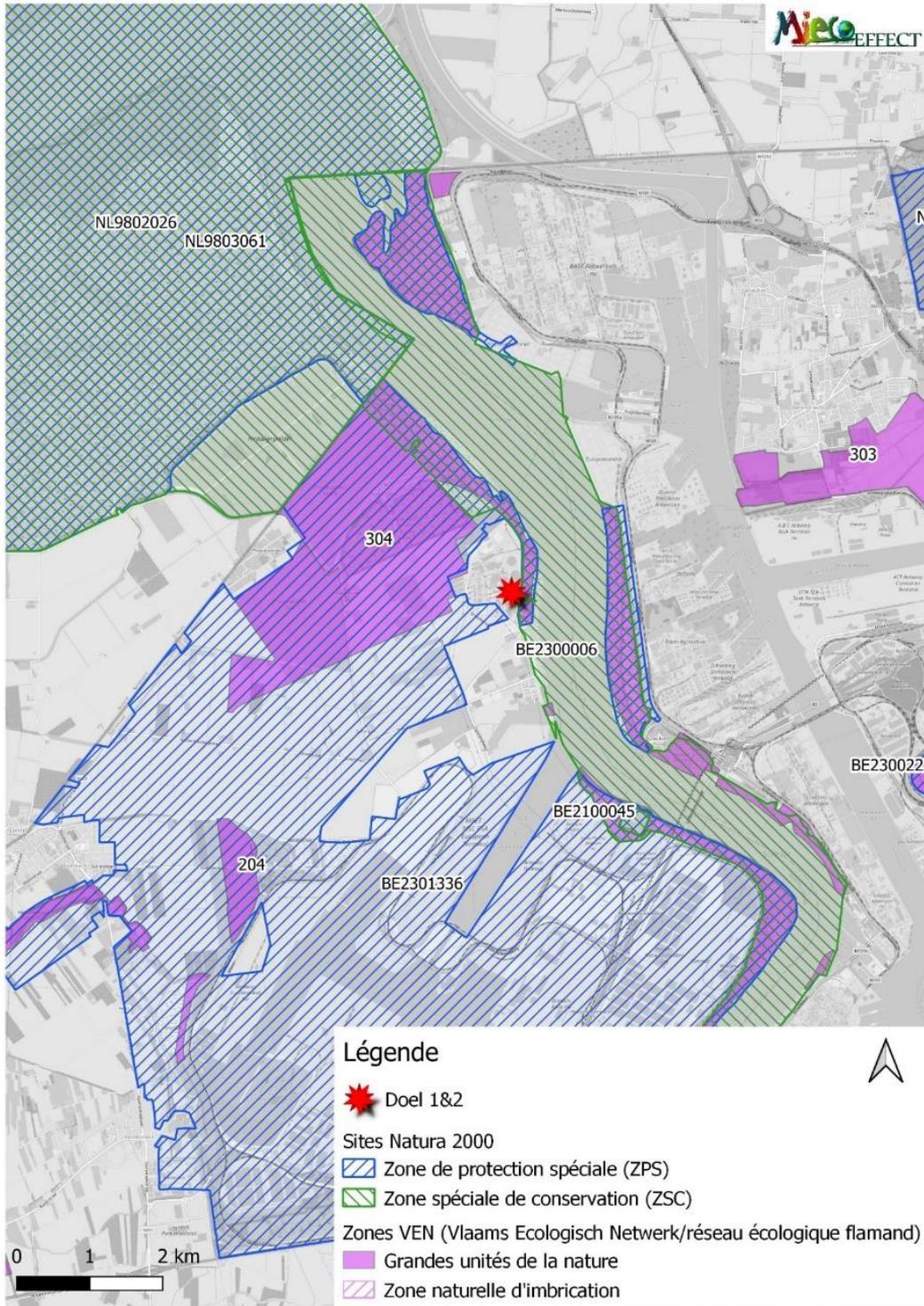


Figure 13 : Zones de protection de la nature.

2.2.3.4 Description de la situation de référence

Zones Natura2000

Comme décrit au § 2.2.3.3, la zone du projet borde diverses 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 effets. Le Tableau 10 illustre les espèces cibles pour toutes ces zones Natura2000 qui soit chevauchent le domaine du projet, soit sont situés à proximité immédiate de la zone du projet.

Tableau 10 : Espèces cibles pour les zones Natura2000 qui chevauchent ou se trouvent à proximité immédiate de la zone du projet. x : espèce explicitement reprise comme objectif ; / : l'espèce n'est pas un objectif.

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	X	x	x
Gorgebleue	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	X	x	/
Chevalier combattant	X	/	/
Bécasseau maubèche	/	/	x
Vanneau huppé	/	/	x
Aigrette garzette	/	/	x
Cygne de Bewick	X	x	/
Avocette	X	x	x
Mouette rieuse	X	x	/
Oie rieuse	X	/	x
Canard chipeau	X	x	x
Héron bihoreau	/	x	/
Râle des genêts	/	x	/
Spatule blanche	X	x	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
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>			
Vespertilion de Natterer	/	x	/
Pipistrelle commune	/	x	/
Vespertilion à oreilles échancrées	/	x	/
Pipistrelle soprano	/	x	/
Sérotine commune	/	x	/
Vespertilion des marais	/	x	/
Noctule 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
Pipistrelle de Nathusius	/	x	/
Vespertilion 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>			
Petite grenouille verte d'Europe	/	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 cette 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'habitat 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'habitat 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 maritima*) ;
- Type d'habitat 1330 : Prés-salés atlantiques (*Glauco-Puccinellietalia maritima*).

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

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

Toute la largeur de l'Escaut à hauteur de la zone du projet 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 - Bords 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 ». 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 à la Figure 14. 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.

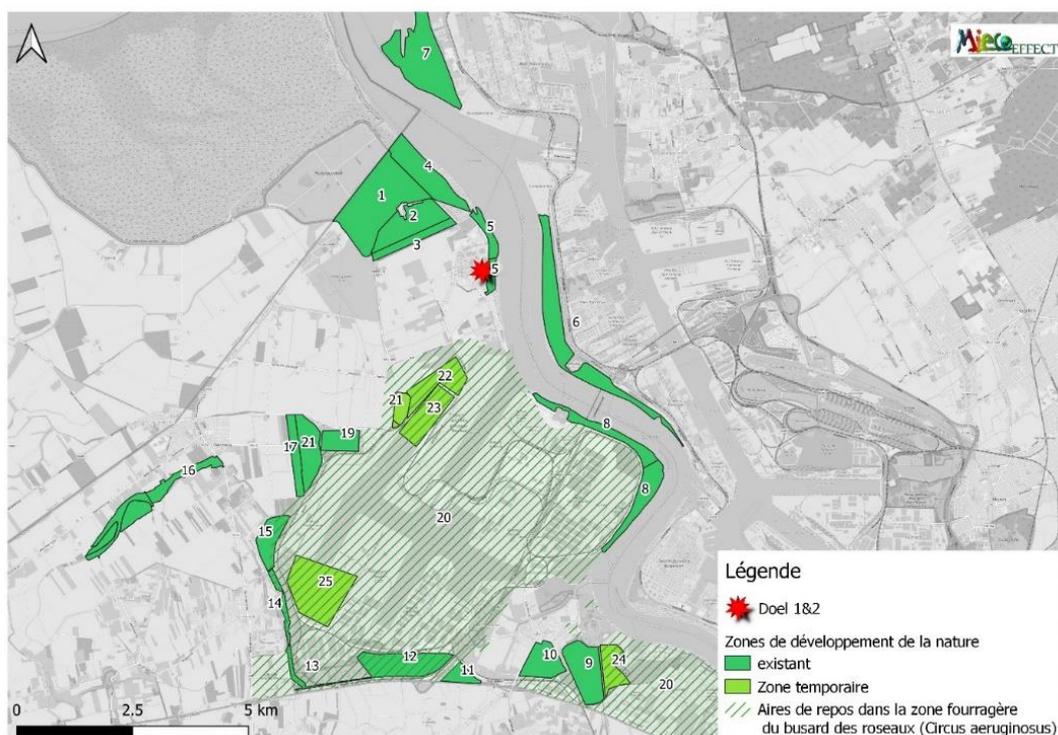


Figure 14 : Aperçu des zones de développement naturel existantes (permanentes et temporaires).

Tableau 11 : Numérotation des zones de développement naturel existantes.

N°	Zone	N°	Zone
1	Prosperpolder Noord	14	Spaans fort
2	Doelpolder Noord	15	Drijdijck
3	Brakke kreek	16	Grote Geule
4	Schor Ouden doel	17	Zoetwaterkreek
5	Estuariene natuur	18	Putten weide
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	R2-driehoek	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, Opgespoten 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 15 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.

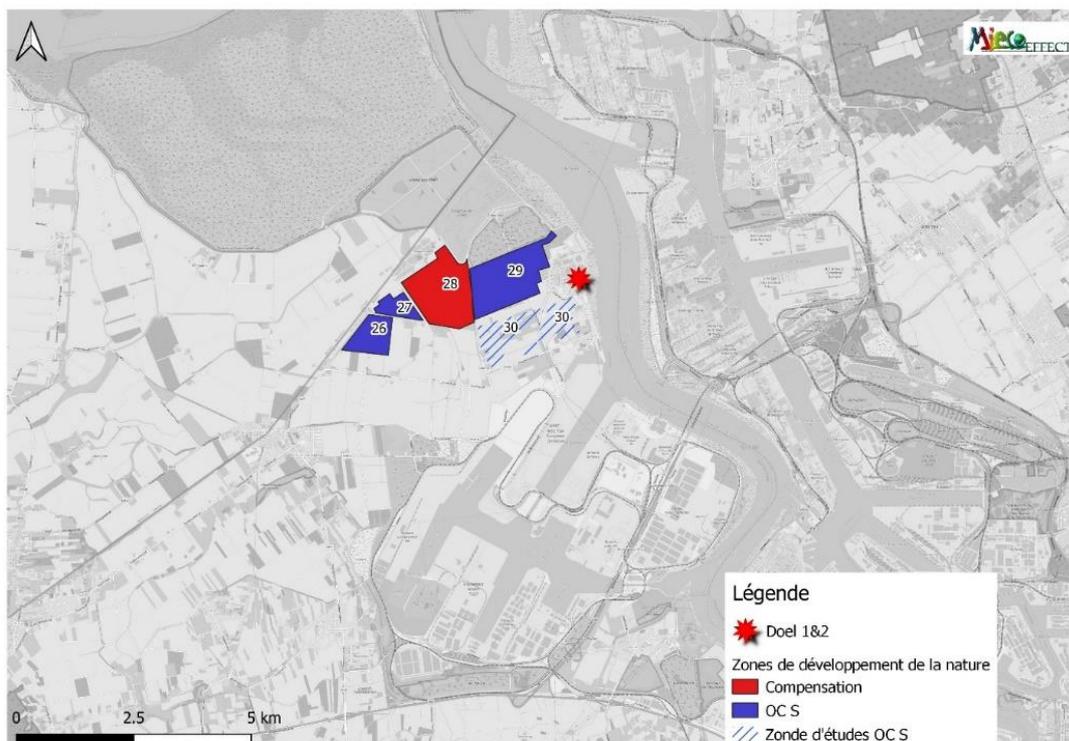


Figure 15 : Futures zones de développement naturel.

Tableau 12 : 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 Vlakte 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

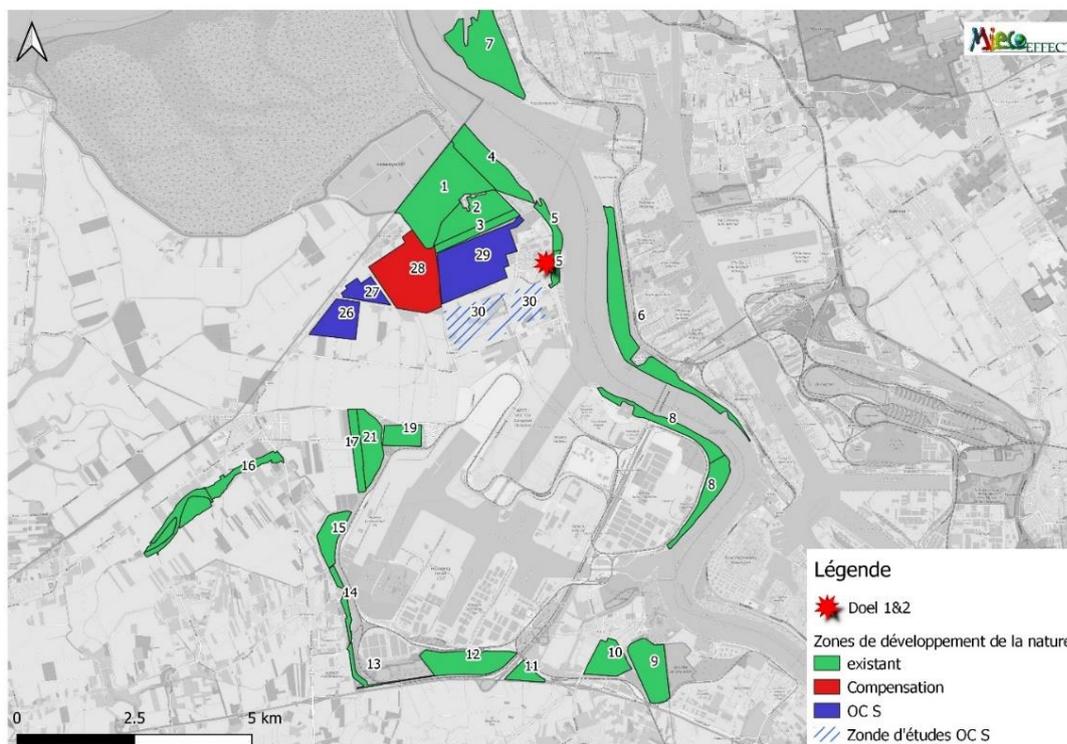


Figure 16 : Tableau final du développement naturel pour autant qu'il soit connu et basé sur des compensations naturelles à réaliser qui n'ont pas encore été clarifiées.

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 13). Les zones VEN les plus importantes à proximité de la zone du projet sont « De Wase Scheldepolders » et « De slikken en schorren langs de Schelde ». 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 roues et un terrain à remblayage hydraulique. Les éléments structurels sont deux ruisseaux (vestiges d'un ancien système de crique d'origine marine), quelques roues (parfois avec formation d'îles flottantes lors de l'hydrosérie, 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 roue 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 galligane, 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 le gorgebleue.

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 tardorne 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 (Verdrongen 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 chevalier combattant, l'oie des moissons, l'oie rieuse, l'oie cendrée, le canard chipeau et le canard souchet.

[Programme de protection des espèces \(PPE\)](#)

L'arrêté sur les espèces prévoit la possibilité d'élaborer un programme de protection des espèces. 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 connexions écologiques et la question visant à savoir 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 être davantage alignés sur ce point. 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 parapluie. 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 cette EIE ou 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.

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 européenne sur l'eau (DCE), traduite en Flandre par le décret sur la politique intégrale de l'eau (DPIE), stipule que les masses d'eau 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 macroinvertébrés 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 macroinvertébrés 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 physiotopes 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 transfrontière 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 suivi 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 VMM 154100) est situé juste en aval de la centrale nucléaire. À cet endroit, la qualité générale de l'eau et les macroinvertébrés sont surveillés. 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 macroinvertébrés 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).

Le suivi TRIADE démontre notamment que la qualité du fond de l'eau s'est considérablement améliorée depuis 2007 (Tableau 13). De très mauvaise qualité (score 4), la qualité est maintenant mauvaise (score 3) à moyenne (score 2). Lors de la dernière mesure, un bon score (1) a été obtenu.

Tableau 13 : 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	

2.2.3.5 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 l'évaluation de l'impact environnemental liée aux travaux, et leur impact sur la qualité de l'eau est également abordé dans cette 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 parfois encore 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, on ne s'attend pas à une détérioration. 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 1 et 2 et ceux des autres centrales. La contribution de Doel 1 et 2 au total des rejets est estimée à 40 % dans l'évaluation de l'impact environnemental des travaux.

Eutrophisation

Les normes de rejet pour le nitrite ne sont pas 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 orthophosphate 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 de 26-27°C et 26-29°C, respectivement (Kerkum et al., 2004). Au-dessus de 33-34°C, diverses espèces de macroinvertébrés (gammars, 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 à la fois localement et 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 macroinvertébrés 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 1.300 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 de Doel 1 et 2 et celle des deux autres centrales nucléaires.

Les mesures 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'ONBI 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 aimant 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 macroinvertébrés, 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 aimant 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 suivi à hauteur du panache d'eau de refroidissement, Van den Bergh et al. (2012) affirment que pour les macroinvertébrés, 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 macroinvertébrés 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. De plus, même avec la désactivation de Doel 1 et 2, il y aurait toujours un effet thermique dû à l'eau de refroidissement de Doel 3 et 4. Dans l'évaluation de l'impact environnemental concernant les travaux, ce chiffre est estimé à 60 % du volume actuel. Dans la situation de référence, il y aura donc aussi une zone avec des températures plus élevées, seule sa taille sera plus petite. Cependant, l'ampleur de la différence n'a jamais été modélisée.

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 macroinvertébrés 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.

Les effets potentiels des rejets radiologiques de routine sur la faune et la flore sont examinés au § 3.6.2. On y conclut qu'il est très peu probable que les rejets de routine des unités Doel 1 et 2 aient un impact sur l'environnement et, par conséquent, sur la biodiversité des zones proches de la directive Habitats ou d'autres zones naturelles et écosystèmes (protégés).

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 Projet 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 unités Doel 1 et 2 et une autre pour les unités Doel 3 et 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. Cela a conduit à l'origine à la capture de grandes quantités de poissons et de crustacés. Toutefois, depuis l'installation d'un système de dissuasion, ce nombre a été considérablement réduit.

On peut conclure que la prolongation de l'exploitation de Doel 1 et 2 n'entraînera pas une augmentation significative de la mortalité des poissons et des crustacés dans l'Escaut.

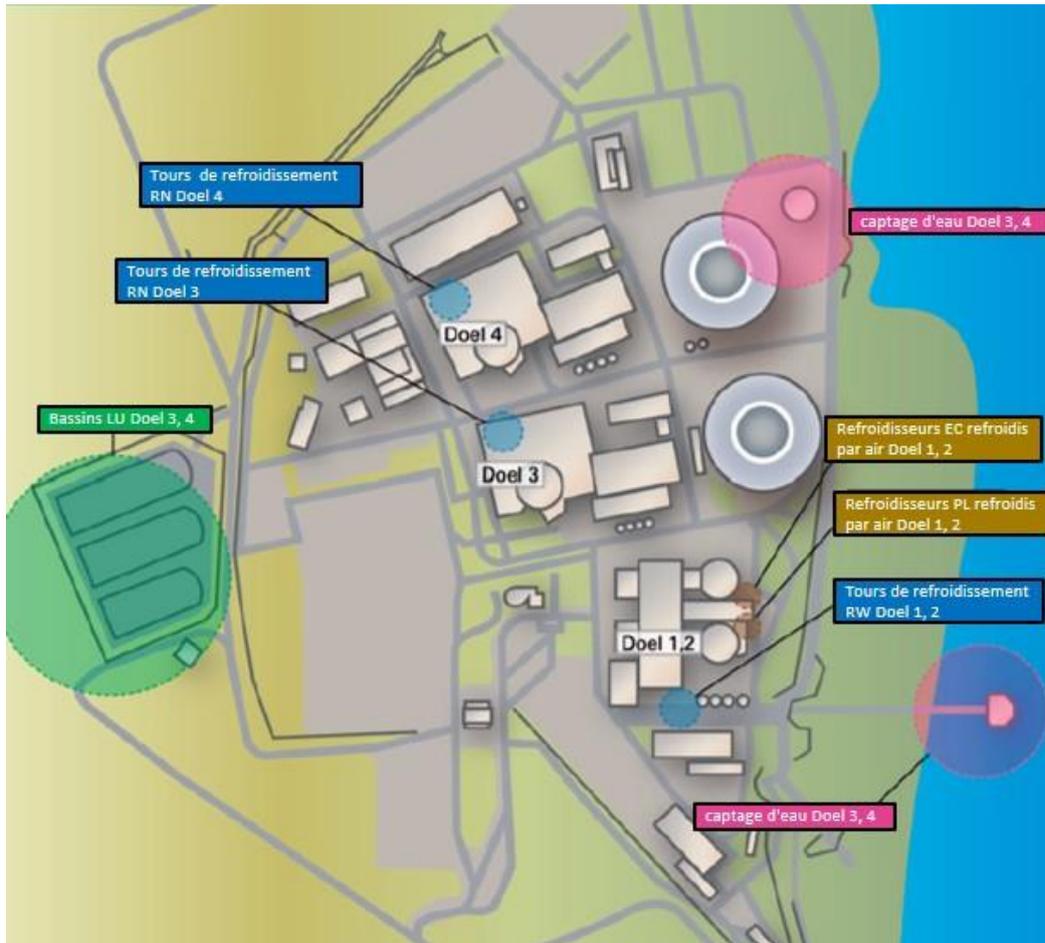


Figure 17 : Schéma de principe de l'eau de refroidissement indiquant la prise d'eau Doel 1 et 2 et Doel 3 et 4 (Source : Electrabel sa, 2011).

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 Doel 1 et 2. Même si les deux centrales n'étaient plus en activité, des gens seraient toujours présents pour les activités de Doel 3 et 4. On peut en dire autant de la présence de l'éclairage. Comme la plupart des routes sont situées en bordure du site, l'éventuelle nuisance lumineuse dans les environs ne changera pas si seules les centrales électriques de Doel 1 et 2 sont désactivées.

Concernant le bruit, certaines sources ne peuvent être associées qu'à Doel 1 et 2. Cependant, ces dernières n'ont jamais été modélisées séparément. L'évaluation de l'impact environnemental concernant les travaux comprenait 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 1 et 2.



Figure 18 : Contours sonores des sources en fonctionnement continu pendant la période de jour, de soirée et de nuit
(Source : EIE concernant les travaux).

Les résultats de l'EIE pour les travaux démontrent que les contours sonores 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 1 et 2.

On peut donc s'attendre à ce que l'impact du Projet 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 Natuurrappport 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. »

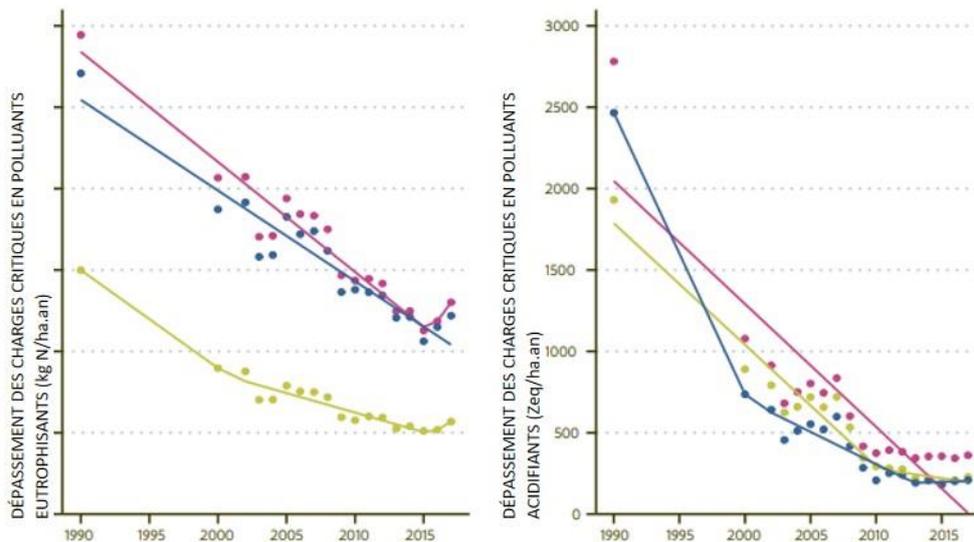


Figure 19 : Dépassement des charges critiques (modélisées et pondérées par surface) pour l'eutrophisation (à gauche) et l'acidification (à droite) dans les forêts, les prairies riches en espèces et les landes entre 1990 et 2017 (Source : Schneiders et al., 2020).

L'impact de l'exploitation des centrales nucléaires 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 incinérateurs, ainsi qu'à la circulation en provenance et à destination du site. Les analyses démontrent que l'impact est négligeable, certainement par rapport aux émissions d'autres sources à proximité (principalement dans le port). On ne s'attend donc pas à ce que la décision de maintenir les centrales ouvertes 10 ans de plus ait un impact significatif sur les dépôts acidifiants et eutrophisants. L'évaluation de l'impact environnemental des travaux a également conclu, sur la base des dépôts calculés, que les dépôts n'étaient pas significatifs.

En outre, la discipline Air examine également les émissions évitées grâce au Projet. Ces émissions évitées sont les émissions auxquelles on peut s'attendre si la production d'électricité pendant la durée de vie prolongée des centrales n'avait pas été réalisée par les centrales nucléaires, mais par d'autres méthodes de production d'énergie. Bien entendu, il s'agit d'une réflexion purement fictive puisque les ressources pour la production de remplacement n'étaient pas disponibles au moment de la décision. C'est pourquoi deux scénarios sont supposés :

- (extrapolation) des émissions telles qu'elles se produisent actuellement dans la production d'électricité non nucléaire en Flandre (sur la base de données consultables dans les bases de données de VMM) ;
- Utilisation de la dernière génération de centrales TVG au gaz naturel (tout en tenant compte des limites d'émission légales imposées par le Vlare III, en tant que « traduction » des conclusions MTD).

Le deuxième scénario s'ajoute à ce qui est décrit dans le chapitre « Scoping » (§ 2.1.1.3) et se veut une analyse de sensibilité des résultats obtenus avec le premier scénario.

Les calculs sont donc basés sur la production d'électricité connue par Doel 1 et 2 pour la période 2015-2018 (pour 2019, les émissions du secteur de l'électricité en Flandre n'ont pas encore été publiées par VMM), et les pronostics jusqu'en 2025 inclus.

Étant donné que l'on ne sait pas où se produiront les émissions des installations qui prendront en charge la production de Doel 1 et 2, 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 n'est pas possible 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. Dans la discipline de l'Air, cependant, seuls des effets négatifs limités sont attendus à proximité (quelques kilomètres) des nouvelles sources d'émission. À plus grande distance, l'impact serait de toute façon limité. Toutefois, étant donné l'ampleur du dépassement des seuils critiques pour les dépôts d'azote en Flandre, on peut supposer que des dépôts supplémentaires, même limités, seraient très défavorables pour l'état de conservation des habitats et des espèces en Flandre.

Utilisation directe des terres

Théoriquement, la décision de maintenir les centrales nucléaires de Doel 1 et 2 ouvertes 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. En outre, seule une surface très limitée serait libérée, puisque les centrales de Doel 3 et 4 resteront en activité. Cela signifie également que, par exemple, la digue protégée doit rester en place pour éviter l'inondation du site. 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.

2.2.3.6 Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques

Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que le Projet puisse éviter les dommages causés à la nature (cf. décret Nature) ?

Lors de l'analyse d'impact, le Projet 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, la mortalité et l'occupation directe des terres.

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 Projet 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 suivi provenant, par exemple, du programme MONEOS.

Dans l'ensemble, on peut donc conclure que le Projet 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 Projet 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 de l'évaluation de l'impact environnemental concernant les travaux, basées sur les mesures du panache des rejets, démontrent 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 suivi provenant, par exemple, du programme MONEOS.

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 Projet a un impact neutre pour cet objectif politique.

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) ?

La zone du projet 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 § 2.2.3.4. 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 eutrophes. 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 ou de mortalité.

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 Projet ne met pas en péril la réalisation des objectifs en matière de nature.

Concernant l'occupation directe des terres, nous avons donc évalué si la décision de maintenir plus longtemps les sites de Doel 1 et 2 en exploitation a compromis le développement de nouveaux habitats. Ce n'est pas le cas, car la possibilité de développer l'habitat à cet endroit n'est de toute façon pas possible étant donné la destination comme zone industrielle et le fait que Doel 3 et 4 sont toujours en activité. 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 § 2.2.3.4, 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 à la fois par rapport aux valeurs actuelles et aux objectifs concernant la nature. En ce qui concerne l'impact du Projet lui-même, cette évaluation est simple. En effet, seul un impact négligeable est attendu et les objectifs et habitats actuels à proximité concernent des habitats peu sensibles aux dépôts 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 Natura2000. 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 macroinvertébrés sont également élevées. Un effet significatif n'est donc pas 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 1 et 2 uniquement devrait être limitée. De plus, il s'agit d'un son continu et prévisible, de sorte qu'il peut y avoir une habitude 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 Projet.

On peut donc conclure que le Projet 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 Projet à cet objectif est neutre.

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 ?

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 Projet 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.

On peut donc conclure que le Projet n'a pas d'impact significatif dans le cadre de l'arrêté Espèces et que la contribution du Projet à cet objectif est neutre.

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. arrêté 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.

Étant donné que la tour de refroidissement fait principalement partie de l'exploitation de Doel 3 et 4 et que le Projet n'a pas d'impact sur ces centrales, on s'attend à peu d'impact pour le faucon pèlerin.

On peut donc conclure que le Projet ne représente pas une entrave pour la réalisation des objectifs dans les PPE et que la contribution du Projet à cet objectif est neutre.

2.2.3.7 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 Projet pourrait avoir un impact. Le décret Nature et ses arrêtés d'exécution ainsi que le décret sur la politique intégrale de l'eau sont pertinents dans ce contexte. Les aspects biologiques du décret sur la politique intégrale de l'eau sont également évalués dans la discipline Eau, mais sont abordés ici dans l'analyse d'impact.

Le Projet 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, la mortalité et l'occupation directe des terres.

En termes de perturbations, il faut uniquement s'attendre à des changements en ce qui concerne les nuisances sonores. Ces modifications sont plutôt limitées puisque le Projet ne modifie que les centrales nucléaires de Doel 1 et 2 et non les deux autres centrales. 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. 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. Il n'en reste pas moins que la prévention de ces émissions n'a pas pu empêcher le dépassement des valeurs de dépôt critiques pour une grande partie des habitats en Flandre (et au-delà). D'autre part, il est vrai que la « distance to target » pour atteindre les objectifs aurait été encore plus grande si ces « installations de remplacement » avaient été en service.

Cependant, l'impact le plus important du Projet 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 Projet n'avait pas d'impact négatif ou positif perceptible sur les objectifs politiques pertinents. L'effet est neutre.

2.2.3.8 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.

2.2.3.9 Lacunes dans les connaissances et suivi

La principale lacune en matière de connaissances concerne la localisation des émissions évitées. Il s'agit d'un effet positif du Projet. 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. Comme 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 Projet. Toutefois, comme il ne s'agit que d'effets locaux et que l'impact n'est pas seulement dû à l'exploitation de Doel 1 et 2, l'incidence sur l'évaluation est négligeable.

2.2.4 Air

2.2.4.1 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.

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 le PM_{2,5}. Jusqu'en 2019, la vérification a été basée sur les plafonds de « l'ancienne » directive NEC (2001/81/CE).

Tableau 14 : Plafonds d'émission cf. la directive NEC (révisée) (2016).

	Directive NEC 2010	Directive NEC révisée – 2020	Directive NEC révisée - 2030	Émissions 2005 (1)
	ktonne/an	% par rapport à 2005	% par rapport à 2005	ktonne/an
SO ₂	99	43 %	66 %	142,6
NO _x	176	41 %	59 %	304,5
COVNM	139	21 %	35 %	147,7
NH ₃	74	2 %	13 %	68,4
PM _{2,5}	na	20 %	39 %	36,5

(1) : Cf. Projet de décret d'approbation de l'accord de coopération du 24/04/2020 entre l'État fédéral et les régions

Suite au projet de décret sur l'approbation de l'accord de coopération du 24 avril 2020 entre l'État fédéral et les régions, les objectifs d'émission applicables au niveau fédéral ont été répartis par région.

Tableau 15 : Objectifs d'émission 2030 par région (plafonds d'émission absolus ; Cf. le projet de décret sur l'approbation de l'accord de coopération du 24/04/2020 entre l'État fédéral et les régions).

	Région flamande	Région wallonne	RBC	Total
	ktonne/an	ktonne/an	ktonne/an	ktonne/an
SO ₂	32,5	15,6	0,4	48,5
NO _x	71,8	49,6	3,4	124,8
COVNM	59,5	32,5	4	96
NH ₃	40	19,4	0,1	59,5
PM _{2,5}	12,9	8,8	0,5	22,2

Comme la période à évaluer est 2015-2025, l'évaluation sera basée sur les objectifs 2030 actuellement applicables au niveau fédéral.

En plus des objectifs d'émission, on peut également 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.

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 est dépassée en de nombreux endroits en Flandre, en particulier dans les lieux de 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>

2.2.4.2 Effets pertinents et relations de cause à effet

Les effets potentiellement pertinents qui sont examinés dans la présente évaluation de l'impact environnemental dans le cadre de la discipline Air concernent, d'une part, les émissions dans l'atmosphère associées à l'exploitation de Doel 1 et 2 et, d'autre part, les « émissions évitées » lors du maintien en service de Doel 1 et 2 et les éventuelles répercussions que les émissions (évitées) peuvent avoir.

Il s'agit en tout cas d'émissions de paramètres de combustion. 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. Comme l'eau de refroidissement de Doel 1 et 2 n'est généralement pas refroidie via ces tours de refroidissement, on peut conclure qu'aucun effet n'est à attendre à cet égard.

2.2.4.3 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 de l'effet étudié. Pour les différents éléments, les domaines suivants peuvent être définis :

- Zone de 2 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 et répercussions possibles des émissions dites évitées.

2.2.4.4 Description des effets

Les émissions locales associées à l'exploitation de Doel 1 et 2 sont liées aux éléments suivants :

- L'utilisation (limitée) de diverses installations de combustion et de dispositifs d'alimentation électrique de secours ;
- Le trafic à destination et en provenance du site.

Émissions des installations fixes

Les émissions des installations fixes ont été cartographiées dans l'évaluation de l'impact environnemental des travaux, sur la base des consommations de carburant, des facteurs d'émission, des heures de fonctionnement, etc. Les données de 2014 ont été utilisées à cette fin. Étant donné que cela ne concerne que des émissions d'activités auxiliaires et que de nombreuses émissions sont uniquement dues à des contrôles (de sécurité) périodiques, on peut supposer que les émissions pendant toute la période à considérer seront relativement similaires. Il n'est pas jugé utile de fournir des détails supplémentaires pour les années suivantes dans le cadre de la présente évaluation de l'impact environnemental, d'autant plus que les émissions calculées peuvent difficilement être jugées pertinentes. C'est ce qu'il ressort clairement de la comparaison des émissions calculées avec celles du port d'Anvers et de l'agglomération anversoise.

Tableau 16 : Émissions des installations de combustion (2014) (EIE travaux Electrabel, 2021).

Élément fonctionnel	Émissions de CO en kg/an	Émissions de NOx en kg/an	Émissions de SOx en kg/an	Émissions de PM10 en kg/an	Émissions de PM2,5 en kg/an
DOEL 1 et 2					
PKD-D1/DG0011	39	149	5	2	2
PKD-D1/ED0022	395	1487	47	23	22
PKD-D0/DG0014	0	0	0	0	0
PKD-D0/DG0012	0	0	0	0	0
PKD-D0/DG0024	0	0	0	0	0
PKD-D0/DG0022	0	0	0	0	0
PKD-D2/DG0021	31	118	4	2	2
PKD-D2/ED0012	429	1.617	51	25	24
PKD-D0/DGS12	263	991	32	15	15
PKD-D0/DGS14	438	1.648	52	25	25
PKD-D0/DGS22	333	1.255	40	19	19
PKD-D0/DGS24	271	1.022	32	16	15
PKD-D0/DGS99	295	1.110	35	17	17
Total	2495	9397	299	145	141

L'émission la plus importante semble être celle de NO_x, avec une charge annuelle de près de 10 tonnes. Cela ne représente que 20 % du seuil de 50 tonnes/an utilisé dans le cadre de l'Integraal Milieujaarverslag (IMVJ - le rapport annuel intégral sur l'environnement). Par rapport aux émissions de NO_x de l'agglomération d'Anvers (plus de 5.000 tonnes en 2015²⁶) ou aux émissions de NOx calculées par VMM en 2014 pour la zone portuaire d'Anvers (20.000 tonnes), ces émissions sont évidemment négligeables.

Compte tenu des émissions très limitées, on ne s'attend pas non plus à un impact significatif sur la qualité de l'air local. Cela ressort également très clairement des résultats des calculs d'impact effectués dans le cadre de l'évaluation de l'impact environnemental concernant les travaux pour l'ensemble des émissions de l'intégralité du site de Doel (43 tonnes de NOx en 2014). Ces calculs démontrent qu'il n'y a pratiquement pas d'impact sur la qualité de l'air local. Comme les émissions liées à l'exploitation de Doel 1 et 2 représentent moins de 1/4 des émissions totales, l'impact peut être évalué comme négligeable.

Ces émissions très limitées ne devraient pas non plus avoir d'impact significatif sur les dépôts acidifiants et eutrophisants, même à proximité immédiate du site.

Impact du trafic

²⁶ Source : VMM, 2020 ; Luchtkwaliteit in de Antwerpse agglomeratie – jaarrapport 2019.

En ce qui concerne la circulation à destination et en provenance du site, un impact éventuel ne peut se produire qu'à proximité immédiate de la route menant au site. Cet impact ne sera en tout cas que limité au bord de la route. L'impact diminue aussi rapidement avec la distance jusqu'à la route.

On ne s'attend pas non plus à ce que les émissions liées à la circulation aient un impact significatif sur les dépôts acidifiants et eutrophisants, même à proximité de la route.

Émissions évitées

Si Doel 1 et 2 sont mis hors service, la capacité perdue doit bien sûr être produite d'une autre manière. Selon la manière dont cela sera fait, cela aura évidemment aussi un impact différent sur l'aspect de l'air et d'autres aspects environnementaux. Dans les paragraphes suivants, seules les possibles émissions directes liées à la production d'électricité non nucléaire seront abordées.

Étant donné qu'il existe un grand nombre de possibilités de compenser la perte de production de Doel 1 et 2, et que cela dépend de la mesure dans laquelle l'électricité est importée de l'étranger et de la mesure dans laquelle les diverses autres techniques de production sont appliquées, la présente EIE ne portera que sur les possibilités suivantes :

- (Extrapolation) des émissions telles qu'elles se présentent actuellement dans le cadre de la production d'électricité non nucléaire en Flandre (sur la base de données consultables dans les bases de données de VMM) (cf. les résultats au Tableau 17 :) ;
- Utilisation de la dernière génération de centrales TVG au gaz naturel (tout en tenant compte des limites d'émission légales imposées par le Vlarem-III, en tant que « traduction » des conclusions MTD) (cf. résultats dans le Tableau 18).

Les calculs sont donc basés sur la production d'électricité connue par Doel 1 et 2 pour la période 2015-2018 (pour 2019, les émissions du secteur de l'électricité en Flandre n'ont pas encore été publiées par VMM), et les pronostics jusqu'en 2025 inclus.

Pour la deuxième méthode de calcul, seules les émissions de NO_x et de NH₃ sont en fait pertinentes lors de l'utilisation de centrales TVG (au gaz naturel). On tient compte à ce niveau du fait que pour respecter les valeurs limites légales, il peut être nécessaire d'utiliser un denox, ce qui peut entraîner d'importantes émissions de NH₃. Les calculs sont basés sur les limites d'émission légalement fixées en Flandre (30 et 10 mg/Nm³ à 15 % d'O₂ respectivement).

Malgré le fait que d'importantes émissions de SO₂ pourraient aussi se produire sur la base des valeurs limites, celles-ci ne sont pas incluses étant donné la très faible teneur en S du gaz naturel (que Fluxys suit en permanence).

Étant donné que l'on ne sait pas où se produiront les émissions des installations qui prendront en charge la production de Doel 1 et 2, 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 n'est pas possible de faire une déclaration quantitativement fondée sur l'impact éventuel que les émissions de ces « installations de remplacement » entraîneront. Pour autant que l'attention nécessaire soit accordée à la détermination de la hauteur de cheminée minimale, et que celle-ci soit ancrée dans les conditions d'autorisation, on peut en tout cas s'assurer que l'impact local (dans une zone de quelques kilomètres autour de ces sources) sera limité au maximum. Bien entendu, l'autorité de délivrance des permis peut également imposer des valeurs limites d'émission plus strictes que celles actuellement en vigueur pour le secteur.

Tableau 17 : Émissions provenant de la production d'électricité en Flandre et estimation approximative des émissions évitées lors de la mise hors service de Doel 1 et 2, calculée sur la base d'une extrapolation des émissions observées pour le secteur.

Émissions de la production d'électricité en Flandre		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
CO	tonne	1.031	959	1.143	815							
Production non nucléaire en Flandre	GWh	28.619	27.094	28.105	29.175							
Production Doel 1 et 2 plus prévisions	GWh	3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
Émissions relatives non nucléaires	tonne/GWh	0,036	0,035	0,041	0,028	0,0297	0,0279	0,0262	0,0247	0,0232	0,0218	0,0205
Émissions évitées	tonne	120	214	278	73	135	117	175	163	155	146	74
SO _x (SO ₂)	tonne	1.068	760	591	411							
Production non nucléaire en Flandre	GWh	28.619	27.094	28.105	29.175							
Production Doel 1 et 2 plus prévisions	GWh	3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
Émissions relatives non nucléaires	tonne/GWh	0,037	0,028	0,021	0,014	0,011	0,008	0,006	0,004	0,003	0,002	0,002
Émissions évitées	tonne	125	169	144	37	48	32	37	27	20	14	6
NO _x (NO ₂)	tonne	4.627	3.371	3.350	3.285							
Production non nucléaire en Flandre	GWh	28.619	27.094	28.105	29.175							
Production Doel 1 et 2 plus prévisions	GWh	3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
Émissions relatives non nucléaires	tonne/GWh	0,162	0,124	0,119	0,113	0,101	0,095	0,089	0,085	0,081	0,077	0,074
Émissions évitées	tonne	540	752	814	294	461	396	595	558	539	515	266
NH ₃	tonne	4,8	7,1	6,5	7,7							
Production non nucléaire en Flandre	GWh	28.619	27.094	28.105	29.175							
Production Doel 1 et 2 plus prévisions	GWh	3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
Émissions relatives non nucléaires	tonne/GWh	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,00032	0,00033	0,00035	0,00036	0,00038	0,00039	0,00040
Émissions évitées	tonne	0,6	1,6	1,6	0,7	1,4	1,4	2,3	2,4	2,5	2,6	1,4
TSP	tonne	117	124	59	39							
Production non nucléaire en Flandre	GWh	28.619	27.094	28.105	29.175							
Production Doel 1 et 2 plus prévisions	GWh	3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
Émissions relatives non nucléaires	tonne/GWh	0,0041	0,0046	0,0021	0,0013	0,00096	0,00063	0,00042	0,00028	0,00018	0,00012	0,00008
Émissions évitées	tonne	13,6	27,6	14,2	3,5	4,4	2,6	2,8	1,8	1,2	0,8	0,3

Extrapolations basées sur les données de 2015 à 2018												
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tableau 18 : Estimation des émissions évitées en cas de remplacement de la production d'électricité de Doel 1 et 2 par des centrales TVG au gaz naturel de dernière génération.

Nouvelle génération de TVG au gaz naturel (1)		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
GW Doel 1 et 2		3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
tonne NO _x / GWh	0,144	481	870	984	376	657	602	959	949	963	965	521
tonne NH ₃ /GWh	0,048	160	290	328	125	219	201	320	316	321	322	174
ktonne CO ₂ /GWh	0,32	1.069	1.933	2.186	835	1.459	1.338	2.131	2.109	2.141	2.144	1.158

Extrapolations basées sur les données de 2015 à 2018

(1) avec une efficacité nettement supérieure à celle des TVG existantes

2.2.4.5 Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques

Le Tableau 19 et le Tableau 20 comparent les chiffres d'émission calculés ci-dessus avec les objectifs NEC pour la Belgique.

Par rapport aux objectifs politiques et aux réductions d'émissions à atteindre en Belgique et dans les régions, on peut affirmer que les émissions causées par l'exploitation de Doel 1 et 2 sont totalement négligeables. Comme la « période de fin » de cette EIE est 2025, ces « émissions propres » n'ont évidemment aucun impact sur les objectifs de 2030.

En termes d'impact sur la qualité de l'air également, il ne faut pas s'attendre à ce que ces « émissions propres » aient un impact.

En ce qui concerne les émissions qui résulteraient de la mise hors service des installations de Doel 1 et 2, on peut affirmer qu'elles auraient un impact négatif par rapport aux objectifs de réduction (apparition d'émissions supplémentaires qui doivent alors être absorbées par d'autres sources), mais la part de ces émissions par rapport aux plafonds d'émission nationaux et 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 significatives (moyenne sur la période 2015-2025 de 0,4 % par rapport au plafond national de NO_x pour 2030).

Dans la variante dans laquelle les émissions évitées sont calculées sur la base des émissions maximales de la dernière génération de TVG au gaz naturel, les contributions concernant les NO_x et le NH₃ sont plus élevées, voire très nettement plus élevées que dans la première variante de calcul. Les émissions évitées de NO_x ont une contribution de 0,4 à 0,8 % (avec une moyenne de 0,6 % sur la période 2015-2025, contre 0,4 % dans la première méthode de calcul), calculée par rapport au plafond d'émission fédéral pour 2030. Pour le NH₃, nous obtenons une moyenne de 0,37 % sur la période 2015-2025, contre < 0,01 % dans la première méthode de calcul), calculée par rapport au plafond d'émission fédéral pour 2030.

L'impact sur la qualité de l'air des sources possibles responsables de la « production de remplacement » de Doel 1 et 2 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.

Les émissions de NO_x et, le cas échéant, de NH₃ peuvent également avoir un impact local en raison des dépôts acidifiants et eutrophisants. Il convient également d'indiquer concernant ces paramètres que l'impact dépendra fortement des éventuelles conditions d'autorisation et des caractéristiques sources des « installations de remplacement ».

Il est évident que si Doel 1 et 2 sont maintenues ouvertes plus longtemps, les émissions qui seraient générées sur la période 2015-2025 par les installations de combustion liées aux deux réacteurs seraient beaucoup plus faibles que les émissions qui seraient générées sur la même période si Doel 1 et 2 étaient désactivés en 2015. Pour les SO_x et les NO_x, selon les hypothèses retenues pour la composition du parc de production dans la situation de référence (première variante), ces chiffres sont respectivement de 0,5 % et 1,8 %. Les émissions attribuables au maintien des centrales en service plus longtemps sont donc 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.

Tableau 19 : Estimation de la part relative des émissions « évitées » par rapport à l'objectif NEC-2030 selon une méthode de calcul basée sur l'extrapolation des émissions actuelles.

		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
SO _x (SO ₂)												
Émissions évitées	tonne	125	169	144	37	48	32	37	27	20	14	6
Objectif NEC 2030 au niveau fédéral	tonne	48.500	48.500	48.500	48.500	48.500	48.500	48.500	48.500	48.500	48.500	48.500
Part des émissions évitées dans l'objectif NEC-2030	%	0,26	0,35	0,30	0,08	0,10	0,07	0,08	0,05	0,04	0,03	0,01
NO _x (NO ₂)												
Émissions évitées	tonne	540	752	814	294	461	396	595	558	539	515	266
Objectif NEC 2030 au niveau fédéral	tonne	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800
Part des émissions évitées dans l'objectif NEC-2030	%	0,43	0,60	0,65	0,24	0,37	0,32	0,48	0,45	0,43	0,41	0,21
NH ₃												
Émissions évitées	tonne	0,6	1,6	1,6	0,7	1,4	1,4	2,3	2,4	2,5	2,6	1,4
Objectif NEC 2030 au niveau fédéral	tonne	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400
Part des émissions évitées dans l'objectif NEC-2030	%	0,0008	0,0023	0,0023	0,0010	0,0021	0,0020	0,0034	0,0035	0,0037	0,0038	0,0021
TSP												
Émissions évitées	tonne	13,6	27,6	14,2	3,5	4,4	2,6	2,8	1,8	1,2	0,8	0,3
Objectif NEC 2030 au niveau fédéral (PM2.5 évalué par rapport au TSP)	tonne	22.200	22.200	22.200	22.200	22.200	22.200	22.200	22.200	22.200	22.200	22.200
Part des émissions évitées dans l'objectif NEC-2030	%	0,061	0,124	0,064	0,016	0,020	0,012	0,013	0,008	0,006	0,004	0,001

Tableau 20 : Estimation de la part relative des émissions « évitées » par rapport à l'objectif NEC-2030 selon une méthode de calcul basée sur les niveaux d'émission maximum de la dernière génération de grandes TVG.

Nouvelle génération de TVG au gaz naturel (1)		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
tonne NO _x		481	870	984	376	657	602	959	949	963	965	521
Objectif NEC 2030 au niveau fédéral	tonne	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800
Part des émissions évitées dans l'objectif NEC-2030	%	0,39	0,70	0,79	0,30	0,53	0,48	0,77	0,76	0,77	0,77	0,42
tonne NH ₃		160	290	328	125	219	201	320	316	321	322	174
Objectif NEC 2030 au niveau fédéral	tonne	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400	68.400
Part des émissions évitées dans l'objectif NEC-2030	%	0,23	0,42	0,48	0,18	0,32	0,29	0,47	0,46	0,47	0,47	0,25

2.2.4.6 Résumé des principales conclusions

L'exploitation de Doel 1 et 2 génère des émissions très limitées dues aux paramètres de combustion. Ces émissions sont négligeables par rapport aux émissions totales et aux plafonds d'émission. 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.

L'impact du trafic vers et depuis le site peut également être considéré comme négligeable.

Le maintien en service de l'installation de Doel 1 et 2 permet d'éviter les émissions qui proviendraient de la production d'électricité non nucléaire. Il n'est pas facile d'obtenir une image précise de ces émissions évitées, car elles dépendent du niveau des importations et des méthodes de production considérées. Deux méthodes de calcul sont utilisées pour obtenir une image de ces émissions :

- L'extrapolation des émissions dues à la production non nucléaire (sur la base des émissions réelles) ;
- L'utilisation de la dernière génération de centrales TVG au gaz naturel (sur la base des limites d'émission sectorielles).

Dans la première méthode de calcul, seules les émissions de NO_x sont pertinentes et elles font clairement partie du plafond d'émission national pour 2030. La deuxième méthode de calcul conduit à des émissions plus pertinentes pour les NO_x et le NH₃.

Le maintien en activité de Doel 1 et 2 permet également d'éviter au niveau local, dans les lieux où des « productions de remplacement » seraient réalisées lors de la fermeture, l'apparition d'effets par rapport à l'impact sur la qualité de l'air et les dépôts. Dans une zone limitée (de quelques kilomètres) autour de telles sources pertinentes potentielles, un impact limité concernant le NO₂ et les dépôts acidifiants et eutrophisants est ainsi évité. À une distance légèrement supérieure de ces sources, l'impact serait de toute façon limité.

2.2.4.7 Mesures d'atténuation

Aucune mesure d'atténuation n'est jugée nécessaire.

2.2.4.8 Lacunes dans les connaissances et suivi

Il n'y a pas de lacunes dans les connaissances qui affectent l'analyse d'impact.

En dehors du suivi qui existe déjà, tant en termes d'émissions que de qualité de l'air, aucun suivi supplémentaire n'est jugé nécessaire.

2.2.5 Climat

2.2.5.1 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 1990²⁷. 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. 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). Ce pourcentage a été repris par la

²⁷ Voir le Cadre d'action européen en matière de climat et d'énergie à l'horizon 2030.

Flandre dans le Vlaamse Energie-en Klimaatplan (VEKP) 2021-2030²⁸. Le VEKP définit les grandes lignes de la politique pour la période 2021-2030 et comprend des plans d'action et des trains de mesures annoncés pour chaque secteur hors SEQE, ainsi que l'impact estimé de cette politique sur les prévisions. Le présent projet n'est pas couvert par l'objectif de réduction de 35 % repris dans le VEKP, car il ne concerne 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 Département Omgeving (département de l'environnement) a été désigné comme l'autorité compétente dans le cadre du SEQE de l'UE.

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 vise 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 à la fois sur les objectifs du système SEQE et sur les objectifs de réduction hors SEQE flamands. L'ambition de la Commission est de présenter des propositions de révision des règlements pertinents, y compris

²⁸ 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.

ceux relatifs au SEQE, d'ici juin 2021. 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.

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 projet de plan d'adaptation pour la période 2021-2030. Ce Vlaams Adaptatieplan (VAP - plan d'adaptation flamand), qui doit encore être concrétisé sous la forme de plans d'action d'adaptation, se concentre sur les stratégies et les pistes de solution suivantes pour contrer les effets de l'augmentation de la température, de la chaleur, de la sécheresse, des précipitations extrêmes et de la montée du niveau de la mer :

- Viser un espace, une société, des bâtiments et des infrastructures (de mobilité) adaptés au climat et neutres sur le plan climatique ;
- Minimiser les risques de pénurie d'eau et d'inondation ;
- Maximiser les maillages verts et bleus ;
- Viser une économie circulaire et adaptée au climat ;
- Viser une agriculture et une chaîne alimentaire circulaires et adaptées au climat.

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, les objectifs politiques relatifs au climat qui seront évalués dans le cadre de cette EIE 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.

2.2.5.2 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. Doel 1 et 2 comprennent 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. En 2019, cela représentait des émissions de 164,4 tonnes de CO₂ pour Doel 1 et 2, sur un total (estimé) d'émissions de l'ensemble du site de quelque 1.272 tonnes.
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 n'avait pas été reportée, la capacité de production aurait dû 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.

2.2.5.3 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 de la centrale elle-même. 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.

2.2.5.4 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 moteurs diesel (qui alimentent les pompes et les générateurs de secours) et de chaudières à vapeur et à combustible. L'inventaire des émissions de gaz à effet de serre de la centrale nucléaire de Doel distingue 55 installations de ce type, pour une puissance thermique installée totale de 315 MW. Le nombre d'heures de fonctionnement de ces installations est toutefois (très) limité ; en 2019, il a fluctué (selon les installations) entre 0 et 72 heures, avec une moyenne d'environ 16h par installation.

L'inventaire distingue les différentes centrales du site, ce qui permet d'estimer les émissions de gaz à effet de serre liées à Doel 1 et 2 séparément. Il s'agit notamment de 13 moteurs diesel d'une puissance installée totale de près de 80 MW (voir Tableau 21).

Tableau 21 : Moteurs à combustible fossile attribuables sans ambiguïté au fonctionnement de Doel 1 et Doel 2.

Nom	Puissance (MWth)	Fonction
PKD-D1/DG0011	4,3	Diesel auxiliaire
PKD-D1/ED0022	6,1	Diesel de secours
PKD-D0/DG0014	6,2	Diesel de sécurité

Nom	Puissance (MWth)	Fonction
PKD-D0/DG0012	6,2	Diesel de sécurité
PKD-D0/DG0024	6,2	Diesel de sécurité
PKD-D0/DG0022	6,2	Diesel de sécurité
PKD-D2/DG0021	4,3	Diesel auxiliaire
PKD-D2/ED0012	6,1	Diesel de secours
PKD-D0/DGS12	6,79	Diesel de sécurité
PKD-D0/DGS14	6,79	Diesel de sécurité
PKD-D0/DGS22	6,79	Diesel de sécurité
PKD-D0/DGS24	6,79	Diesel de sécurité
PKD-D0/DGS99	6,79	Diesel de sécurité

Ensemble, ces installations ont fonctionné environ 189 heures en 2019.

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 2019, celles-ci représentent ensemble moins de 4,5 % des émissions totales de gaz à effet de serre de la centrale. Les attribuer à Doel 1 et 2 (en proportion de la capacité des centrales, par exemple) n'aurait guère d'effet sur les chiffres d'émission de ces centrales, aussi, compte tenu des incertitudes liées à cette attribution, nous ne le faisons pas.

Le Tableau 22 illustre les émissions de gaz à effet de serre du site et de Doel 1 et 2 pour les années 2015-2019, telles qu'elles ressortent de l'inventaire des émissions et du rapport SEQE du site. La part de Doel 1 et 2 varie d'une année à l'autre, avec une part maximale de 30 % des émissions totales du site. Si nous simplifions en supposant un maximum d'environ 500 tonnes/an, nous obtenons des émissions cumulées de gaz à effet de serre de l'ordre de 5.500 tonnes sur la période 2015-2025 comme effet direct du report de la désactivation de Doel 1 et 2.

Tableau 22 : Émissions de gaz à effet de serre (tonnes CO₂éq/an) pour la centrale nucléaire de Doel (CNDoel) et les unités de Doel 1 et 2 pour la période 2015-2019.

	2015	2016	2017	2018	2019
Émissions de gaz à effet de serre CNDoel (tonnes CO ₂ éq)	1.887	1.420	1.414	1.675	1.272
Émissions de gaz à effet de serre Doel 1 et 2 (tonnes CO ₂ éq)	487,30	421,81	358,49	395,68	164,40
Part des émissions de gaz à effet de serre Doel 1 et 2 sur la CNDoel	26 %	30 %	25 %	24 %	13 %
Production Doel 1 et 2 (GWh)	3.340	6.040	6.830	2.610	
Émissions relatives de gaz à effet de serre Doel 1 et 2 (gCO ₂ éq/kWh)	0,146	0,070	0,052	0,15	

Si nous exprimons les émissions par rapport à l'électricité produite, nous obtenons une valeur qui, pour les années considérées, fluctue entre 0,070 et 0,15 gramme de CO₂ par kWh²⁹. 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 167 g/kWh en 2019 (EEA, 2020).

La Figure 20 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 beaucoup plus faibles que, par exemple, celles des Pays-Bas (390 g CO₂eq/kWh) et de l'Allemagne (338 g CO₂eq/kWh), deux pays qui, en 2019, 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.

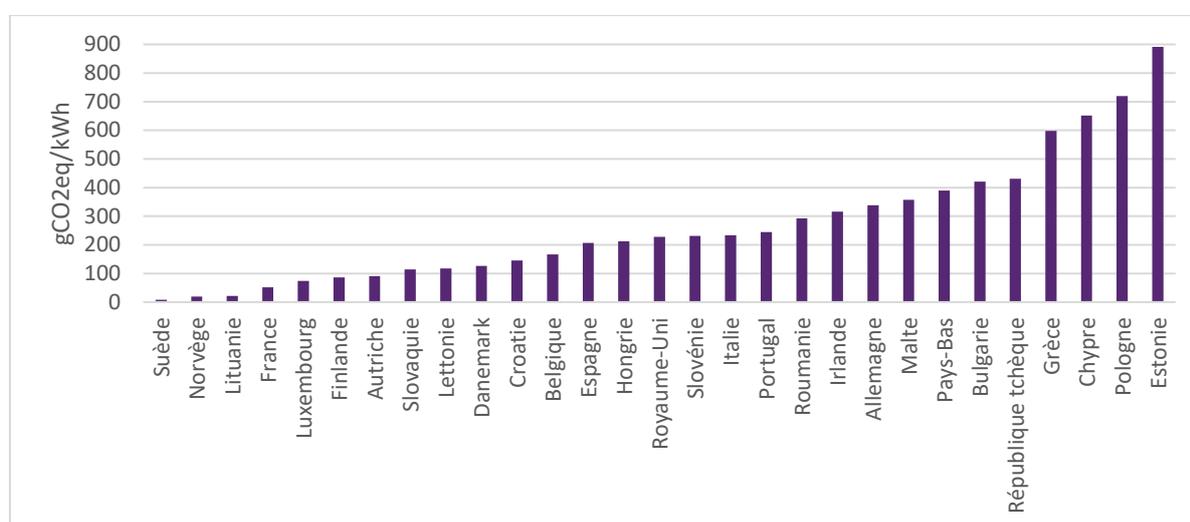


Figure 20 : Intensité des émissions de gaz à effet de serre (g CO₂eq/kWh) du secteur de l'électricité pour les différents États membres de l'UE.

Nous pouvons conclure que les émissions de CO₂ de Doel 1 et 2 sont inférieures de deux ordres de grandeur aux émissions moyennes du parc de production et a fortiori aux émissions des centrales à gaz de pointe. 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.

Émissions évitées de la centrale

Sous cette rubrique, nous discutons des émissions qui seraient générées si la capacité de production perdue en 2015 avait été remplacée par un autre mix énergétique non nucléaire.

²⁹ En marge de cela, on peut mentionner que les émissions de gaz à effet de serre d'une centrale nucléaire sur toute la durée de vie peuvent être estimées entre 10 et 130 g CO₂-e/kWhe, avec une moyenne de 65 g CO₂-e/kWhe (voir e.a. Lenzen M., 2008). Ce chiffre tient également compte, notamment, des émissions liées à l'extraction de l'uranium, à la construction de la centrale et au démantèlement. Les émissions du cycle de vie d'une centrale nucléaire sont donc 10 à 20 fois plus faibles que celles d'une centrale thermique, mais plus élevées que celles des éoliennes, par exemple.

Il est clair que la perte de capacité nucléaire en Belgique devra être au moins partiellement absorbée par les centrales à gaz. Un rapport très récent³⁰ estime l'intensité carbone de l'approvisionnement électrique belge 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 augmente plutôt que de diminuer. Cela s'explique évidemment par le fait que la part des énergies renouvelables sera encore trop faible en 2025 pour compenser le déclin rapide de la production nucléaire. EMBER prévoit une part de 57 % de gaz naturel³¹ et de 40 % d'énergies renouvelables en 2030. Il est évident que l'intensité carbone de la production énergétique belge diminuera à nouveau après 2030, à mesure que la part des énergies renouvelables augmentera et que les centrales à gaz produiront donc moins.

Toutefois, dans cette évaluation de l'impact environnemental, nous n'examinons pas la situation future après 2025, mais la période 2015-2025. Comme indiqué précédemment, il n'existait aucune alternative raisonnable au report de la désactivation de Doel 1 et 2 en 2015. Le calcul des émissions qui auraient pu avoir lieu pendant cette période si la désactivation n'avait pas été reportée est donc un exercice purement théorique, destiné uniquement à donner une idée de l'ordre de grandeur des émissions évitées. Dans la présente EIE, nous émettons donc, comme nous l'avons déjà expliqué, l'hypothèse simplificatrice que le parc de production (théorique) qui devrait combler la capacité nucléaire perdue au cours de la période 2015-2025 aurait la même composition relative que la partie non nucléaire du parc de production à ce moment-là.

Les calculs, effectués par l'expert Air, sont résumés ci-dessous.

Tableau 23 : Calcul des émissions de gaz à effet de serre évitées en cas de report de la désactivation de Doel 1 et 2 sur la période 2015-2025, en cas de mix énergétique non nucléaire mixte.

		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Émissions de la production d'électricité	ktonne CO ₂ eq	12.725	11.340	11.567	11.201							
Production non nucléaire en Flandre	GWh	28.619	27.094	28.105	29.175							
Production Doel 1 et 2 plus prévisions	GWh	3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
Émissions relatives non nucléaires	ktonne CO ₂ eq/GWh	0,445	0,419	0,412	0,384	0,382	0,375	0,369	0,363	0,359	0,354	0,350
Émissions de gaz à effet de serre évitées	ktonne CO ₂ eq	1.485	2.528	2.811	1.002	1.742	1.566	2.455	2.394	2.398	2.374	1.269

Ce tableau contient les données déclarées ou calculées suivantes pour les années 2015-2018 :

- Les émissions de CO₂ de la production d'électricité en Flandre, en ktonnes. Nous partons du principe qu'elles sont entièrement imputables à la partie non nucléaire de la production.
- La production d'énergie non nucléaire en Flandre, en GWh.
- La production de Doel 1 et 2, en GWh (fournie par Electrabel sa).

³⁰ Vision or division? What do National Energy and Climate Plans tell us about the EU power sector in 2030? EMBER, novembre 2020.

³¹ Dans une mise à jour récemment publiée (2020) des perspectives pour l'approvisionnement en électricité de la Belgique en 2030 et 2050, Energyville se base sur une part de gaz naturel de 44 % en 2030, ce qui est nettement inférieur.

- Les émissions relatives de gaz à effet de serre du secteur de l'électricité non nucléaire (en ktonnes CO₂eq/GWh), obtenues en divisant les émissions déclarées pour l'ensemble du parc par la production d'énergie non nucléaire.
- Les émissions de gaz à effet de serre évitées, calculées en multipliant la production non nucléaire par les émissions par GWh.

Pour les années 2019 à 2025, le tableau contient les données (dérivées) suivantes :

- La production de Doel 1 et 2 (prévisions fournies par Electrabel sa).
- Les émissions de gaz à effet de serre relatives du secteur de l'électricité non nucléaire (en ktonnes CO₂eq/GWh), obtenues en extrapolant l'évolution sur les années 2015-2018. La tendance à la baisse, principalement due à une augmentation de la part des énergies renouvelables dans le mix électrique, se poursuit.
- Les émissions de gaz à effet de serre évitées, calculées de la même manière que pour la période 2015-2018.

En raison des fluctuations de la production (observée ou prévue) de Doel 1 et 2, les émissions évitées varient également assez largement, avec un minimum d'environ 1000 ktonnes CO₂eq en 2018 et un maximum d'environ 2800 ktonnes en 2017. Sur l'ensemble de la période, le report de la désactivation de Doel 1 et 2 permet d'éviter des émissions à hauteur d'environ 22.000 ktonnes de CO₂eq. Si l'on compare les émissions rejetées par l'exploitation de Doel 1 et 2 sur la même période (5.500 tonnes), on constate que les émissions de Doel 1 et 2 sur la période couverte par le report de la désactivation ne représentent que 0,025 % 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.

Dans la discipline Air de cette EIE, un autre scénario a également été calculé à titre illustratif, qui suppose le remplacement complet de la capacité nucléaire perdue de Doel 1 et 2 par des centrales TVG de dernière génération. Là encore, il s'agit évidemment d'un scénario qui n'existe qu'en théorie, étant donné l'importance accordée aux énergies fossiles et le fait qu'aucune centrale de ce type n'existait en 2015. Néanmoins, ce scénario est utile pour donner une idée des émissions évitées en cas de remplacement de Doel 1 et 2 uniquement par des centrales au gaz de pointe.

Les émissions de gaz à effet de serre spécifiques de ce type de centrale sont de l'ordre de 0,320 ktonne CO₂/GWh, ce qui est donc plus efficace en termes de carbone que le mix actuel d'unités de production non nucléaires (y compris les renouvelables), qui était de 0,384 ktonne CO₂/GWh en 2018 (voir Tableau 23).

Les résultats de ce calcul sont résumés dans le Tableau 24.

Tableau 24 : Calcul des émissions de gaz à effet de serre évitées en cas de report de la désactivation de Doel 1 et 2 sur la période 2015-2020, en cas de production de remplacement non nucléaire basée sur des TVG de dernière génération.

		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Production Doel 1 et 2 plus prévisions	GWh	3.340	6.040	6.830	2.610	4.560	4.180	6.660	6.590	6.690	6.700	3.620
Émissions de gaz à effet de serre évitées	ktonne	1.069	1.933	2.186	835	1.459	1.338	2.131	2.109	2.141	2.144	1.158

Dans ce calcul, les émissions évitées avec uniquement les TVG se situent entre 71 % (en 2015) et 91 % (en 2025) des émissions évitées avec un mélange mixte (mais moins efficace en termes de carbone), en raison de l'amélioration progressive de l'intensité en carbone du parc mixte supposée dans les calculs du Tableau 23. Sur l'ensemble de la période 2015-2025, les émissions cumulées dans l'hypothèse « uniquement TGV » s'élèvent à 84 % des émissions dans l'hypothèse « mélange ».

Quoi qu'il en soit, il est clair que le report de la désactivation de Doel 1 et 2 sur la période 2015-2025 conduit à des émissions évitées de l'ordre de (maximum) 22.000 ktonnes, soit environ 2.000 ktonnes/an. Cela représente une économie d'environ 2,5 % du total des émissions de gaz à effet de serre en Flandre pour l'année 2018 (77.700 ktonnes), soit près de 17 % des émissions du sous-secteur « électricité et chaleur » pour la Flandre la même année. Un autre exemple : les économies réalisées sont comparables à l'ampleur des émissions de gaz à effet de serre de la raffinerie Esso dans le port d'Anvers (2019). Ce ne sont donc pas des économies négligeables.

Il convient toutefois de noter que ces « émissions évitées » font partie du secteur SEQE. Les États membres n'ont pas d'objectifs de réduction individuels dans le cadre de ce système, de sorte que cette « économie » ne peut être attribuée à proprement parler à la Belgique (ou à la Flandre). En outre, il est inhérent au système SEQE que, lorsque le système fonctionne à son niveau optimal, des transferts d'émissions se produisent entre les installations, les installations dont les émissions relatives de CO₂ sont plus élevées étant « évincées du marché » par des installations plus efficaces. Tant que le plafond d'émission est respecté, cela n'entraîne pas de diminution ou d'augmentation des émissions totales au sein du système (la diminution est bien sûr due à l'abaissement continu du plafond d'émission). La construction de nouvelles centrales au gaz pour remplacer la capacité nucléaire n'entraînera donc pas nécessairement une augmentation des émissions dans le cadre du système SEQE. En ce sens, les « émissions évitées » dans le cadre du report de la désactivation de Doel 1 et 2 ne sont pas vraiment évitées au niveau du système SEQE. En réalité, elles auraient au moins été partiellement compensées par des réductions dans des installations situées ailleurs en Europe.

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. Dans les calculs, ce point a été partiellement compensé en introduisant une tendance à la baisse de l'intensité de carbone, basée sur les évolutions observées et une extrapolation de ces évolutions pour les années 2019-2025. Comme l'exercice n'est de toute façon que théorique et illustratif, il n'est pas très logique de viser une grande précision dans les hypothèses.

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 1 et 2 ouverts plus longtemps a pu 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 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 1 et 2 ne soit plus revêtu au cours de la période 2015-2025, car le démantèlement complet de la centrale pourrait prendre 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, pour la

période 2015-2025, peu importe que Doel 1 et 2 soient encore en service ou non, puisque le site des deux centrales sera toujours revêtu pendant cette période, même après le démantèlement, et contribuera donc dans la même mesure à l'effet d'îlot de chaleur. En outre, on ne s'attend pas à ce que le climat change au cours de la période 2015-2025 au point de modifier sensiblement l'impact de la centrale sur l'environnement (qui existe déjà aujourd'hui).

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.

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 2025. 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, nous ne nous attendons pas à ce que ces changements donnent lieu à des modifications drastiques des paramètres climatiques au cours de la période 2015-2025. 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 ;
- 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 du VMM (<https://klimaat.vmm.be/>) comporte des informations par commune, pour certains paramètres également pour l'année 2030, ce qui est probablement représentatif de la situation en 2025. Toutefois, il convient de noter que les pronostics du VMM sont basés sur le scénario climatique flamand dit « élevé », ce qui signifie en pratique une évolution similaire à celle du RCP 8.5, 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, 2011). Dans ce qui suit, nous résumons les principales conclusions. Il est important de souligner que le degré de changement climatique pris en compte dans ce rapport va bien au-delà de ce qui est susceptible de se produire en 2025. 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 plateforme 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 plateforme 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 seront de toute façon peut-être 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 1.700 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.

En cas de crue nominale, la plateforme de la prise d'eau de Doel 1 et 2, qui est située dans l'Escaut et à peu près au même niveau que le site, peut être inondée. Si la source de refroidissement primaire pour Doel 1 et 2 (l'Escaut) devait ne plus être disponible, elle pourrait être remplacée par une autre source de refroidissement (le « circuit d'eau brute ») située sur le site à l'intérieur de la protection de la digue.

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 liés à Doel 1 et 2, mais sans conséquences pour les fonctions de sécurité. En cas de rupture d'une digue, le nombre de sites liés à Doel 1 et 2 où des inondations pourraient se produire passerait à 10. Là encore, le deuxième niveau de sécurité 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 plateforme 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 2025. 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 2025), 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 LOOP³² 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 Doel 3 et 4 prend en compte une tornade de référence qui est sans précédent dans cette région. La conception de Doel 1 et 2 tient compte d'une intensité plus faible mais qui est encore très rare en Europe. 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.

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.

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 Vlareme 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

³² 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 l'unité. Lorsqu'au moins une des quatre unités de Doel est activée avec succès en mode îlot, il est également possible de relier cette unité aux autres unités via la station 400 kV de Doel.

sécurité 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 Vlare, 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 Vlare 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 1 et 2.

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 sécurité de son fonctionnement en cas de vague de chaleur ou de gel.

On ne sait pas 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, on peut supposer que ce sera également le cas pour la période 2020-2025.

2.2.5.5 Évaluation des impacts par rapport aux objectifs politiques

Pour les différents objectifs politiques de haut niveau relatifs à la discipline Climat (voir § 2.2.5.1), 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 1 et 2 permet d'éviter des émissions d'environ 22.000 ktonnes de CO₂eq. Si l'on compare les émissions rejetées par l'exploitation de Doel 1 et 2 sur la même période (5.500 tonnes), on constate que les émissions de Doel 1 et 2 sur la période couverte par le report de la désactivation ne représentent que 0,025 % 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 2015-2020, 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 (2025) dans lequel le changement climatique peut se manifester, d'autre part en raison du fait que le site de Doel 1 et 2 restera revêtu pendant la période de référence même en cas de désactivation en 2015. 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 Doel 1 et 2 soient ou non en service sur la période de référence 2015-2025 n'y change rien. L'évaluation est donc **neutre**.

2.2.5.6 Résumé des principales conclusions

Les émissions de gaz à effet de serre qui peuvent être attribuées à Doel 1 et 2 sur la période 2015-2025 sont de l'ordre de 5.500 tonnes (cumulées). Si nous exprimons les émissions par rapport à l'électricité produite, nous obtenons une valeur qui, pour les années considérées, fluctue entre 0,070 et 0,146 gramme de CO₂ par kWh, ce qui est très faible.

Les émissions de gaz à effet de serre évitées en gardant Doel 1 et 2 ouverts plus longtemps sont d'un autre ordre. Sur l'ensemble de la période, le report de la désactivation de Doel 1 et 2 permet d'éviter des émissions d'environ 22.000 ktonnes de CO₂eq. Cela représente une économie d'environ 2,5 % du total des émissions de gaz à effet de serre en Flandre pour l'année 2018 (77.700 ktonnes), soit près de 17 % des émissions du sous-secteur « électricité et chaleur » pour la Flandre la même année. Si l'on compare avec les émissions rejetées par l'exploitation de Doel 1 et 2 sur la même période (5.500 tonnes), on constate que les émissions de Doel 1 et 2 sur la période couverte par le report de la désactivation ne représentent que 0,025 % 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 1 et 2 n'affectent pas la résilience de l'environnement aux effets du changement climatique pendant la période de référence, étant donné d'une part la perspective à court terme, et d'autre part 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 du report de la désactivation, 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 des sites de Doel 1 et 2.

2.2.5.7 Mesures d'atténuation

Aucune mesure d'atténuation n'est requise à partir de la discipline Climat.

2.2.5.8 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. La surveillance des effets n'est pas nécessaire.

2.2.6 Homme et Santé

2.2.6.1 Contexte juridique et politique

Généralités

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. Pour ce qui est de la discipline de la santé, la recherche en santé publique est importante, comme le fait l'Agentschap Zorg en Gezondheid. Dans ces rapports, Zorg en Gezondheid décrit l'importance pour la santé publique des résultats de la qualité de l'air mesurés par la Vlaamse Milieumaatschappij. L'importance pour la santé publique est déterminée en comparant les résultats des mesures aux valeurs recommandées pour la santé (VRS). Les valeurs recommandées pour la santé et les valeurs limites légales ne coïncident pas nécessairement. Lors de la définition des normes légales européennes en matière de qualité de l'air, ce n'est pas seulement l'importance de la santé publique qui est décisive. La faisabilité technique et les aspects économiques jouent également un rôle

dans la détermination de ces normes légales en matière de qualité de l'air. Les valeurs recommandées pour la santé, qui sont établies uniquement dans le but de protéger la santé publique, sont donc dans de nombreux cas plus conservatrices que les normes légales. Les estimations des risques supposent souvent la situation hypothétique d'une exposition à vie des résidents aux concentrations telles qu'elles ont été mesurées. Compte tenu de la nature des polluants, des évaluations des risques sont utilisées ici. Ces études constituent les lignes directrices d'une EIE en plus des données reçues de la discipline Air. À partir de ces considérations, on peut dire que nous adoptons une approche très conservatrice. Il n'y a pas d'étude de santé publique spécifique dans le cadre de ce projet.

Azote

Le VITO a effectué une analyse approfondie des NOx en novembre 2017, à la demande de l'Agentschap Zorg en Gezondheid. De cette étude, une valeur recommandée pour la santé de 20 µg/m³ a été calculée sur la base de huit études épidémiologiques menées par l'ANSES française en 2015. Cette VRS est incluse dans le manuel d'orientation Santé humaine. Il s'agit d'une étude unique qui porte principalement sur le climat intérieur avec des sources d'azote provenant de l'intérieur.

Exposition générale (Vlaamse Milieumaatschappij, 2020)

La pollution de l'air a un impact sur la santé humaine. En Europe, on peut affirmer que trois polluants ont le plus grand impact sur la mortalité : les particules fines, le dioxyde d'azote et l'ozone. Dans le cadre de cette étude, seul le dioxyde d'azote est inclus dans les émissions évitées lors de la production d'énergie par voie nucléaire. En général, on peut dire que le dioxyde d'azote est un polluant qui est surtout lié au trafic. Moins de 1 % de la population vit dans une zone où les concentrations de NO₂ sont excessives. Le contrôle par rapport à la valeur recommandée de l'OMS donne le même chiffre que pour l'objectif européen. La Commission européenne a effectivement adopté la valeur recommandée de l'OMS. Si nous prenons comme cadre de référence l'objectif de 20 µg/m³ du projet du Luchtbeleidsplan 2030 des autorités flamandes, alors en 2017, environ un tiers de la population était exposé à des concentrations excessives. Ces quatre dernières années, la population exposée à de fortes concentrations de NO₂ n'a pratiquement pas diminué.

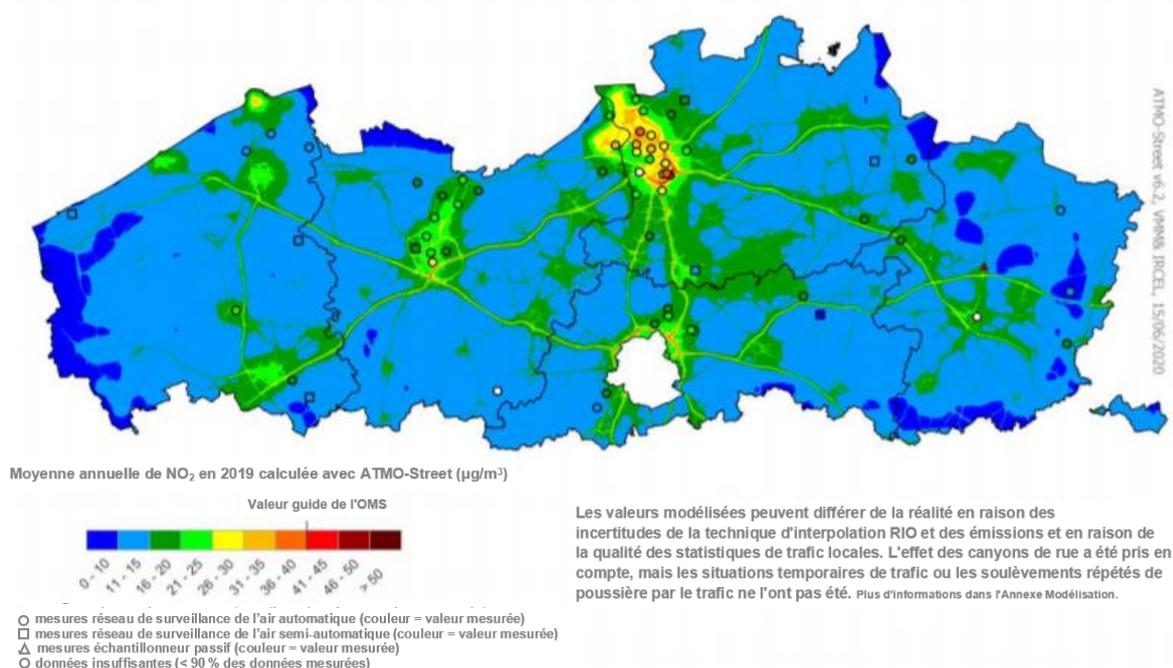


Figure 21 : Carte récapitulative de l'exposition.

Politique

Avec le nouveau plan de politique de l'air, les autorités flamandes visent à atteindre les objectifs européens. Le 20 juillet 2018, le gouvernement flamand a approuvé le projet du Luchtbeleidsplan 2030. Il trace la voie à suivre pour améliorer sensiblement la qualité de l'air en Flandre d'ici 2030. En 2018, l'OMS a réaffirmé la valeur limite de 40 µg/m³, mais elle est basée sur la protection de la santé humaine contre les polluants des oxydes d'azote gazeux. À une concentration supérieure à 200 µg/m³, le dioxyde d'azote provoque une inflammation des voies respiratoires. La tendance à ajuster la VRS à 20 est principalement basée sur la fonction d'indicateur d'autres polluants à base d'oxydes d'azote et sur le fait qu'en Europe, des preuves ont été trouvées de bronchites chez des enfants asthmatiques ayant été soumis à des expositions de longue durée aux NOx, et ce en corrélation avec une fonction pulmonaire réduite.

2.2.6.2 Délimitation de la zone d'étude

L'évaluation des incidences environnementales est une procédure juridico-administrative qui tente de déterminer de manière prospective les conséquences environnementales attendues d'une activité, d'un plan ou d'un projet au stade le plus précoce possible. En tant que telle, l'EIE est un outil permettant de réaliser le principe de précaution et le principe d'action préventive. La discipline « Santé humaine » ou « Toxicologie humaine » peut être décrite comme suit : la partie de l'évaluation des incidences environnementales 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. La discipline « Santé humaine » est une discipline réceptrice. Cela implique qu'elle reçoit des contributions potentiellement importantes des disciplines clés, en l'occurrence l'air et le bruit. Étant donné qu'aucune contribution significative n'a été démontrée pour le projet dans ces disciplines, aucune zone d'étude générale n'est prévue pour les effets directs des facteurs de stress environnementaux chimiques et physiques. 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.

2.2.6.3 Description de la situation actuelle

En ce qui concerne la description de la situation de référence actuelle, aucune donnée n'est disponible pour la discipline santé humaine quant à la charge éventuelle sur la santé humaine. Les environs immédiats de la centrale nucléaire, importants pour les effets possibles du projet lui-même, sont extrêmement peu peuplés (Figure 22).

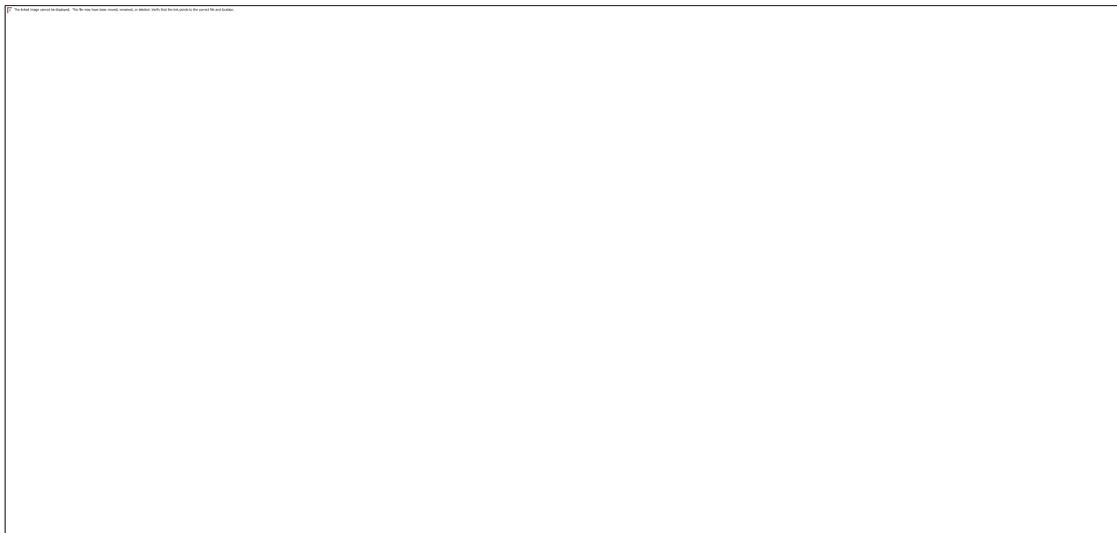


Figure 22 : Aperçu des habitants de Doel (Source : commune de Beveren).

Lorsque l'on examine les aspects politiques liés à l'environnement, d'un point de vue théorique, la population de la Flandre est pertinente et, par extension, celle de la Belgique (6,6 millions et 11,5 millions respectivement).

2.2.6.4 Méthodologie de l'évaluation des impacts

Études toxicologiques et épidémiologiques

La description des impacts environnementaux est basée sur le manuel d'orientation et l'expérience de l'expert. La discipline « Santé humaine » peut être décrite comme suit : la partie de l'évaluation des incidences environnementales 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. Les modifications du milieu de vie qui sont étudiées ici comprennent des agents physiques, chimiques et biologiques : émission de substances nocives, production de bruit, organismes pathogènes et radiations. Une attention particulière est également accordée aux conseils et aux mesures visant à éviter, atténuer ou remédier aux effets néfastes. L'objectif est non seulement de discuter des effets possibles, mais aussi d'identifier les groupes de population à risque (accru).

Lorsque nous parlons de la discipline « Santé humaine », cela inclut également la sous-discipline « Effets psychosomatiques ». Les effets « psychosomatiques » font référence à d'éventuelles plaintes 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. Toutefois, un certain nombre de facteurs de risque peuvent jouer un rôle déterminant. Par exemple, les antécédents génétiques d'une personne, sa personnalité, les événements majeurs de sa vie, son âge, la durée de certaines plaintes, sa (sur)sensibilité aux stimuli, etc. Un aperçu des plaintes est ici principalement indicatif.

L'estimation des effets sur la santé est basée sur des études toxicologiques et épidémiologiques. Une première étape dans l'estimation des risques pour la santé consiste à déterminer la dose à laquelle les résidents de la zone d'étude sont exposés. L'exposition est également largement déterminée par les voies d'exposition, le comportement humain et l'âge. La dose enregistrée est comparée aux valeurs indicatives applicables. Il est alors nécessaire de déterminer les effets sur la santé causés par cette dose. La relation dose-effet est le résultat d'études toxicologiques et épidémiologiques sur l'homme et les animaux de laboratoire. La manière dont les risques pour la santé sont estimés à partir de l'exposition à la dose définie est connue sous le nom d'analyse des risques pour la santé. Vu l'ampleur de ce projet, aucune relation dose-effet spécifique n'est établie, mais il est fait usage des relations dose-effet disponibles et des études réalisées par le VITO, l'Institut flamand pour la recherche technologique. Lorsque celles-ci sont insuffisantes, c'est repris dans les lacunes en matière de connaissances.

Comme indiqué, les études toxicologiques et épidémiologiques se complètent. L'étude toxicologique tente de prédire les effets à l'aide de la dose exposée. L'écotoxicologie s'intéresse particulièrement à l'étude des effets des polluants environnementaux sur les organismes. Le transport par l'environnement est également pris en compte. L'épidémiologie étudie une population et décrit les effets qui se produisent. Cette étude combinée permet de ne prendre en compte que les effets pertinents sur la santé. Sur la base de ces données, le risque sanitaire dans la zone étudiée peut être estimé. Il est alors possible de désigner dans la zone d'étude les groupes à risque qui nécessitent une attention accrue. Une fois que les effets attendus sur la santé ont été décrits, une évaluation sera effectuée et des mesures d'atténuation pourront être proposées.

Concrètement, pour ce projet, cela signifie que nous étudions les effets possibles des polluants évités (émissions atmosphériques) et les complétons par la perception, l'effet possible d'une panne de courant et la nuisance différenciée.

Les conséquences possibles d'un « black-out » ou d'une panne de courant sur la santé sont également abordées spécifiquement pour ce projet. Après avoir interprété les valeurs d'immission significatives, les groupes de population exposés à ces concentrations sont décrits, ainsi que les conséquences possibles. En fonction du nombre

et du type de personnes exposées, ces concentrations importantes sont considérées comme un effet significatif dans le cadre de la discipline de la santé humaine, et des mesures d'atténuation complémentaires sont proposées par l'expert. Les impacts potentiels sur la santé sont liés au projet. Dans ce contexte, il est important de noter que nous allons d'abord examiner les paramètres pour lesquels il existe des effets potentiellement significatifs et ensuite, si nécessaire, décrire plus en détail les groupes exposés et vulnérables.

Distinction entre les groupes d'effets possibles

Une distinction est opérée entre les groupes d'effets possibles suivants qui nécessitent une approche individuelle, à savoir :

Les effets sur la santé : les valeurs d'immission et les charges corporelles à prévoir sont comparées aux normes et aux valeurs recommandées (VLAREM, EPA, OMS, CE et autres).

Les valeurs recommandées suivantes sont utilisées :

- OMS : (Organisation mondiale de la Santé) : valeur recommandée pour l'exposition ;
- Pour ce projet, nous avons opté pour la valeur recommandée de l'OMS ;
- VRS du manuel d'orientation ;
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), US EPA (Environmental Protection Agency, U.S.A) ;
- RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, NL) : valeurs d'évaluation pour la santé ;
- Dose journalière tolérable (DJT) de l'OMS (Tolerable Daily Intake, TDI) ;
- Valeurs limites pour la charge corporelle : body burden, concentration des biomarqueurs ;
- Les niveaux de human biomonitoring (HBM) allemands ou les Biomonitoring Equivalents pour contrôler les concentrations internes ;
- Valeurs recommandées tirées de la littérature scientifique internationale revue par les pairs ;
- Valeurs recommandées en matière de médecine du travail : Threshold Limit Values (valeurs TLV). Pour la population générale : 1/10e des TLV pour les non cancérigènes et 1/x des TLV pour les cancérigènes, x étant la valeur qui réduit le risque au niveau de 10^{-6} lors d'une exposition à vie. En l'absence de données scientifiques suffisantes pour déterminer x, x est supposé être égal à 1.000. Pour les groupes à risque définis : 1/200e des TLV pour les non cancérigènes ou 1/5.000e des TLV pour les cancérigènes.

Les étapes suivantes ont été suivies pour l'évaluation des effets sur la santé :

- Identification des paramètres pertinents ;
- Sur la base des contributions d'immission calculées dans les disciplines air / bruit ;
- Si des concentrations de fond pertinentes sont déjà présentes ;
- Polluants critiques ;
- Définition de l'exposition ;
- Identification des effets pertinents sur la santé ;
- Discussion des conséquences probables et proposition de mesures.

Effets gênants (effets psychosociaux et psychosomatiques) : les résultats d'autres disciplines (air, bruit et vibrations) sont comparés aux données de la littérature :

- Psychosocial : il s'agit des effets possibles tels que l'inconfort, le bien-être ou la perception de l'environnement ;
- Psychosomatique : troubles physiques possibles qui sont déterminés psychologiquement.

Transfert interdisciplinaire de données

Les disciplines suivantes (Tableau 25) ont, compte tenu de la nature du projet, un rapport avec la discipline santé humaine.

Tableau 25 : Liste du transfert de données interdisciplinaires.

Discipline	Pertinent dans le cadre du transfert de données interdisciplinaires
Bruit/vibrations	X
Air	X
Eau	(-)
Réflexe climatique	(-)
Sol et nappe phréatique	(-)
Biodiversité	(-)

Dans la discipline de la santé humaine, le réflexe climatique n'est pas applicable pour ce projet. Le climat est traité dans un chapitre séparé.

Les critères de sélection des expositions aux agents physiques, chimiques et biologiques à caractériser plus en détail sont basés sur le manuel d'orientation et l'expérience des experts. Les paramètres importants sont le dépassement des émissions de fond, la contribution de l'activité considérée ou les plaintes ou préoccupations déjà existantes de la population.

Plan par étapes

En général, la méthodologie de la discipline de la santé humaine peut être résumée selon le plan par étapes suivant, tiré du guide de la santé humaine (Figure 23) :

PHASE A. Inventaire (préphase) :

- **Étape 1. Description de l'occupation du terrain et de la population concernée**
Cette étape est incluse dans la rubrique : Description de la situation actuelle. On y décrit de manière générale l'occupation du terrain à proximité du projet afin de pouvoir évaluer les impacts possibles. Dans les autres parties de cette étude, une grande attention a également été accordée à la description de l'occupation du terrain. L'objectif de cette étape est de pouvoir réaliser sur une base semi-quantitative une estimation de l'occupation du terrain de la population concernée. La délimitation de la zone d'étude est initialement tirée de la délimitation faite dans le cadre de la discipline du bruit et de l'air. La description est donnée pour toute la zone d'influence des facteurs de stress calculés ou estimés.
- **Étape 2. Identification des facteurs de stress environnementaux pertinents potentiels**
Cette étape est principalement basée, comme déjà décrit ci-dessus, sur le transfert de données interdisciplinaires, dans ce cas principalement des disciplines de l'air et du bruit et des vibrations. Cet aspect est élaboré après la description de la situation actuelle.

Au cours de cette phase, l'expert en santé a consulté étroitement les experts en air et en bruit en ce qui concerne la modélisation des personnes potentiellement exposées. Le but est d'avoir une idée de la gravité de l'exposition possible.

PHASE B. Évaluation des incidences environnementales (phase EIE) :

- Étape 3. Inventaire des données sur les facteurs de stress ;
- Étape 4. Évaluation de l'impact sur la santé ;

PHASE C. Évaluation de l'EIE (post-phase) :

- Étape 5. Post-évaluation.

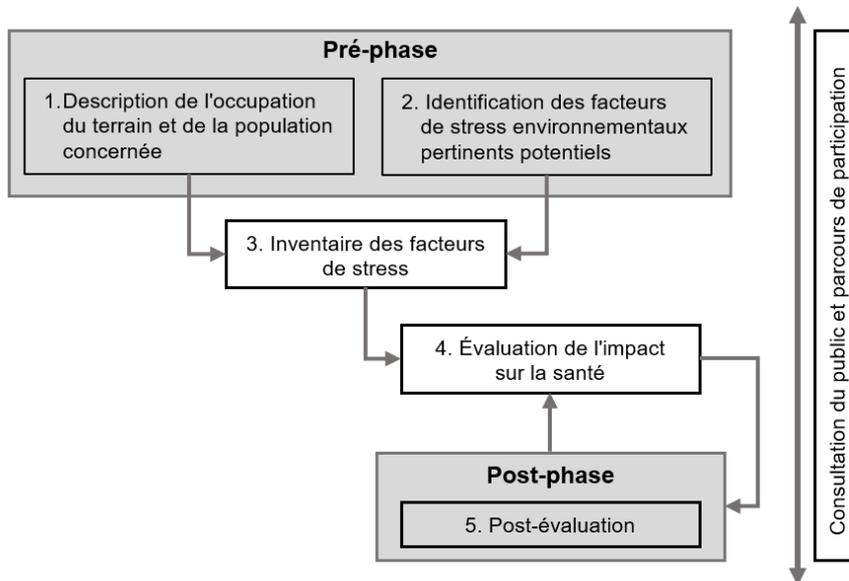


Figure 23 : Méthodologie du plan par étapes (source : richtlijnboek mens – gezondheid, 2017).

2.2.6.5 Évaluation de la situation prévue

Identification des facteurs de stress environnementaux pertinents potentiels

De manière générale, le Projet peut entraîner une exposition potentielle à trois catégories différentes de facteurs de stress : **chimique**, **physique** et/ou **biologique**. En outre, nous discutons également de la perception et des effets potentiels sur la santé d'une panne de courant ainsi que de la diffusion des nuisances. Ce n'est pas la norme dans un rapport classique sur les incidences environnementales, mais c'est certainement approprié étant donné la nature du projet.

Sur la base de la discipline de l'air, les polluants suivants sont inclus pour l'évaluation de la santé : NO_x

Dans Tableau 26, un aperçu des facteurs de stress environnementaux potentiels pertinents est donné. La raison pour laquelle le paramètre est sélectionné ou non est également incluse. Les facteurs de stress biologiques ne sont pas pertinents pour ce projet.

Tableau 26 : Facteurs de stress chimiques, physiques et autres pertinents.

Projet		
Facteurs de stress chimiques		
Facteurs de stress de la liste spécifique au secteur		
NO ₂	Via les émissions et la concentration de fond	Inclus
PM _{2,5} & PM ₁₀	Via les émissions et la concentration de fond	Non inclus
Facteurs de stress physiques		
Bruit	Bruit produit par la circulation et le projet.	Non inclus car il n'y a pas d'impact pertinent du projet. Est abordé vu le bruit de fond.
Vibrations	Vibrations produites par les véhicules.	Pas de transfert.
Facteurs de stress biologiques		
	Légionelle	Abordé de manière qualitative.
Autres		
Perception	Secteur nucléaire	Inclus
Black-out ou panne de courant	Pas d'énergie	Inclus
Politique		
Facteurs de stress		
Nox	Absence de ce polluant clé dans l'énergie nucléaire	Abordé
Nuisances diffusées : bruit et autres	Nuisances diffusées	Abordé

Évaluation des impacts du projet

(1) Effets environnementaux des facteurs de stress chimiques ou physiques du site de production Doel (Doel 1 et 2) dans le cadre de la santé humaine. Il n'y a pas d'effets sur la santé à prévoir suite aux facteurs de stress chimiques ou physiques du site de production de Doel (Doel 1 et 2).

(2) Effets environnementaux des facteurs de stress biologiques.

La Legionella est une bactérie encapsulée, faiblement Gram négatif, aérobic, non sporulante, qui ne peut être cultivée que sur des milieux sélectifs spéciaux (à base de cystéine). La famille des Legionellaceae est subdivisée en plus de 48 espèces. L'espèce *L. pneumophila* est subdivisée en 15 sérogroupes (1-15). Les autres espèces ensemble sont également appelées non-pneumophila. En Belgique, plus de 90 % des pneumonies à Legionella sont causées par la Legionella pneumophila. Au sein de cette espèce, le séro groupe 1 est l'agent pathogène le plus fréquent (>80 %). Le séro groupe 1 de Legionella pneumophila peut être subdivisé davantage sur la base du génotypage.

La légionelle est une bactérie présente dans les systèmes d'eau. Dans de bonnes conditions de croissance, les bactéries peuvent se multiplier. 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. 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.

La pneumonie à *Legionella* ne peut pas être cliniquement distinguée de la pneumonie causée par d'autres agents. Le diagnostic ne peut être confirmé que par un examen microbiologique. La maladie s'accompagne souvent d'une toux non productive et de douleurs thoraciques. Dans 60 % des cas, il y a également des troubles neuropsychologiques (maux de tête, léthargie, confusion), 25 % sont accompagnés de diarrhée, 20 % de nausées et/ou de vomissements. Des cas de pleurésie et d'hyponatrémie sont décrits avec *Legionella*. Une pneumonie à *Legionella* entraîne relativement souvent une hospitalisation et un séjour aux soins intensifs. Le pronostic dépend de facteurs liés à l'hôte et de la rapidité de mise en place d'une thérapie antibiotique appropriée.

Les tours de refroidissement à recirculation ouvertes de Doel 3 et 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 infection à *Legionella* n'est jamais survenue suite au fonctionnement des tours de refroidissement de la CNDdoel. 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. Avec un contrôle approprié et le respect du cadre légal, il ne faut pas s'attendre à des effets sur la santé en ce qui concerne la *Legionella*.

(3) Aspects psychosomatiques et psychosociaux

Il est difficile de se prononcer sur les plaintes psychosomatiques et psychosociales résultant de l'exploitation de la centrale nucléaire de Doel et du secteur nucléaire en général, car il n'existe pas de recherche psychologique dédiée. En ce qui concerne le secteur nucléaire, nous nous appuyons sur le baromètre SCK-CEN (2018) et d'autres études.

Avant l'accident nucléaire de Fukushima, l'EUROBAROMÈTRE 324 (données représentatives de la population belge) en 2009 montre que « La prolongation de la durée de vie des centrales nucléaires est possible si les centrales répondent aux conditions nationales et internationales en matière de sûreté » est un argument décisif pour la population belge afin de souscrire à la prolongation de la durée de vie (54 %). Les implications de la décision de prolongation de la durée de vie concernant un coût de l'électricité plus compétitif ont été indiquées par 40 % de la population belge comme une raison de soutenir la prolongation en 2009 ; 8 % ont spontanément indiqué leur soutien à une prolongation de la durée de vie. 37 % ont déclaré que si la prolongation de la durée de vie des centrales nucléaires « encourageait le développement de formes d'énergie alternatives », cela compterait comme un argument en faveur d'une prolongation de la durée de vie. En revanche, 30 % de la population belge a indiqué qu'elle était opposée à la prolongation de la durée de vie en cas d'absence de niveaux de sûreté adéquats ; 37 % ont déclaré qu'ils préféreraient la construction de nouvelles centrales plutôt que la prolongation de la durée de vie des centrales existantes. L'argument le plus fort contre une prolongation (40 % de la population belge) est que cette décision entraînera « une réduction des incitations au développement de formes d'énergie alternatives ». 10 % ont spontanément indiqué qu'ils n'étaient pas favorables à une prolongation de la durée de vie.

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. Dans cette étude, 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 2016 et 2026 ; cependant, une majorité (55 %) ne partageait pas cette préoccupation.

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 un tableau mitigé ; il est impossible de déterminer si l'utilisation de l'énergie nucléaire ou l'existence de centrales nucléaires donne lieu à des plaintes psychosomatiques ou psychosociales spécifiques. Toutefois, on peut supposer que ces plaintes, le cas échéant, seraient principalement liées à la production d'électricité nucléaire en général, plutôt qu'au fonctionnement ou au non-fonctionnement des unités de réacteur spécifiques Doel 1 et 2. En ce sens, l'impact du projet peut être considéré comme **neutre**.

Évaluation des effets politiques

(1) Les oxydes d'azote sont un polluant clé en ce qui concerne les effets sur la santé en Europe. Dans la production d'énergie nucléaire, ce facteur de stress chimique est absent, ce qui a un effet positif dans le cadre de l'analyse des risques sanitaires environnementaux. Les émissions d'oxydes d'azote évitées sont d'environ 500 tonnes sur une base annuelle.

Jusqu'à il y a quelques années, on pensait que les effets sur la santé causés par le NO₂ lui-même étaient limités et étaient principalement dus à d'autres substances présentes dans la pollution atmosphérique, à savoir les particules fines et la suie. Ces dernières années, un certain nombre d'études ont été publiées, démontrant que les effets du NO₂ ne changent pratiquement pas après correction par les particules fines. Cependant, on ne sait toujours pas clairement dans quelle mesure les effets constatés sont dus au NO₂ ou sont également liés à d'autres substances qui sont fortement corrélées avec la concentration de NO₂, comme la suie ou les poussières ultrafines. Les propriétés oxydantes du NO₂ peuvent avoir des effets sur les voies respiratoires et les poumons sous la forme d'une réduction de la fonction pulmonaire et d'une diminution de la résistance aux infections du tissu pulmonaire. Cela peut provoquer des problèmes respiratoires (Belanger et al. 2006 ; van Strien et al. 2004) et entraîner des hospitalisations. Ces études ont été menées dans l'air intérieur à des concentrations relativement élevées de NO₂ provenant de sources intérieures. Il a également été démontré que l'exposition au NO₂ peut entraîner une réaction accrue aux allergènes (Barck et al. 2005 ; Pattenden et al. 2006 ; Svartengren et al. 2000 ; Tunnicliffe et al. 1994). L'évaluation du Projet en ce qui concerne les émissions d'azote et les impacts sur la santé est donc **positive**.

(2) L'énergie nucléaire représente la production centralisée, la production décentralisée de l'énergie entraîne également une plus grande diffusion des aspects liés aux nuisances. L'évaluation du Projet dans le contexte d'une production centralisée par rapport à divers endroits où des nuisances et des impacts peuvent se produire est donc **positive**.

(3) Les effets sur la santé d'une panne de courant ou d'un « black-out ». Bien qu'il ne s'agisse pas d'un élément standard de la discipline de la santé, il est probable qu'il y aura un effet dans la discipline de la santé humaine en cas de panne de courant à grande échelle. Les facteurs qui déterminent cet effet comprennent des paramètres directs, comme la durée ou la fréquence, et des paramètres contextuels, comme la température extérieure et l'échelle. La détermination de ces paramètres et leur modélisation ne relèvent pas de cette étude, mais nous déterminerons qualitativement les effets possibles d'un black-out en nous basant sur les données de la littérature et des hypothèses logiques générales. L'évaluation des incidences environnementales, telle qu'elle est appliquée en Flandre, en Belgique et en Europe, se concentre principalement sur les effets non aigus, mais aussi sur les effets de nature plus chronique dus à l'exposition à divers facteurs de stress environnementaux. Dans le cadre de cette étude, c'est déjà un fait important en termes d'évaluation. Des problèmes de sûreté apparaissent également en cas de panne de courant, mais ils ne font pas l'objet de la discipline de 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 panne de courant, basée sur trois événements. Dans deux des trois pannes de courant, le contexte est également un facteur déterminant : les pannes de courant se sont produites pendant une vague de chaleur. Les effets basés sur cette étude comprennent des problèmes respiratoires et probablement une augmentation de la mortalité. Les coupures de courant pendant les vagues de chaleur entraînent des insuffisances rénales. En cas de froid extrême, cela conduit à des causes plus générales de décès et de maladies cardiaques. Compte tenu du contexte en Flandre et en Belgique, nous pouvons qualifier la contribution du Projet aux effets sur la santé suite aux coupures de courant **de neutre à positive**.

Bien que cela ne fasse pas partie de l'objet de l'étude, nous devons affirmer que la stabilité et la fiabilité du réseau sont un facteur important pour déterminer la probabilité d'une panne de courant. Une panne est encore survenue récemment dans le réseau haute tension européen synchronisé (vendredi 8 janvier 2021). Cependant, l'incident a été de courte durée, à savoir une heure, ce qui est trop court pour attribuer des effets possibles sur la santé.

Bien qu'une évaluation des incidences sur l'environnement ne soit pas orientée économiquement dans une première phase, nous indiquons que l'impact économique d'une panne de courant peut être important. Ce point a déjà été abordé dans la section générale (voir § 1.1.1).

2.2.6.6 Mesures d'atténuation

Aucune mesure d'atténuation n'est proposée au niveau du projet. En termes de politique, nous recommandons de tenir compte de la problématique de l'azote liée au passage du nucléaire aux combustibles fossiles et nous sommes confrontés à l'augmentation de la superficie des endroits où des nuisances environnementales peuvent être causées par une production d'énergie décentralisée. En cas de panne d'électricité importante et prolongée, cela aura des effets sur la santé selon le contexte.

2.2.6.7 Lacunes dans les connaissances

En Europe, les publications concernant les effets sur la santé et les coupures de courant sont très limitées ; aux États-Unis, on peut se baser sur trois coupures de courant concernant les effets sur la santé. En outre, il faut préciser qu'il existe une incertitude quant aux effets directs du NOx en dessous du seuil actuel de l'OMS. Il est très difficile d'estimer la probabilité d'un black-out.

2.2.6.8 Sources

- Richtlijnenhandboek MER mens – gezondheid, 2017 ;
- <http://www.geestelijkgezondvlaanderen.be/risi> ;
- www.who.int, Environmental noise guidelines, 2018 ;
- www.who.int, Night noise guidelines, 2009 ;
- Development of the WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: An Introduction, 2018 ;
- Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide ;
- Dominianni, Christine, Lane, Kathryn, Johnson, Sarah, Ito, Kazuhiko, & Matte, Thomas. (2018). Health impacts of citywide and localized power outages in New York City. *Environmental Health Perspectives*, 126(6), 067003 ;
- SCK CEN barometer (2018) ;
- Review of evidence on health aspects of air pollution- revihaap project. Technical report, 2013 ;
- Vlaamse Milieumaatschappij (2020), Jaarrapport Lucht – Effecten van luchtvervuiling op gezondheid en ecosystemen.

2.3 Effets transfrontières

La plupart des effets non radiologiques attribuables au report de la désactivation de Doel 1 et 2 se limitent aux environs immédiats de la centrale nucléaire, sont d'une ampleur limitée et n'entraînent donc pas d'effets transfrontières. Ce n'est que pour le thème de l'eau qu'il peut être question d'effets transfrontières (limités).

Sur la base du suivi (2012^{xii}) de l'influence de la température de l'eau de refroidissement de la CNDoel 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 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.

3 Effets radiologiques

3.1 Concepts de base de la protection contre le rayonnement utilisés dans l'évaluation

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 désintégration radioactive) en une forme plus stable, jusqu'à ce qu'ils deviennent finalement des atomes stables. Le rayonnement émis comporte beaucoup d'énergie et peut, en interaction avec la matière qu'il traverse, ioniser les atomes ; il est donc aussi appelé **rayonnement ionisant**.

Il existe différentes formes de désintégration radioactive, qui émettent également des rayonnements spécifiques. Par exemple, les plus importantes sont les **désintégrations alpha, bêta et gamma**, qui émettent respectivement des rayonnements alpha, bêta et gamma. Une forme moins courante de désintégration est la fission spontanée, par laquelle le noyau se divise en deux produits de fission et libère également un certain nombre de neutrons. Ces neutrons sont également une forme de rayonnement ionisant. Ce processus se déroule également dans un réacteur nucléaire et on parle de fission nucléaire induite. Lors de la désintégration de certains atomes, une combinaison de ces différentes formes de désintégration radioactive peut également se produire, auquel cas une combinaison des différents types de rayonnement est également émise.

Intermède - notation des radionucléides

La notation suivante est utilisée : un noyau atomique ou nucléide bien défini est indiqué par l'élément chimique (ou abréviation) suivi du nombre de masse qui est égal au nombre de particules atomiques (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 noyau de césium avec 137 particules atomiques (nucléons). Comme le césium a toujours 55 protons dans son noyau (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 $^{99\text{m}}\text{Tc}$) 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 également différemment.

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 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 radioactives faibles, par exemple pour tester un détecteur, ont généralement déjà une activité de quelques milliers de becquerels (quelques kBq). Un aperçu de l'activité d'un certain nombre de sources radioactives peut être trouvé dans Tableau 27.

Tableau 27 : Exemples de l'activité de certaines sources radioactives.

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'aérosols radioactifs dans l'air, y compris du Cs-137, site CNDoeI par an - moyenne (2015-2019)	61.5 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 libéré lors de l'accident de Tchernobyl	89 PBq
Cs-137 libéré lors des essais de bombes atomiques en surface	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, des préfixes standard sont utilisés pour représenter des valeurs très grandes et très petites dans les unités standard utilisées.

Préfixe		Base 10	Décimale
Nom	Symbole		
pèta	P	10 ¹⁵	1000000000000000
tera	T	10 ¹²	1000000000000
giga	G	10 ⁹	1000000000
méga	M	10 ⁶	1000000
kilo	k	10 ³	1000
		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

En voici quelques exemples : GBq, PBq, μSv, nSv/h, ...

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 80 252 jours, le tritium de 12 312 ans et le Cs-137 de 30,05 ans.

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 constituée d'une série de radionucléides naturellement présents, dont la plus grande partie est présente depuis la création de la Terre. Ce sont des *radionucléides à 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). Ces radionucléides sont donc présents partout, avec des variations naturelles importantes. D'autres radionucléides naturels sont également produits en permanence par le rayonnement cosmique 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** renvoie aux radionucléides fabriqués par l'homme. Il existe diverses sources de radionucléides artificiels, allant des essais de la bombe atomique au fonctionnement des réacteurs nucléaires et des accélérateurs de particules. 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 à la fois naturellement et artificiellement.

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

- Vous pouvez 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 ;
- Vous pourriez être **contaminé** par des particules radioactives, c'est possible :
 - En externe : seule (une partie de) votre peau est contaminée ;
 - En interne, par exemple par inhalation de particules radioactives, par ingestion d'aliments contaminés ou par des blessures 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).

Si vous êtes contaminé (de façon interne ou externe, ou les deux), vous serez également irradié. Ces différentes voies d'exposition donnent un impact radiologique différent et sont toujours prises en compte dans une analyse d'impact radiologique.

En général, vous ne serez 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 et à la formation de radioactivité par irradiation. Citons à titre d'exemple la formation du tritium radioactif par absorption de neutrons lors de l'interaction avec le deutérium stable.

Le rayonnement alpha (rayonnement α) émis lors de la désintégration alpha est constitué de noyaux He-4, ceux-ci émettent toute leur énergie à courte distance, de sorte qu'ils ne présentent aucun danger ou un danger très limité pour l'irradiation externe, mais peuvent être très dangereux (dommages tissulaires) si vous êtes soumis à une contamination interne.

Le rayonnement bêta (rayonnement β) émis lors de la désintégration bêta est constitué d'électrons ou de positrons et dégage son énergie sur une distance limitée (mètres dans l'air, millimètres dans l'eau ou les tissus) et peut donc constituer un problème de rayonnement externe, ainsi qu'un problème de contamination externe ou interne. Comme 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) émis lors de la désintégration gamma, souvent aussi après la désintégration alpha et la désintégration bêta, 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. Ces termes sont souvent utilisés de manière interchangeable, mais il est important de les distinguer.

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. À cette dose, la personne présentera donc des symptômes d'irradiation, que nous appelons effets déterministes (nouveau terme anglais : « tissue reactions »). La dose absorbée est donc utilisée pour décrire ces effets déterministes. Ces effets se produisent à partir d'une certaine dose seuil, par exemple la dose mortelle (4 à 5 Gy) et le rougissement de la peau. La dose absorbée peut également être utilisée pour une partie spécifique du corps (tissu ou organe spécifique), ce qui est alors souvent indiqué par D_T (avec T du terme anglais « tissue »), mais peut également être utilisée pour l'irradiation d'objets, de plantes et d'animaux. Nous voulons éviter à tout moment les effets déterministes.

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 le terme anglais « Radiation ») qui décrit l'effet biologique du type de rayonnement : $w_R = 20$ pour le rayonnement alpha, $w_R = 1$ pour les rayonnements bêta et gamma et w_R pour les neutrons en fonction de leur énergie^{xiii}. 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'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. Les facteurs de pondération sont utilisés pour déterminer le risque d'effets stochastiques, et donc 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 sont souvent définies comme dose efficace (voir ci-dessous).

Les effets déterministes (réactions tissulaires) ne se produisent que lorsqu'une certaine dose seuil est dépassée. En dessous de la 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 dose seuil (approche Linear non-threshold ou LNT). Dans l'évaluation des incidences radiologiques sur l'environnement telle qu'elle est réalisée ici pour le fonctionnement normal de centrales nucléaires telles que Doel 1 et 2, et même dans un nombre important de scénarios d'accident possibles, nous nous trouvons dans ce domaine de doses efficaces (souvent très loin) en dessous de 100 mSv, où des effets des rayonnements n'ont jamais été constatés de manière épidémiologique.

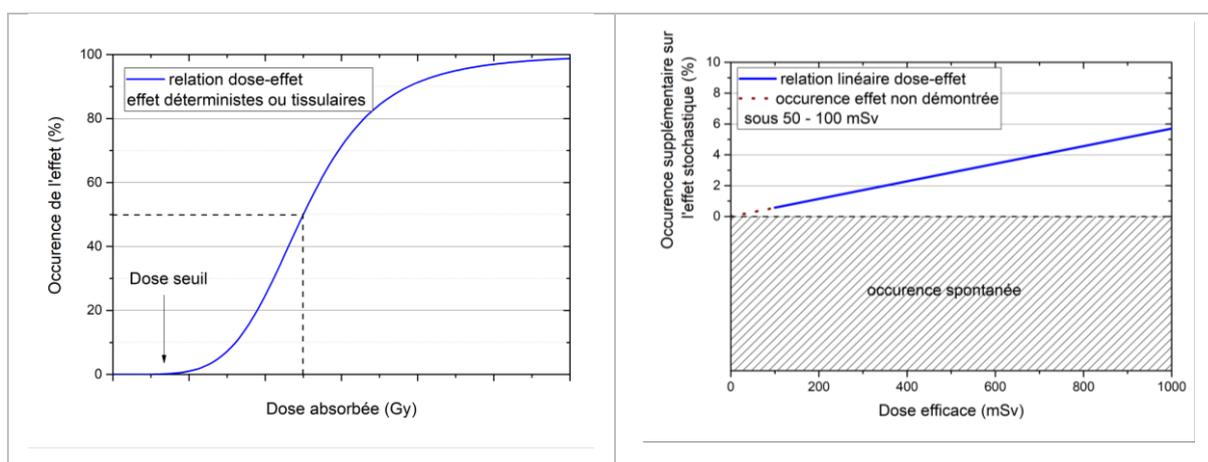


Figure 24 : Relation dose-réponse pour les effets déterministes (à gauche) et pour les effets stochastiques (à droite). Les effets déterministes se produisent à partir d'une dose seuil. Par la suite, l'occurrence augmente rapidement jusqu'à ce qu'elle se produise chez tout le monde. L'occurrence d'effets 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 présenté 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.

La dose efficace permet de comparer différentes expositions et donc leur risque. Dans le Tableau 28, la dose efficace est donnée pour un Belge moyen par an (pour 2015), où la contribution de différentes formes d'exposition est indiquée.

Tableau 28. Contribution à la dose pour un belge moyen en 2015^{xiv}.

Contribution à la dose par habitant en 2015	mSv/an
Cosmos (rayonnement cosmique, radionucléides cosmogènes, vols, 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
------------------------	-------------

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 mesures ambiantes 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 temporelle, 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 ; on utilise souvent le terme « débit de dose » pour désigner cet aspect).

En **radioprotection** (ICRP103^{xv}), 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 1 et 2 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 rejets 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 ;
- La limitation des doses ;

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.

La limitation de dose - les limites de dose sont définies pour les expositions prévues et sont établies dans le cadre de l'AR, les plus récentes se trouvant dans l'AR du 19 août 2020^{xvi} et figurant dans le Tableau 29. 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).

Tableau 29: Limites de dose^{xvii}.

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 dose efficace de 1 mSv/an pour le public, ainsi que les autres limites de dose, doivent être comprises comme la dose supplémentaire 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 ne reçoit que 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.

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**^{xviii}. 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 la CNDoeil, appartiennent à la **Classe 1** et doivent donc se conformer à toutes les réglementations concernant les installations de Classe 1. Les autres Classes ne sont pas abordées ici.

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. On suppose que l'énergie absorbée est uniformément répartie dans l'organisme. Le débit de dose absorbée est l'énergie absorbée par unité temporelle, pour la faune et la flore généralement exprimée en microgray par heure ($\mu\text{Gy h}^{-1}$). Afin de prendre en compte les différents impacts biologiques associés aux diverses formes de rayonnement (gamma, bêta, alpha), un facteur de pondération est souvent introduit pour la dose absorbée.

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 si ces grandeurs sont comparables aux flux et aux concentrations qui se présentent naturellement dans l'environnement et 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, le débit de dose efficace, exprimé en microgray par heure ($\mu\text{Gy h}^{-1}$). Les concentrations de radionucléides dans l'environnement sont converties en débit de dose efficace, une grandeur exprimant le risque environnemental lié aux rayonnements ionisants, que l'on multiplie par un facteur de pondération qui tient compte des différentes formes de rayonnement et des voies d'exposition possibles des espèces considérées.

3.2 Concepts de base des déchets radioactifs et de la gestion

3.2.1 Origine des déchets radioactifs

Les déchets radioactifs proviennent principalement de l'exploitation des réacteurs nucléaires :

- L'exploitation de centrales nucléaires utilisées pour la production d'électricité ou de réacteurs de recherche ;
- La production de combustible nucléaire et son retraitement ;
- Le démantèlement des installations nucléaires.

Certains pays considèrent le combustible nucléaire utilisé comme une matière première réutilisable et le traitent comme tel (car il peut être recyclé après traitement), tandis que d'autres le considèrent comme un déchet radioactif. En outre, les déchets radioactifs proviennent de l'utilisation de radio-isotopes en médecine, dans la recherche scientifique et dans l'industrie, principalement sous la forme de sources radioactives scellées désaffectées. Enfin, les résidus des industries utilisant ou traitant des matières radioactives naturelles (NORM) doivent également être gérés comme des déchets radioactifs.

Les déchets radioactifs sont également produits par les activités de démantèlement, telles que le démantèlement des réacteurs de recherche BR3 sur le site du SCK CEN et de Thetis (Gand), le démantèlement de l'ancienne usine de retraitement Eurochemic sur le site de Belgoprocess, le démantèlement de la FBFC et de Belgonucléaire.

3.2.2 Classification

Selon la loi du 3 juin 2014^{xix} qui transpose la directive européenne 2011/70/Euratom^{xx}, les déchets radioactifs sont définis comme suit :

« **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, le stockage et la manipulation des déchets sont effectués de manière à protéger l'environnement et la santé humaine et sont conformes aux exigences légales.

Critères de classification des déchets

Le principal critère de classification des déchets est leur sûreté à long terme. Les déchets radioactifs sont généralement classés en fonction de la quantité (activité) et du type de rayonnement et de la durée pendant laquelle la substance reste radioactive (demi-vie).

Sur la base de ces propriétés, les déchets peuvent être classés selon le degré de confinement et d'isolation 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 sécurité.

Les déchets radioactifs sont décrits comme étant de faible activité, de moyenne activité ou de haute activité, selon le degré de rayonnement qu'ils émettent. Les déchets radioactifs peuvent également être considérés comme des déchets de courte durée de vie ou de longue durée de vie, selon la durée de leur radioactivité.

Classification des déchets en Belgique

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 à 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 à 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. Lorsqu'un réacteur est démantelé, certaines parties du réacteur sont également classées comme 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.

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

Les déchets de faible et moyenne activité (catégories A et B) représentent plus de 95 % du volume total, mais moins de 10 % de la radioactivité de l'ensemble des déchets radioactifs.

3.2.3 Gestion des déchets radioactifs

Objectif

L'objectif primordial de la gestion des déchets radioactifs est la protection de l'homme et de l'environnement,

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* 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. L'objectif de Synatom, après une expansion en 2003, est de gérer les activités liées au cycle du combustible nucléaire ainsi que les provisions 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^{xxi}. En tant qu'organisation nationale de gestion des déchets, elle est responsable^{xxii} de la gestion sûre des déchets radioactifs (quelles que soient leur origine et leur provenance) à court et à long termes. Belgoprocess sa est une filiale de l'ONDRAF qui exploite une série de bâtiments de stockage pour les déchets radioactifs et qui assure également le traitement et le stockage de déchets radioactifs pour les producteurs qui le demandent.

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^{xxiii}. 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^{xxiv}.

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.

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.

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, à la fois la réduction du volume et 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 et d'élimination définitive.

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^{xxv} :

- 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, pressés sous très haute pression (2.000 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 ».

Stockage temporaire

Les installations de stockage sont conçues pour recevoir les colis de déchets dans une installation nucléaire appropriée, avec la possibilité de les retirer de cette installation. Comme le stockage 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 au stockage *temporaire* des déchets radioactifs, notamment :

- Pour permettre la désintégration des radionucléides à 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 stockage 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 quantités suivantes de déchets radioactifs sont actuellement en stockage temporaire chez Belgoprocess^{xxvi}:

- 440 m³ de déchets conditionnés de haute activité ;
- 3.895 m³ de déchets conditionnés de moyenne activité ;
- 19.460 m³ de déchets conditionnés de faible activité.

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 stockés. Les déchets de haute activité sont principalement constitués de

déchets vitrifiés transportés en Belgique après retraitement en France des éléments combustibles usés des centrales nucléaires belges.

La plupart des éléments combustibles usés sont temporairement stockés sur les sites des centrales nucléaires de Doel et Tihange. À Doel, le stockage est de type sec. Les éléments combustibles usés sont placés dans des fûts « dual purpose » (transport et stockage), qui sont stockés dans un bâtiment spécial sur le site de Doel (voir § 3.4.4.3). Le stockage à Tihange est de type humide. Les éléments combustibles sont stockés dans des réservoirs spécialement conçus à cet effet sur le site de Tihange.

Stockage

En septembre 2020, l'ONDRAF a fourni un projet d'arrêté royal établissant le premier volet des mesures de la politique nationale en matière de gestion à long terme des déchets hautement radioactifs et/ou à longue durée de vie, et clarifiant pas à pas le processus pour la détermination des autres parties de ces mesures de la politique nationale, à ses ministres de tutelle ^{xxvii}. En résumé, cette proposition se résume à ce qui suit:

1. Le stockage géologique sur le territoire belge en un ou plusieurs sites est conceptuellement le choix scientifique, technologique et social recommandé comme destination finale pour ces catégories de déchets. Le stockage géologique doit être considéré 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 que ces déchets présentent. Le choix du stockage géologique est conforme aux normes et recommandations internationales, à la directive 2011/70/Euratom, au consensus scientifique mondial et aux recommandations de l'AFCN.
2. Les parties suivantes des mesures de la politique nationale sont préparées, développées et, le cas échéant, adaptées dans le contexte d'un processus décisionnel progressif, participatif, gradué et réversible conçu pour préparer les décisions futures; ces parties comprennent au moins le processus décisionnel, les modalités de réversibilité, de récupérabilité et de suivi pour une période à déterminer et le ou les lieux où le stockage géologique est réalisé.
3. Afin d'évaluer les variantes, les alternatives et l'optimisation du stockage géologique, il y aura d'une part, un suivi continu des développements scientifiques, techniques, financiers et sociaux aux niveaux international et national et, d'autre part, une évaluation de la possibilité de développer une installation de stockage commune en Belgique ou dans un autre pays.

Les dispositions du présent décret s'appliquent aux déchets hautement radioactifs et aux déchets de faible et moyenne activité à longue durée de vie, y compris le combustible nucléaire usé classé comme déchet, les déchets résultant du retraitement du combustible nucléaire usé, le combustible nucléaire excédentaire classé comme déchet, les autres déchets qui ne peuvent pas être stockés dans une installation en surface et, si aucune mesure politique particulière ne s'applique, la fraction la plus radioactive des déchets contenant du radium qui n'a pas encore été acceptée par l'ONDRAF et qui provient des activités de production historique de radium.

Cette proposition de mesures de la politique nationale a fait l'objet de la procédure d'évaluation des incidences sur l'environnement (EES) et d'une consultation institutionnelle et publique conformément à la loi du 13 février 2006 relative à l'évaluation des effets sur l'environnement de certains plans et programmes et de la participation du public à l'élaboration de plans et programmes liés à l'environnement.

Ce projet d'arrêté royal est actuellement examinée par les autorités de tutelle.

Au niveau mondial, des sites de stockage géologique dans des formations géologiques stables sont en cours de développement et 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 (par exemple, les pays scandinaves), le sel (par exemple, Allemagne, Pays-Bas et États-Unis) et l'argile (par exemple, France, Suisse, Canada et Pays-Bas).

Aujourd'hui, les assemblages de combustible usé sont stockés sur les sites des centrales nucléaires (Tihange et Doel). À Doel, cela se fait au moyen de conteneurs TN24 secs (conteneurs Transnucléaire pour le stockage temporaire et

le transport). Pour l'instant, Synatom, l'actuel propriétaire du combustible nucléaire, n'a pas encore pris de décision sur l'éventuel recyclage des matières premières pouvant être issues des combustibles usés.

En résumé, nous pouvons conclure ce qui suit concernant la gestion à long terme des déchets de haute activité et / ou à longue durée de vie:

- La gestion à long terme de ces déchets est une compétence exclusive de l'ONDRAF ;
- L'ONDRAF a avancé (plan déchets en 2011 ; proposition de projet d'arrêté royal de 2018) le stockage géologique comme solution recommandée pour la destination finale de ces déchets.
- L'ONDRAF propose également que le processus décisionnel qui guidera le développement de cette solution permette la réversibilité des décisions prises
- Le statut des assemblages de combustible usé (matière ou déchet) n'est actuellement pas fixé

Cependant, contrairement à la situation pour les déchets de catégorie A, aucune décision politique définitive n'a encore été prise quant à la gestion à long terme des déchets de haute activité et/ou à longue durée de vie.

3.3 Méthodologie

Ce chapitre traite de la méthodologie utilisée pour déterminer l'impact d'éventuels effets radiologiques pendant le fonctionnement normal, y compris la production de déchets radioactifs et de combustible usé, et dans des situations accidentelles, dans la situation actuelle, pendant la mise en œuvre du Projet (report de la désactivation de Doel 1 et 2) et dans le cas où le Projet ne serait pas mis en œuvre (désactivation de Doel 1 et 2).

Le cadre juridique de référence pour les installations nucléaires en Belgique est composé sur la base de différentes couches :

- 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, *MB* 21 décembre 2011 ;
- 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, tel que modifié par l'AR du 19 août 2020 ;
- Arrêté royal du 30 novembre 2011 portant prescriptions de sûreté des installations nucléaires.

Afin d'évaluer l'impact du projet, ce cadre est complété par les directives suivantes de l'autorité de contrôle :

- Directive AFCN 2012-11-19-KO-5-4-1-FR du 29 mars 2013 pour les rejets ayant des conséquences radiologiques durant l'exploitation normale ;
- Directive Bel V R-SG-17-001-0-e-0 de juin 2017 pour l'application de méthodes prudentes et moins prudentes pour la détermination des conséquences radiologiques après un accident ;
- Directive AFCN 2013-05-15-NH-5-4-3 d'avril 2017 pour l'approche générale de la démonstration de la sûreté.

Comme le prévoient les directives de l'AFCN pour les nouvelles installations de classe I, les effets radiologiques dans des conditions de fonctionnement non normales sont évalués sur la base de scénarios d'accident. Il s'agit d'événements extrêmes hypothétiques qui entraînent un rejet non prévu de radioactivité dans l'environnement.

Les évaluations sont en outre effectuées sur la base des éléments suivants :

- Un certain nombre de documents non contraignants mais faisant autorité de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).
- Des recommandations de l'Association des responsables des Autorités de sûreté nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest.

La méthodologie d'évaluation des effets radiologiques pour la population et l'environnement est basée sur des estimations prudentes des rejets de substances radioactives dans l'environnement et des habitudes de vie de la population.

Cette évaluation permet également d'identifier les mesures d'atténuation possibles.

3.3.1 Rejets de routine

Durant le fonctionnement normal de la CNDDoel, 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 de procédés prévus par exemple dans les centrales nucléaires pour assurer le dégazage de l'eau de refroidissement primaire. Ceux-ci peuvent d'abord être collectés dans des réservoirs de stockage où les radionucléides à courte durée de vie se désintègrent et leur activité est ainsi fortement réduite avant d'être 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 traitement, par exemple ceux utilisés pour traiter l'eau de refroidissement primaire dans les 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 du permis d'exploitation de la CNDDoel. La Figure 25 illustre les étapes à suivre.

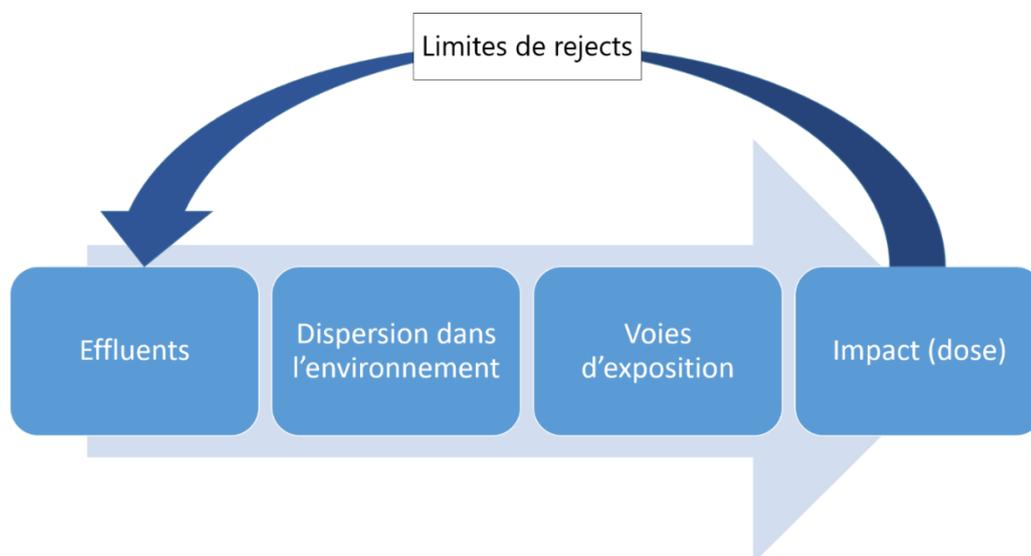


Figure 25 : Étapes de la méthodologie pour les rejets d'impact radiologique en fonctionnement normal.

Dans tous les cas, les limites de rejet autorisées 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, dont font partie Doel 1 et 2, indépendamment de l'exposition naturelle (rayonnement cosmique, radon, etc.) ou médicale (radiographies,

scanners, etc.). En outre, compte tenu du principe d'optimisation utilisé en radioprotection, les limites de rejet doivent être fixées au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, en tenant compte des facteurs techniques, économiques et sociétaux.

L'exposition des membres de la population varie fortement en fonction de leurs habitudes de vie et le fait est que les limites de rejet autorisées doivent être suffisamment basses, et ce pour les populations locales les plus exposées.

L'impact radiologique des limites de rejet autorisées pour l'ensemble de la CNDoeI (4 unités) pour les rejets gazeux et liquides est donné dans le Tableau 30^{xxviii} ci-dessous. Il s'agit de la dose efficace par an pour la personne la plus exposée. Comme ces calculs sont effectués pour différentes tranches d'âge (voir plus loin) et que la personne la plus exposée pour les rejets gazeux et les rejets liquides appartient à une autre tranche d'âge, le total n'est pas la somme mais la valeur pour la personne la plus exposée pour le type combiné de rejets.

Tableau 30 : Dose efficace par an pour la personne la plus exposée suite aux rejets gazeux, liquides et au total de rejets correspondant aux limites de rejet pour l'ensemble de la CNDoeI.

	Rejets gazeux	Rejets liquides	Total
CNDoeI (4 unités)	180 µSv/an	230 µSv/an	370 µSv/an

3.3.1.1 Rejets dans l'atmosphère

Comme décrit ci-dessus, des quantités limitées de composés radioactifs volatils peuvent être libérées dans l'atmosphère pendant l'exploitation normale d'une centrale nucléaire. En général, comme pour la CNDoeI, ces composés radioactifs volatils sont subdivisés en certains groupes selon leurs propriétés chimiques et physiques :

- Gaz rares
 - Dont les principaux sont 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 par absorption de neutrons par l'argon-40 (Ar-40) stable ;
- 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 contrôlés en permanence et il est vérifié si les limites de rejets ne sont pas dépassées (voir § 3.4.1). Une exception est le rejet de carbone 14 (C-14), qui est difficile à mesurer et est donc déterminé sur la base de la puissance du réacteur. Des études internationales détaillées ont été réalisées à cet égard et donnent une plage de valeurs possibles pour les PWR en fonction de la puissance électrique ou thermique installée^{xxix, xxx}. En outre, les rejets de C-14 ont été mesurés à la CNTihange (Tihange 2 et 3) et on suppose un rejet annuel typique de C-14 de 5 Ci (= 1,85 10¹¹ Bq) par GW (gigawatt) de puissance électrique installée. Pour l'ensemble de Doel avec 3 GW de puissance électrique installée, cela correspond à 15 Ci (= 5,55 10¹¹ Bq = 555 GBq).

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

- Pour les *rejets potentiels* dus au Projet, ces rejets peuvent être comparés aux limites de rejet présupposées et définies sur la base de calculs de l'impact sur l'homme et l'environnement ; les limites de rejet sont fixées de telle manière que pour les rejets de l'ensemble du site de la CNDoeI, la limite de 1 mSv/an ne sera certainement pas dépassée et sera maintenue aussi basse que raisonnablement possible. La surveillance des rejets et le respect des limites de rejet sont donc une garantie que l'impact restera limité ;
- Des calculs d'impact radiologique spécifiques peuvent alors être effectués pour les *rejets réels*, et ceux-ci peuvent être complétés par des mesures dans l'environnement qui quantifient les traces éventuelles de ces rejets. Un impact basé sur les résultats des mesures est alors possible.

Pour calculer l'impact des rejets dans l'atmosphère, des modèles de dispersion atmosphérique sont utilisés 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. La radioactivité est emportée par le vent et la concentration se diluera fortement avec la distance. La Figure 26 illustre la fréquence relative de l'occurrence d'une direction de vent donnée pour la CNDoeI sur la base de données horaires sur une période de trois ans (du 1er juin 2017 au 1er juin 2020, 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 la CNDoeI, la direction dominante du vent est le sud-ouest, donc l'impact attendu est plus important dans la direction nord-est par rapport à la CNDoeI. Ces informations sont également utilisées, par exemple, pour mettre en place un programme de suivi autour de la CNDoeI, 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 la moins dominante (voir § 3.4.2).

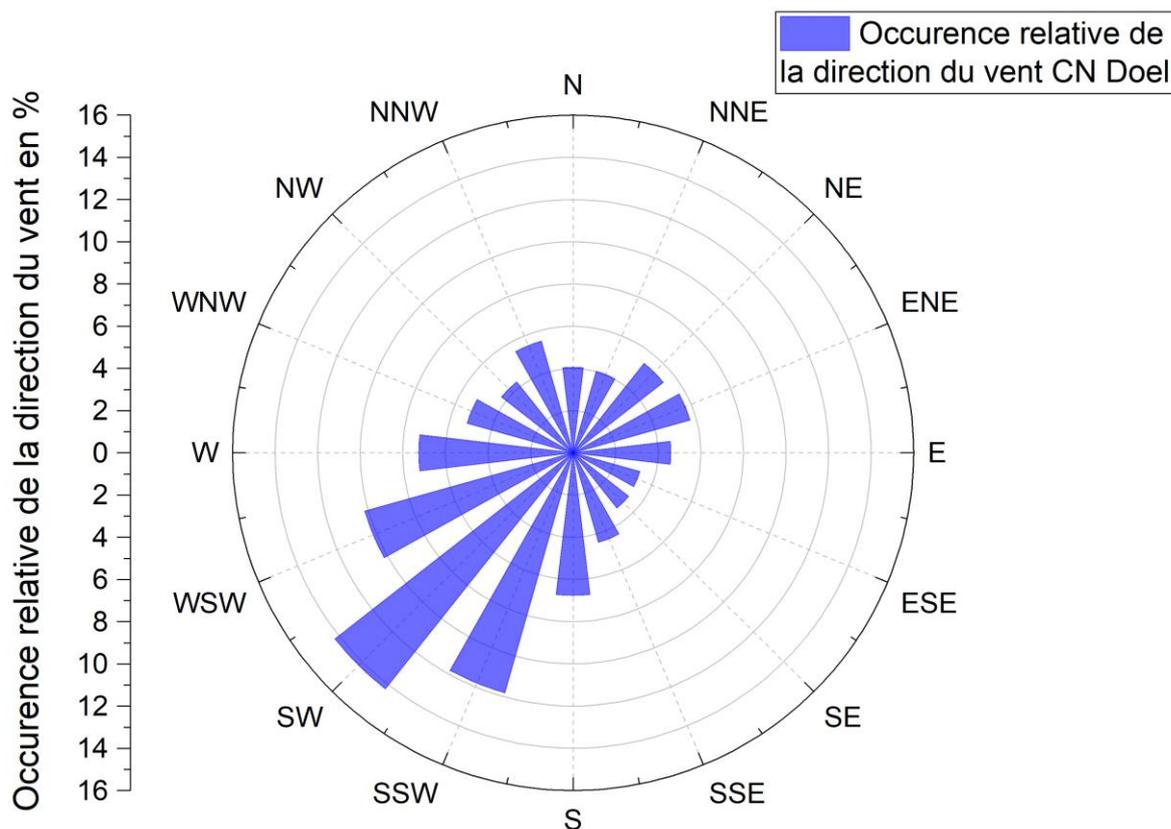


Figure 26 : Occurrence relative de la direction du vent à hauteur de la CNDoel sur la base de données horaires sur une période de trois ans, du 1er juin 2017 au 1er juin 2020 (source IRM - CEPMMT³³).

En plus de 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 « washout ». Ces paramètres dépendent des propriétés physiques et chimiques des substances radioactives rejetées ; par exemple, les gaz nobles ne se déposeront pas et l'iode élémentaire peut se déposer différemment des aérosols. Des calculs sont donc effectués spécifiquement pour les différents groupes de radionucléides.

Le résultat de ces calculs de dispersion atmosphérique est une moyenne des concentrations et des vitesses de dépôt qui est ensuite utilisée comme point de départ pour calculer l'impact radiologique sur l'homme (dose efficace) et l'environnement. On trouvera un exemple du résultat de ces calculs à la Figure 27 et à la Figure 28 ci-dessous, en particulier pour les rejets continus pour la concentration moyenne d'aérosols, de tritium et d'iode en Bq/m³ dans l'air au cours de l'année et le dépôt par an (Bq/m²), et ce pour un terme source unitaire de 1 TBq/an. Il s'agit d'un

³³ 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).

terme source hypothétique, les résultats peuvent ensuite être mis à l'échelle avec le terme source réel rejeté. Des calculs peuvent également être effectués pour les rejets de courte durée, comme une heure, un jour, etc.

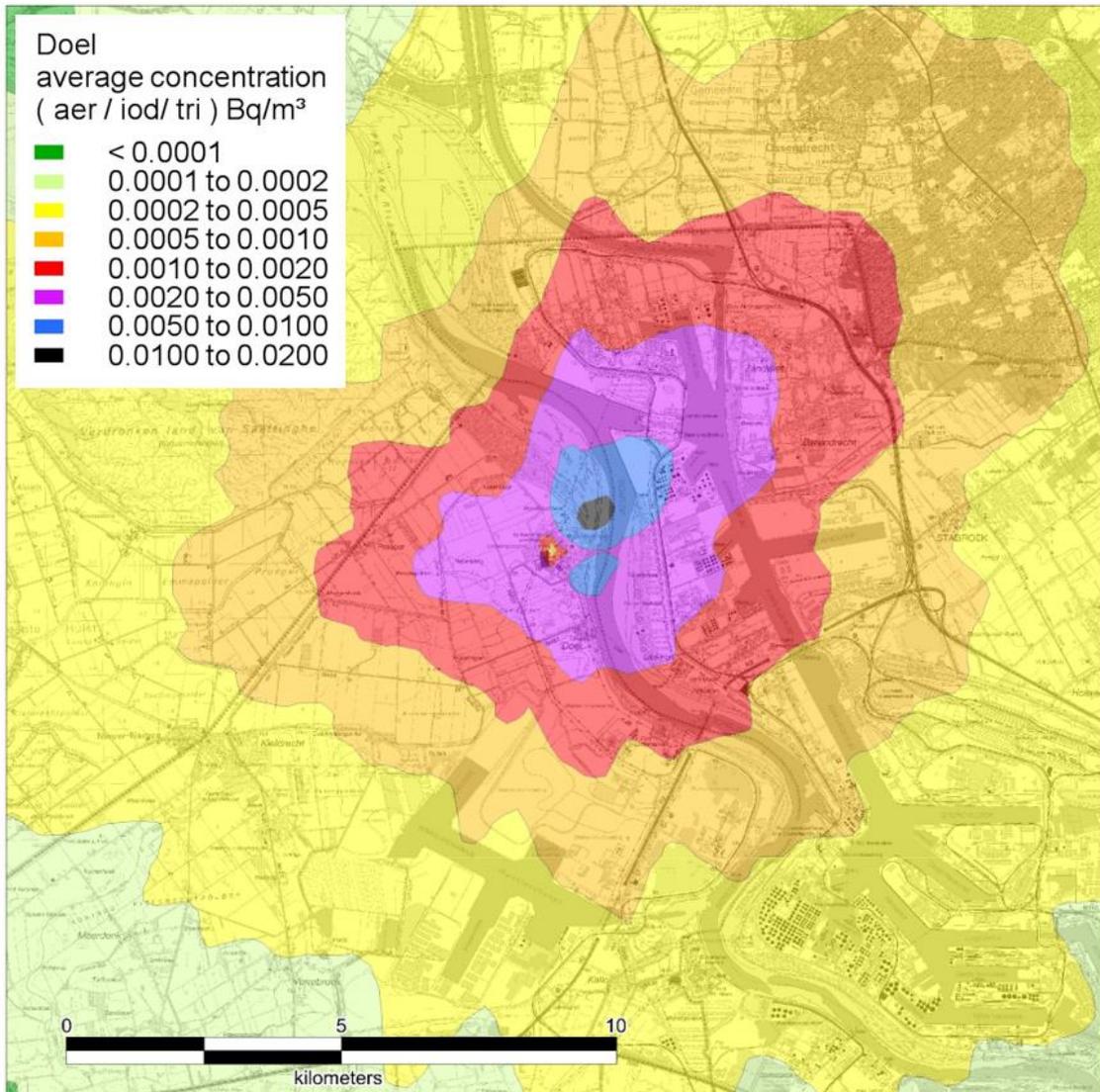


Figure 27 : Concentration moyenne en Bq/m³ près du niveau du sol à un rejet constant (CND_{Doel}) de 1 TBq/an.

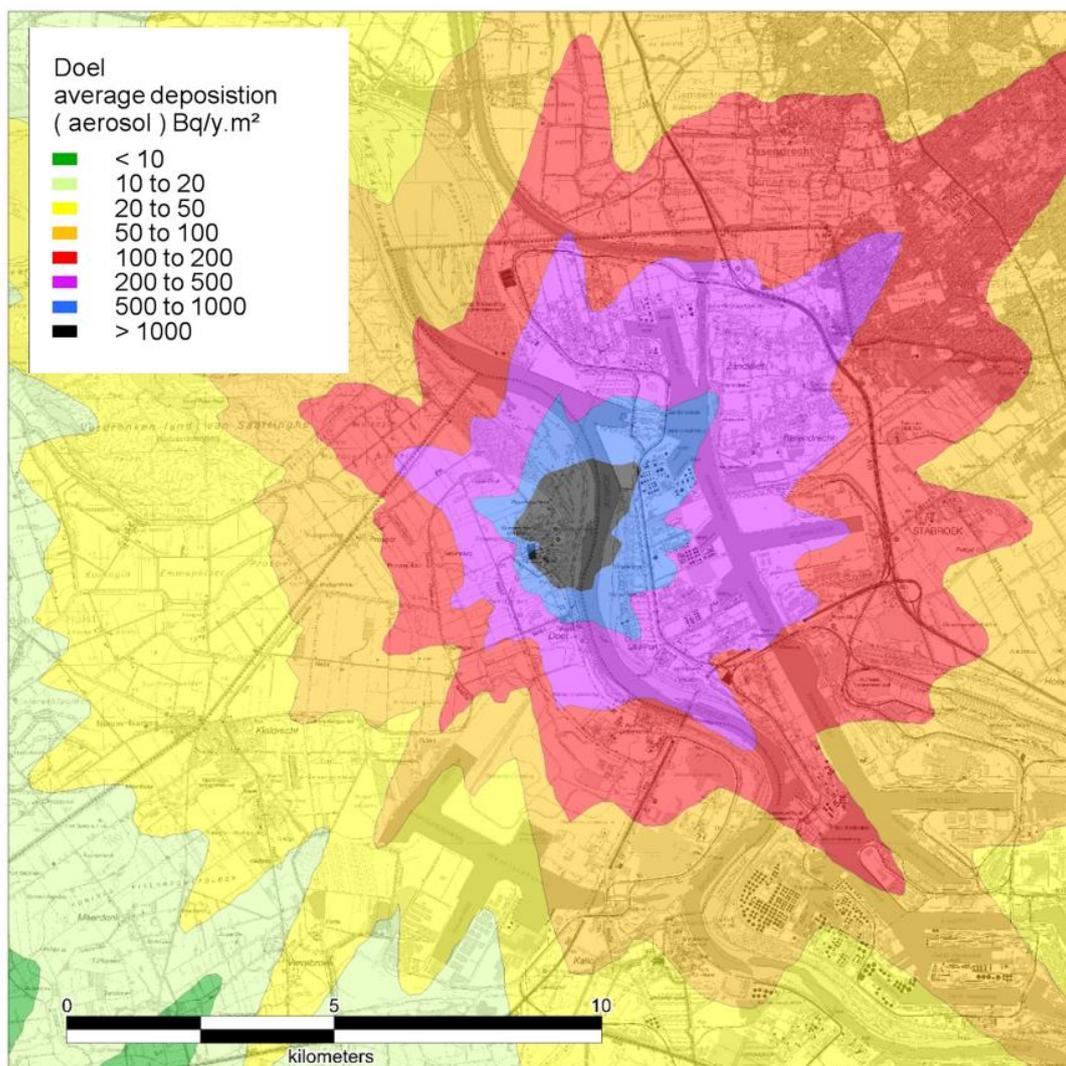


Figure 28 : Dépôt total d'aérosols en Bq/m² (sans tenir compte de la désintégration) à un rejet constant (CND) de 1 TBq/an.

3.3.1.2 Rejets liquides

Un modèle de rivière simple qui prend en compte la dilution des volumes rejetés est utilisé pour calculer les concentrations des radionucléides rejetés dans les eaux de l'Escaut. L'Escaut est un fleuve à marée. À Doel, les flux de marée sont très élevés, en moyenne 5000 m³/s, avec un débit de rejet à 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 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).

3.3.1.3 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 ceux concernant la personne la plus exposée. Les calculs sont effectués pour six catégories d'âge : bébés, 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, des paramètres spécifiques sont pris en compte dans les calculs, tels que le volume inhalé par unité de temps, le régime alimentaire, et des coefficients de dose spécifiques sont utilisés 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. Les personnes les plus exposées se trouvent en permanence à l'endroit présentant la charge de dose maximale. Les produits agricoles (cultures, lait et viande) sont cultivés sur le site présentant le dépôt maximal, où 10 % du régime alimentaire des personnes exposées est constitué de ces produits. C'est conforme à la directive pour le calcul des conséquences radiologiques pour les installations nucléaires de classe I.

Le Tableau 31 indique les limites de rejet pour les unités Doel 1 et 2 et pour la CNDoel dans son ensemble. Ces limites ont été déterminées par l'exploitant de la CNDoel et autorisées par l'autorité de contrôle.

Tableau 31 : Activités autorisées pour les rejets gazeux pour la CNDoel.

Nucléide**	Limite de rejet CNDoel 1 et 2 par 12 mois	Autorisation de rejet CNDoel par 12 mois
Gaz nobles	1.480 TBq ¹³³ Xe _{eq}	2.960 TBq ¹³³ Xe _{eq}
Iode-131 (¹³¹ I)	7,4 GBq	14,8 GBq
Aérosols	74 GBq	148 GBq
Tritium (³ H)*	-	88,8 TBq

* Il n'y a pas de limite de rejet spécifique pour le tritium pour Doel 1 et 2 car ces rejets proviennent principalement du bâtiment TED.

** Il n'y a pas de limite de rejet pour le C-14 car ce radionucléide n'est pas mesuré. On utilise à cet effet un rejet par an en fonction de la puissance installée dans les calculs d'impact radiologique.

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 de la rivière, en restant sur l'eau ou sur les berges, en consommant du poisson de l'Escaut. La dose encourue peut varier considérablement en fonction du mode de vie de la population. La dose provenant des rejets liquides dans l'Escaut est calculée selon la directive de l'AFCN pour le calcul des conséquences radiologiques des installations nucléaires de classe I. Par analogie avec les rejets atmosphériques, un scénario « worst case » est utilisé pour la détermination de la dose ; des valeurs d'entrée prudentes pour la consommation, les temps de séjour, etc. sont notamment retenues afin que l'exposition de la population ne soit pas sous-estimée.

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 de la rivière pour l'irrigation des cultures vivrières, de l'herbe et pour l'abreuvement du bétail n'est pas considérée en raison de la salinité excessive de l'eau.

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 l'AFCNⁱⁱⁱ. Comme pour le calcul de la dose suite aux rejets atmosphériques, on part du principe d'une personne critique qui est présente en permanence sur le site de charge de dose maximale et qui tire 10 % de sa nourriture d'une zone où le dépôt des radionucléides rejetés est maximal.

Chaque année, Tractebel calcule la dose pour la population suite aux rejets atmosphériques et liquides courants de la CNDDoel conformément à la directive 96/29/Euratom fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants. Le calcul prend en compte les rejets réels des quatre réacteurs de la CNDDoel. L'évolution de la dose au cours des dix dernières années est également calculée. La dose totale pour l'ensemble du site CNDDoel est la plus élevée pour les enfants de 1 à 2 ans, soit 0,02 mSv/an et est bien en dessous de la limite de dose réglementaire de 1 mSv/an. La probabilité d'effets sur la santé résultant des rejets radioactifs des installations nucléaires est donc très faible. Comme les rejets de routine des réacteurs de Doel 1 et 2 représentent 50 à 60 % des rejets de l'ensemble du site, la dose reçue par la population du fait des rejets atmosphériques et liquides de routine sera encore plus faible. La majeure partie de la dose annuelle est également due aux rejets atmosphériques. Moins de 10 % de la dose calculée ou 0,002 mSv/an est due à des rejets liquides dans l'Escaut. Même si les rejets atmosphériques et liquides étaient égaux aux limites de dose, la dose totale maximale serait de 0,4 mSv/an pour la personne critique et donc inférieure à la limite de dose de 1 mSv/an pour la population. De plus, comme discuté au § 3.3.1, des calculs de dose sont effectués pour les limites de rejet. La dose basée sur les limites de dose liquide est plus élevée que celle basée sur les limites de rejet atmosphérique (Tableau 30).

3.3.1.4 Impact sur la biodiversité (faune et flore)

Jusqu'aux années 1990, on supposait que si l'homme était protégé, l'environnement était également protégé des rayonnements ionisants. Ce point de vue a changé 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. 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^{xxxi} et l'UNSCEAR^{xxxii}, à partir des études disponibles sur les données d'impact. L'UNSCEAR^{xxxiii} 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 de 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^{xxxiv} sont donc plutôt associées à l'individu qu'à la population.

Les valeurs seuils proposées dans le projet EC-ERICA^{xxxv,xxxvi} et le projet EC-PROTECT^{xxxvii} ont été calculées à l'aide de méthodes utilisées pour les contaminants chimiques^{xxxviii}. Sur la base d'études d'exposition chronique, un débit de dose EDR10 a été calculé. Cette valeur EDR10 (EDR : Effective Dose Rate) est le débit de dose efficace qui entraîne 10 % de l'effet pour une espèce donnée. Une analyse de la distribution de la sensibilité des espèces (SSD : species sensitivity distribution) a ensuite permis de déterminer le débit de dose HDR5 (HDR : Hazardous Dose Rate), auquel un facteur de sécurité a été appliqué ou non. La valeur HDR5 est définie comme le débit de dose qui entraîne au moins 10 % de l'effet pour 5 % de toutes les espèces. 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 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 différentes 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 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ ^{xxxix, xl}. Les valeurs seuils proposées peuvent également être comparées aux données d'impact initiales. Les EDR10 les plus faibles enregistrés dans la base de données EC-PROTECT pour le calcul des valeurs seuils étaient de 710 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ pour les plantes, 1000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ pour les invertébrés et 3,6 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ pour les vertébrés.

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 32.

Tableau 32 : 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
400-4.000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Modérée
> 4.000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Faible

Comme l'impact sur un écosystème est difficile à évaluer en raison de la complexité, différentes catégories d'organismes de référence sont utilisées pour déterminer l'impact radiologique sur l'environnement. Ces organismes de référence sont supposés être représentatifs des habitats qu'ils occupent, de l'absorption des radionucléides, de leurs dimensions (avec un effet sur le calcul de la dose), tandis que l'ensemble des organismes de référence se réfère à 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 33).

Tableau 33 : 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 effets déterministes et stochastiques de la radioactivité sont pris en compte	En général, seuls les effets déterministes sont examinés
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 répartis uniformément dans les tissus animaux
Dose efficace (Sv)	Débit de dose absorbée (Gy s ⁻¹)

3.3.2 Rejets accidentels

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 « protection par couches », afin d'éviter que la population et l'environnement ne soient exposés à une dose inacceptable de rayonnements ionisants. Le principe de la protection par couches 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 § 3.8)^{xi}. Pour pouvoir appliquer le principe de la protection par couches, 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 énumérés dans le Tableau 34

Tableau 34 : 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 ^{xlii}	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 ^{xliii}	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 ^{xliiv}	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 ^{xliv}	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 ^{xlvi}	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 ^{xlvii}	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 29. 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 ^{xliiii}.

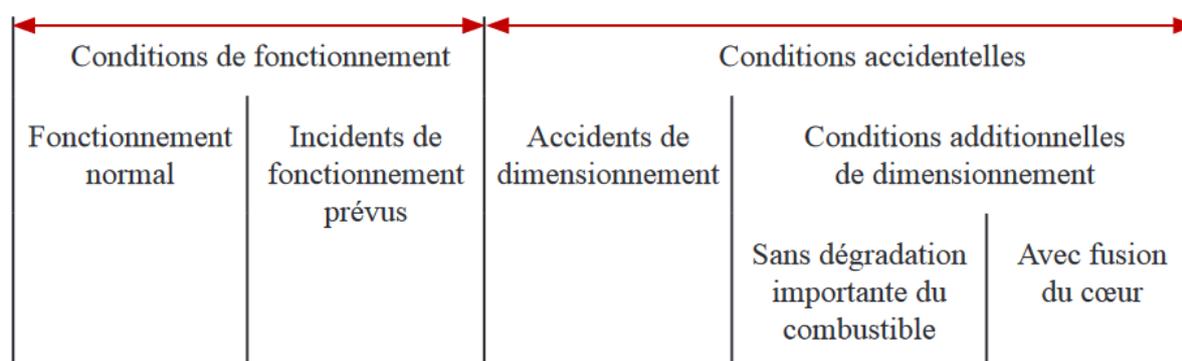


Figure 29: État opérationnel et accidentel d'une centrale nucléaire ^{xliiii}.

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 ^{xlviii}.

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 n'est pas possible 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^{xlix}. 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. Ces deux situations d'accident sont définies comme suit^l :

3.3.2.1 Accident 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. De cette liste, un ensemble d'événements de base de conception est sélectionné, 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 »^l.

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

« Le retour d'expérience et les analyses liées à des installations et des sites similaires sont pris en compte lors de l'établissement 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 de 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 celle 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.

3.3.2.2 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. »¹ 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 suit¹ :

« 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 usé 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 unités qui envisagent l'utilisation d'équipements ou de services communs ;
5. Inclut des vérifications sur le terrain. »

En 2017, l'AFCN a publié une directive pour la réalisation de la démonstration de sûreté des nouvelles installations nucléaires de classe I^{li}. Les recommandations de cette directive donnent des informations détaillées sur les exigences de l'AFCN en ce qui concerne la « protection par couches » et les objectifs radiologiques quantitatifs dans le cadre de la démonstration de la sûreté des nouvelles installations nucléaires de classe I. Comme les installations Doel 1 et 2 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^{lii} 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.

En vertu de l'article 37 du traité Euratom^{xlvi}, chaque État membre est tenu de fournir des données générales de tout plan d'accident pour le rejet de déchets radioactifs. Les données générales de Doel ont été compilées en 1972. À cette fin, deux accidents de conception ont été identifiés : i) rupture principale de la conduite primaire et ii) chute d'un élément combustible irradié^{liii}. 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 thyroïde et la dose efficace totale. Ces limites d'autorisation doivent être respectées pour la personne la plus exposée. 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^{lii}. Cette personne appartient à la tranche d'âge la plus touchée par l'exposition aux rejets radioactifs.

Pour Doel, sur la base d'une analyse de sûreté probabiliste, un accident d'extension de conception global a été identifié. Pour ce scénario, on suppose un « Complete Station Black-Out » (CSBO) avec fusion du cœur (correspondant à DEC-B). 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 (voir EIE travaux).

Dans l'évaluation des effets, nous considérons la situation après 2019, lorsque les améliorations de la sûreté qui ont été réalisées au cours de la période 2015-2018 dans le cadre de la LTO (Long Term Operation) et des BEST (Belgian

Stress Tests) seront achevées. Une discussion détaillée de ces améliorations de la sûreté peut être trouvée dans les travaux de l'EIE d'Electrabel sa (voir EIE travaux).

Les données générales pour la CNDoeel dans le cadre de l'article 37 du traité Euratom comprennent les limites d'autorisation pour la frontière la plus proche, à savoir les Pays-Bas à 3,15 km. Il n'y a pas de limites légales pour les conséquences radiologiques transfrontières 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.

Comme décrit ci-dessus, l'installation doit prendre les mesures nécessaires pour éviter ou limiter les situations d'accident. Toutefois, si un accident se produit, le plan d'urgence nucléaire et radiologique est en vigueur, comme décrit au § 3.8.

3.3.3 Déchets radioactifs opérationnels et combustibles usés

Pour la partie relative aux déchets radioactifs et aux matières fissiles, les effets possibles du report de la désactivation de Doel 1-2 par rapport au scénario de référence sont budgétisés en tant que quantités cumulées accumulées au cours de la période de référence 2015-2025. Les effets de ces quantités supplémentaires de déchets et de matières fissiles sont évalués à la lumière des mesures de gestion examinées au § 3.2.3.

3.3.4 Démantèlement

En ce qui concerne le démantèlement, l'allongement de la durée de vie des réacteurs Doel 1 et 2 peut entraîner une différence dans l'activation totale des composants, comme l'acier de cuve. Il n'est pas impossible qu'il y ait un glissement au niveau du volume des déchets de démantèlement. Par exemple, un glissement des déchets de catégorie A à ceux de catégorie B, même si le total des déchets de démantèlement reste le même. Cette situation est étudiée et testée sur la base de calculs d'activation.

3.4 Situation existante

3.4.1 Contrôle des rejets

Les rejets radioactifs de la CNDoeel sont surveillés en permanence. D'une part par l'exploitant et d'autre part par l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN). L'exploitant est tenu de se conformer à tout moment à l'autorisation de rejet d'effluents radioactifs. Des contrôles permanents sont assurés pendant le rejet afin de vérifier en temps réel si les modalités et les limites de rejet fixées dans le permis sont respectées (concentrations maximales et moyennes des effluents, quantité maximale de radioactivité émise, etc.).

Les rejets radioactifs de la CNDoeel sont en outre contrôlés par l'AFCN de diverses manières :

- Les *stations TELERAD* installées autour du site de la CNDoeel et dans l'Escaut où les effluents liquides sont rejetés. Ces stations de mesure déclenchent une alarme à l'AFCN en cas de rejets anormaux. On les décrit plus en détail au § 3.4.2.1, il s'agit d'un réseau continu visant principalement à détecter les rejets anormaux ;
- *Chaque mois*, la CNDoeel doit signaler les rejets à l'AFCN et à Bel V. L'autorité de sécurité vérifie ensuite le respect des limites de rejet et l'absence d'augmentation soudaine et significative de ces rejets ;
- *Chaque année*, la CNDoeel doit envoyer un rapport sur les rejets de l'année écoulée à l'AFCN et à Bel V. Ce rapport doit comprendre un résumé de l'activité rejetée pour chaque type de rejet, ainsi que le calcul de l'impact de dose des rejets de l'installation sur le public. Au 1er juillet de chaque année, l'AFCN publie un dossier d'information sur les rejets radioactifs, avec le résumé de ces rapports. La manière dont ces déclarations de rejet sont faites doit être conforme à une procédure préalablement établie^{liv} ;
- Pour chaque site, l'AFCN effectue une *inspection annuelle* sur l'impact radiologique des installations nucléaires, au cours de laquelle le contrôle des rejets radioactifs est abordé. Bel V effectue également des contrôles liés à la gestion des rejets radioactifs.

L'AFCN a également pour mission d'informer le public sur les rejets en toute transparence :

- La loi du 11 avril 1994 relative à la publicité de l'administration établit le cadre général de l'accès du public aux documents administratifs détenus par une autorité administrative fédérale. Sauf exception, la loi prévoit que toute personne peut consulter sur place tout document administratif et recevoir une explication y afférente ainsi qu'une copie de celui-ci ;
- 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 définit plus spécifiquement les missions d'information par rapport au public qui sont imposées à l'agence dans son domaine de compétence. Selon les termes de la loi, l'agence est chargée de diffuser des informations neutres et objectives dans le domaine nucléaire. L'agence assure également la transmission d'informations techniques dans les domaines de la sûreté nucléaire et de la radioprotection ;
- La loi du 5 août 2006 relative à l'accès du public à l'information en matière d'environnement réaffirme cette volonté de transparence et l'étend à tous les domaines d'activité, y compris ceux qui ne relèvent pas du secteur nucléaire. La loi assigne à tous les services publics fédéraux et aux institutions d'utilité publique qui sont soumis à l'autorité, au contrôle ou à la surveillance du gouvernement fédéral, des devoirs d'information active à l'égard du public dans le domaine de l'environnement dans leurs domaines de compétence respectifs, notamment en utilisant des moyens de communication électroniques.

Les rejets (voir § 3.3.1) sont subdivisés en plusieurs groupes de radionucléides. Le Tableau 35 illustre les rejets spécifiques qui sont surveillés et signalés par la CNDoeL. En outre, il y a des rejets de carbone 14 (C-14). Ils sont estimés sur la base de la puissance thermique car ils sont difficiles à mesurer.

Tableau 35 : Catégories des rejets surveillés.

Type de rejets	Radionucléide (groupe)	Détails (forme, radionucléides spécifiques)
Atmosphérique	Tritium	Eau tritiée HTO
	Iode	¹³¹ I
	Gaz nobles	⁸⁵ Kr, ¹³³ Xe
	α-aérosols	²³⁵ U, ²³⁹ Pu, ²⁴¹ Am
	Aérosols β-γ	⁶⁰ Co, ⁹⁰ Sr, ¹²⁴ Sb, ¹³⁷ Cs...)
Liquide	Tritium	Eau tritiée HTO
	α-émetteurs	²³⁵ U, ²³⁹ Pu, ²⁴¹ Am...
	Émetteurs β-γ	⁶⁰ Co, ⁹⁰ Sr, ¹²⁴ Sb, ¹³¹ I, ¹³⁷ Cs...)

En outre, les rejets doivent être transmis à la Commission européenne, comme stipulé et prescrit dans la directive « Commission Recommendation of 18 December 2003 on standardised information on radioactive airborne and liquid discharges into the environment from nuclear power reactors and reprocessing plants in normal operation (notified under document number C(2003) 4832) »^{lv}.

Les données sur les rejets des différents États membres de l'UE sont collectées dans la « European Commission RAdioactive Discharges Database » (RADD). Cela permet également l'échange d'informations sur les rejets. Les objectifs de cette base de données sont les suivants :

- La compilation des rejets radioactifs tels que soumis par les États membres de l'UE à la Commission européenne ;
- La préparation et la publication de rapports sur les rejets radioactifs par le service compétent de la Commission européenne (DG ENER D3 - « Radiation Protection & Nuclear Safety ») ;
- L'échange d'informations avec l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique) et d'autres instances internationales ;

- La garantie de l'accès du public aux données via le site web de la RADD.

Des vérifications sont également effectuées en vertu de l'article 35 du traité Euratom. Le dernier rapport disponible pour le suivi des rejets radioactifs par la CNDoel et le contrôle y afférent, y compris le programme de surveillance autour de Doel, est celui de 2012^{lvi}.

3.4.1.1 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 ou espace annulaire (RGI)
 - 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.

En plus des limites de rejets annuels déjà mentionnées dans la section méthodologie, il existe également des limites de rejets pour les rejets atmosphériques instantanés (potentiels). Ces limites se réfèrent à la concentration maximale dans la cheminée en moyenne par heure.

Tableau 36 : Limites de rejets atmosphériques instantanés pour les unités 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 § 3.3). Bien que seul l'iode 131 soit contrôlé et signalé, d'autres isotopes de l'iode, notamment l'iode 133 (¹³³I), sont calculés sur la base des mesures de l'iode 131.

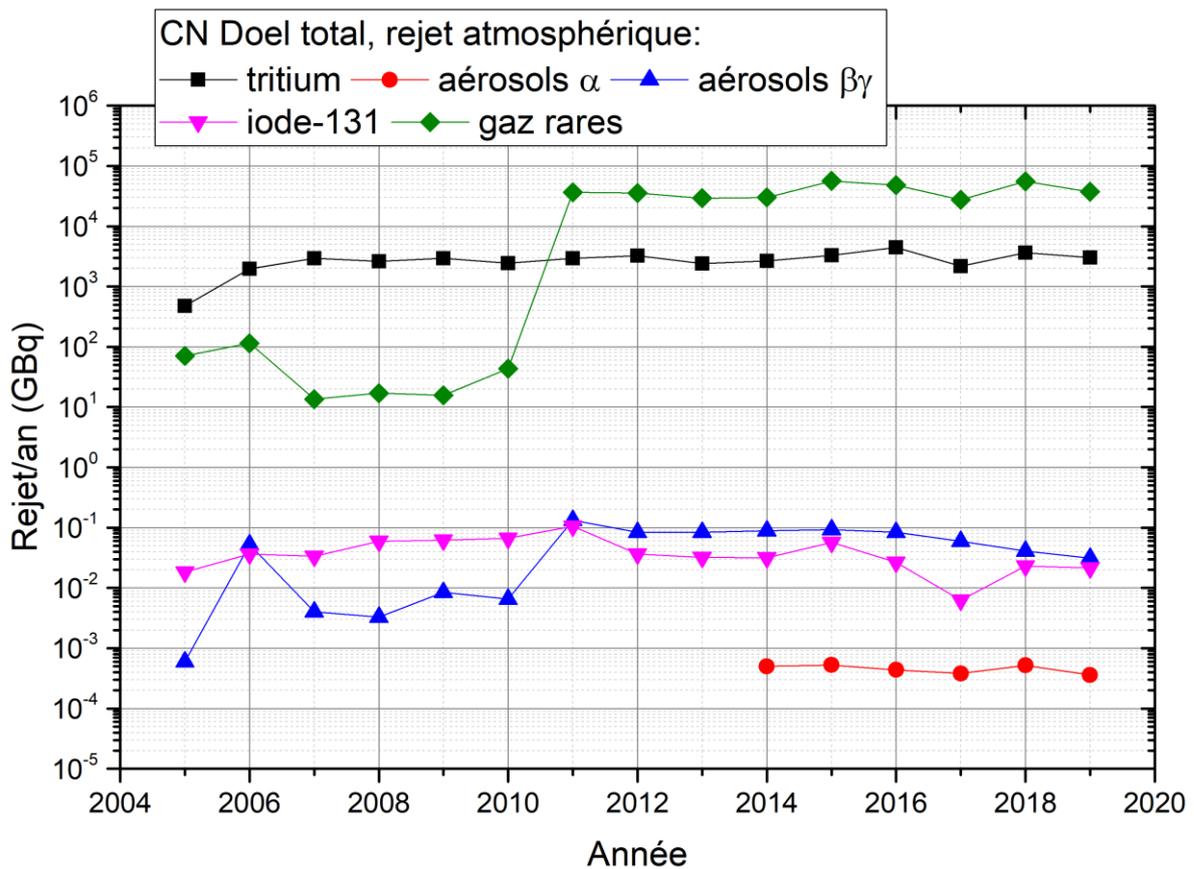


Figure 30 : Rejets gazeux par an pour l'ensemble du site de la CNDoel.

Les rejets atmosphériques par an pour les différents groupes de radionucléides, tels que communiqués aux autorités et trouvés notamment dans la base de données RADD de la Commission européenne pour les années 2005-2019, sont présentés à la Figure 30. Ces rejets sont les rejets atmosphériques pour l'ensemble du site de la CNDoel. 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, en particulier pour les gaz nobles et les aérosols bêta-gamma, est due à une nouvelle directive sur les rapports^{lvii}. Toute activité rejetée inférieure à la limite de détection des chaînes de mesure est prise en compte de manière conservatrice à 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.

Ces valeurs réellement rejetées dans l'atmosphère peuvent être contrôlées par rapport aux limites de rejet selon le permis d'exploitation de la CNDoel (comme indiqué au § 3.3.1 Méthodologie). Les résultats de cette comparaison sont présentés à la Figure 31 en pourcentage de la limite de rejet par groupe, et ce pour la période 2014-2019. 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 rejet.

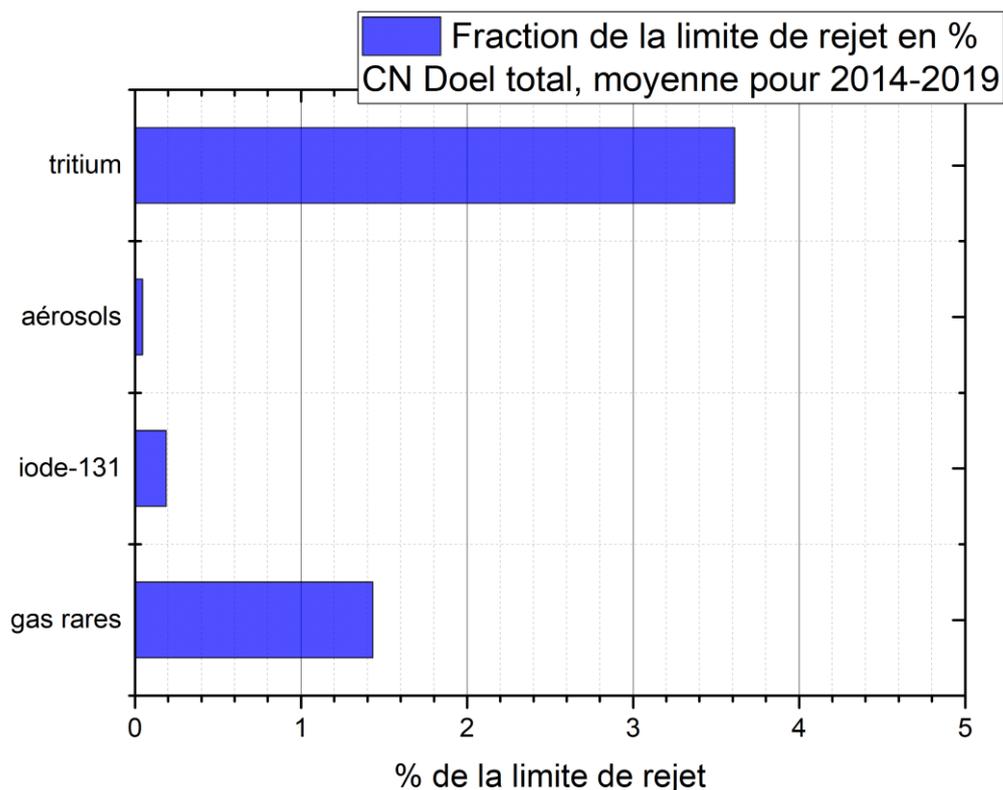


Figure 31 : Rejets réels pour la période 2014-2019 exprimés en pourcentage des limites de rejet pour les différents groupes de radionucléides.

3.4.1.2 Rejets liquides

Comme nous l'avons déjà mentionné, 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 quais de stockage de combustible, les fuites d'eau. Ces eaux usées peuvent contenir des particules radioactives dissoutes et solides sous forme de suspension ainsi que des substances non radioactives. Afin de garantir que les quantités de radioactivité rejetées dans l'environnement soient aussi faibles que possible, les eaux usées sont traitées avant d'être rejetées. Les eaux usées prétraitées de la centrale nucléaire de Doel, qui contiennent des quantités limitées de radionucléides, sont rejetées dans l'Escaut et finissent par aboutir dans la mer du Nord.

Dans le cadre de la protection de la vie marine dans la partie nord-est de l'Atlantique (y compris la mer du Nord), la Belgique a également signé la convention OSPAR, qui prévoit une réduction des rejets de radionucléides artificiels dans le milieu marin à un niveau proche de zéro. Les États participants à la convention OSPAR doivent également s'assurer que les installations nucléaires utilisent les meilleures techniques disponibles (Best Available Techniques - BAT) et les meilleures pratiques environnementales (Best Environmental Practices - BEP).

Le prétraitement consiste généralement en une des méthodes BAT suivantes ou en une combinaison de celles-ci : évaporation, précipitation/floculation, filtration et échange d'ions. L'évaporation consiste à faire bouillir l'eau et à condenser la vapeur. Il reste donc la majeure partie de la radioactivité dans les résidus d'évaporation qui sont ensuite conditionnés et stockés comme déchets. Avec l'échange d'ions, la plus grande partie de la radioactivité reste sur l'échangeur d'ions. La teneur de divers radionucléides tels que le ^{137}Cs peut ainsi être réduite dans les eaux usées. La précipitation et la floculation peuvent également réduire la teneur en substances radioactives dans les eaux usées. Le tritium subsiste sous forme d'eau tritiée dans les eaux usées. Elle ne peut toutefois pas être éliminée par ces

processus, car elle présente les mêmes propriétés que l'eau non tritiée et est donc intégralement rejetée. Certains effluents peuvent également être stockés dans le but de réduire la radioactivité par désintégration radioactive.

L'exploitant de la centrale nucléaire doit soumettre un rapport mensuel sur les rejets (quantités et radionucléides) à l'AFCN et au BelV, et un rapport annuel doit être établi à ce propos, dans lequel la dose due aux rejets dans l'Escaut doit également être mentionnée. Un résumé de ce rapport est disponible sur le site web de l'AFCN.

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. La centrale nucléaire rejette principalement du tritium dans l'Escaut. Les autres radionucléides (par ex. ^{110m}Ag , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{110m}Ag) sont rejetés en quantités beaucoup plus faibles (cf. Figure 32).

Les principaux radionucléides présents dans les effluents liquides sont :

- Le tritium sous forme d'eau tritiée ;
- Les émetteurs bêta, gamma ; ^{58}Co , ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{110m}Ag
- L'émetteur alpha ; Am-241

Tableau 37 : Limites de rejet pour les effluents liquides.

Radionucléides	Limite
Tritium	104 TBq/an
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. L'impact possible des rejets sur l'homme et l'environnement est évalué par l'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. En complément du programme de surveillance de l'AFCN, la centrale nucléaire de Doel dispose également d'un programme de surveillance limité depuis 2014, axé sur des bio-indicateurs tels que les plantes aquatiques.

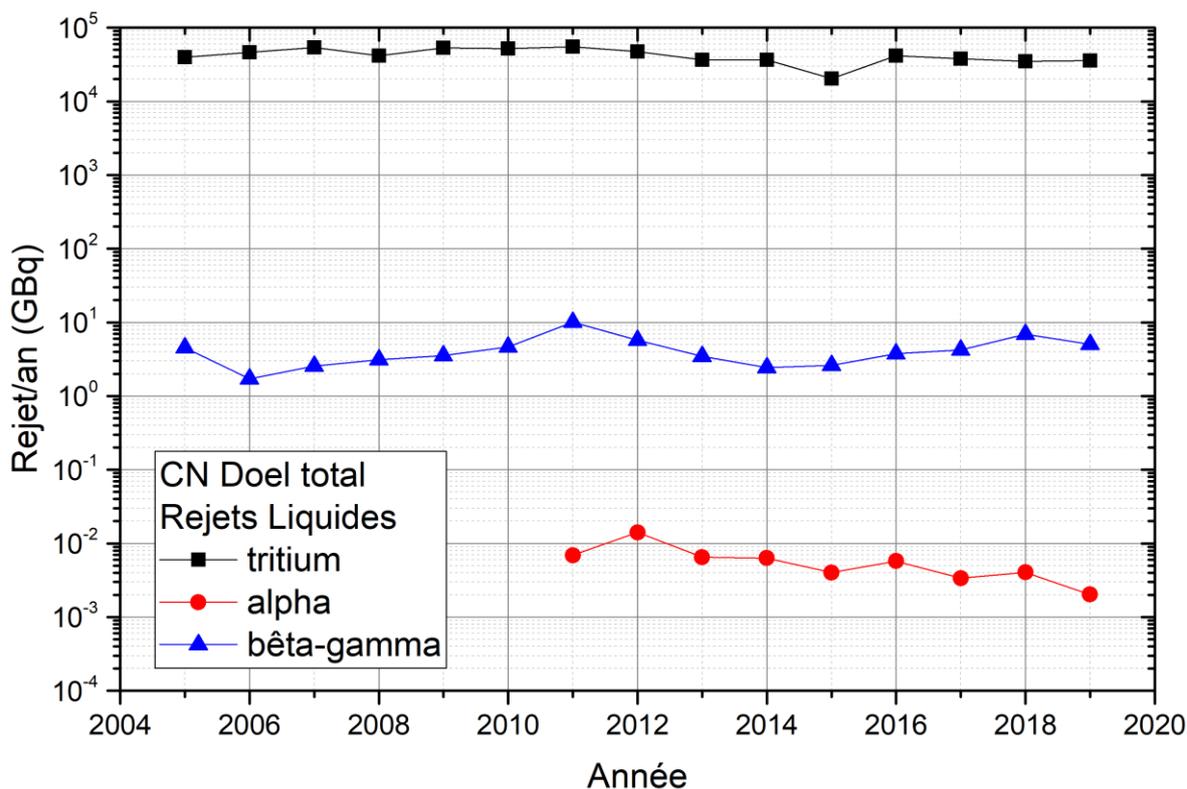


Figure 32 : Évolution des rejets liquides dans l'Escaut pour la période 2005-2019^{lviii}.

La Figure 32 illustre les volumes de rejets liquides de 2004 à 2019. Les quantités sont bien inférieures aux limites de rejet et sont restées pratiquement constantes au cours des 15 dernières années. Au cours des cinq dernières années, une moyenne de 33 % de la limite de rejet pour le tritium et 3 % de la limite de rejet pour les autres radionucléides a été rejetée.

3.4.2 Contrôle de la radioactivité sur le site et dans l'environnement

La situation radiologique sur le site de la CNDoeel et dans les environs est suivie en permanence par des mesures effectuées dans le cadre d'un programme de suivi mené d'une part par l'autorité compétente (AFCN), qui est responsable de la surveillance radiologique du territoire, et d'autre part par l'exploitant de la centrale nucléaire. Les mesures répertorient toujours une combinaison de radioactivité naturelle et de radioactivité artificielle. Plus précisément à proximité de la CNDoeel, des traces de radioactivité artificielle peuvent provenir de l'exploitation de la CNDoeel elle-même (suite aux rejets : voir la section précédente), mais aussi d'autres activités nucléaires passées (essais de bombes atomiques en surface, accident de Tchernobyl) ou d'effets radiologiques d'autres activités nucléaires et non nucléaires.

3.4.2.1 Surveillance radiologique du territoire

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 alentours 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. Il 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) Suivi et évaluation. La Convention prévoit une réduction drastique des rejets radioactifs dans le milieu marin pour atteindre des concentrations proches de zéro pour la radioactivité artificielle. Dans le cadre de la stratégie OSPAR, la Commission européenne invite 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 mesures suivantes : mesure 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).

L'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 à la fois la radioactivité naturelle et artificielle et est mis en œuvre de deux manières :

En continu : par le réseau TELERAD automatique pour la mesure de la radioactivité de l'environnement local ; il s'agit d'un réseau de 250 stations de mesure réparties sur l'ensemble du territoire belge, qui mesurent 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 un seuil prédéterminé. Le réseau présente des densifications autour d'installations nucléaires telles que la CNDoeI, avec des stations annulaires installées sur le périmètre du site et des stations d'agglomération à proximité du site.

De manière discontinue : au moyen de mesures périodiques in situ (échantillonnage) et qui sont ensuite analysées 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 réseau comporte également deux composantes : une surveillance globale couvrant l'ensemble du territoire, en dehors des zones d'activité nucléaire, et une surveillance étroite 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 2018^{lix}.

Le réseau TELERAD, composé de plus de 250 stations de mesure automatiques réparties sur la Belgique, est l'un des réseaux de mesure des niveaux de rayonnement les plus denses d'Europe et du monde, avec 5,3 stations par 1.000 km². Il comprend :

- 162 stations d'équivalent de dose ambiante (détecteur de type Geiger Müller, H*[10]), pour la mesure 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 la mesure de la radioactivité gamma dans l'environnement et la mesure 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) mesurent en permanence le rayonnement gamma dans l'eau des rivières ;
- 13 stations météo (mât de 30 mètres de haut).

Pour le site de la CNDDoel en particulier, le réseau TELERAD est constitué d'un anneau de 18 stations annulaires placées le long du périmètre du site et d'environ 16 stations dans l'environnement plus large de la CNDDoel (stations d'agglomération). Les stations annulaires sont des stations spectroscopiques qui enregistrent non seulement le débit de dose mais aussi les spectres gamma (mesure de l'énergie du rayonnement gamma). Cela permet d'identifier les radionucléides spécifiques/typiques liés à l'exploitation de la CNDDoel s'ils sont présents. Toutes les stations mesurent le débit de dose (débit d'équivalent de dose ambiante H*[10]) et sont capables à la fois de mesurer avec précision les niveaux de fond, où l'on peut observer la variation du rayonnement de fond naturel en fonction du temps (voir Figure 35), et de mesurer avec précision des 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 également 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 juste de l'autre côté de la frontière, dans les environs de Doel (voir aussi : <https://www.rivm.nl/nationaal-meetnet-radioactiviteit/resultaten>).

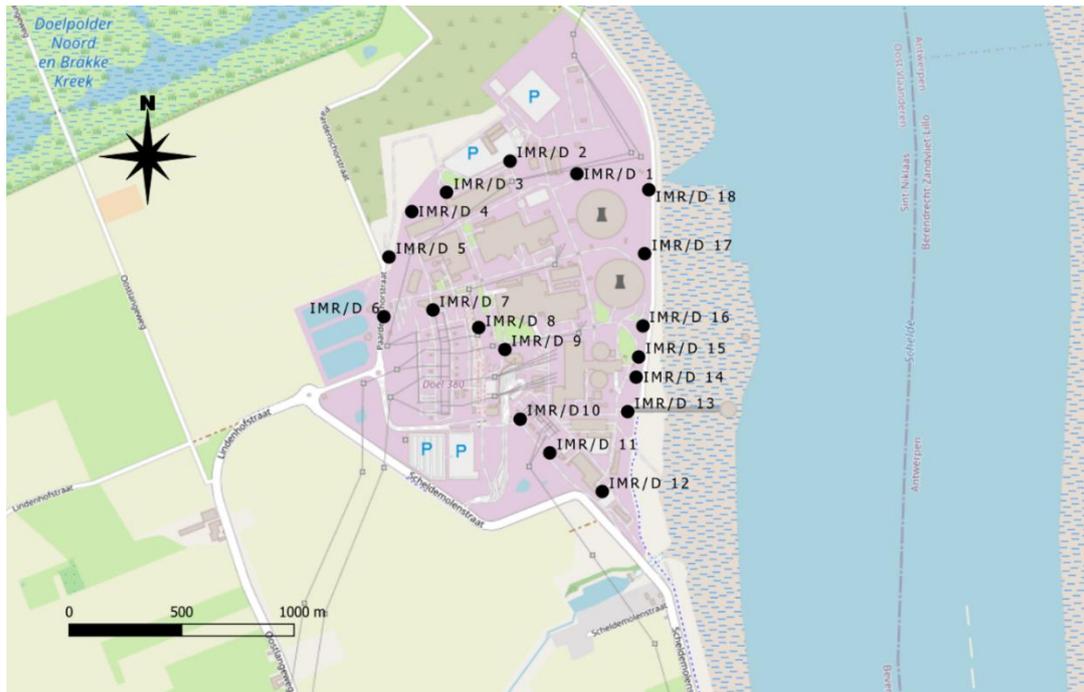


Figure 33 : Les stations annulaires du réseau TELERAD autour de Doel (carte de fond : OpenStreetMap).

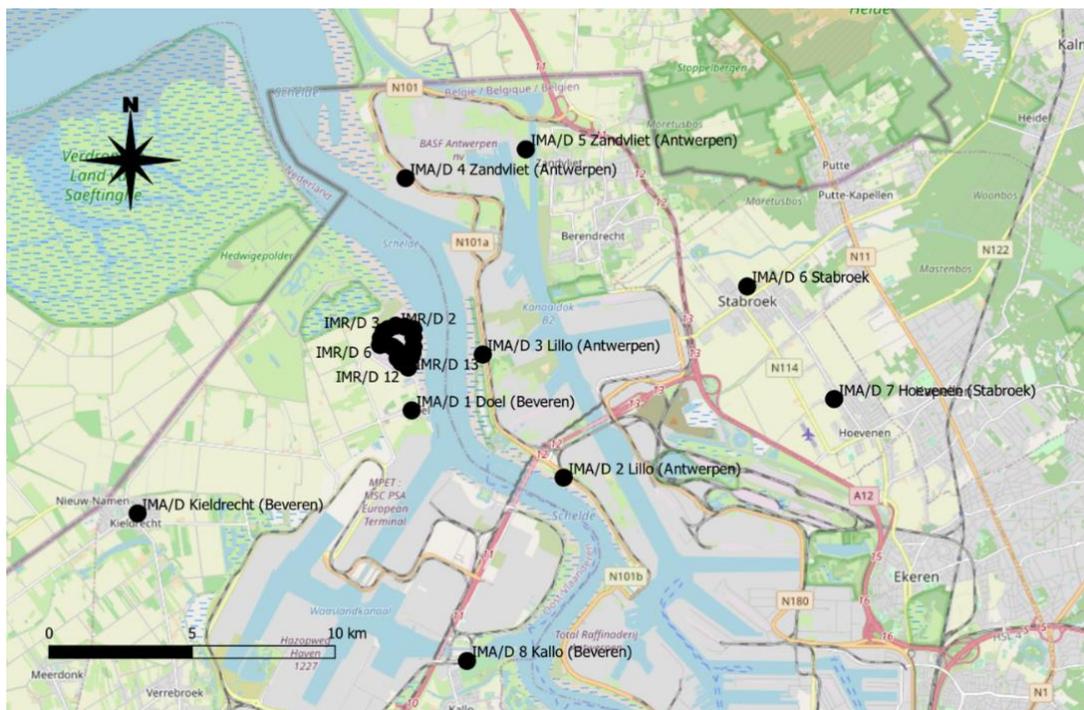


Figure 34 : Stations annulaires et d'agglomération du réseau TELERAD (carte de fond : OpenStreetMap).

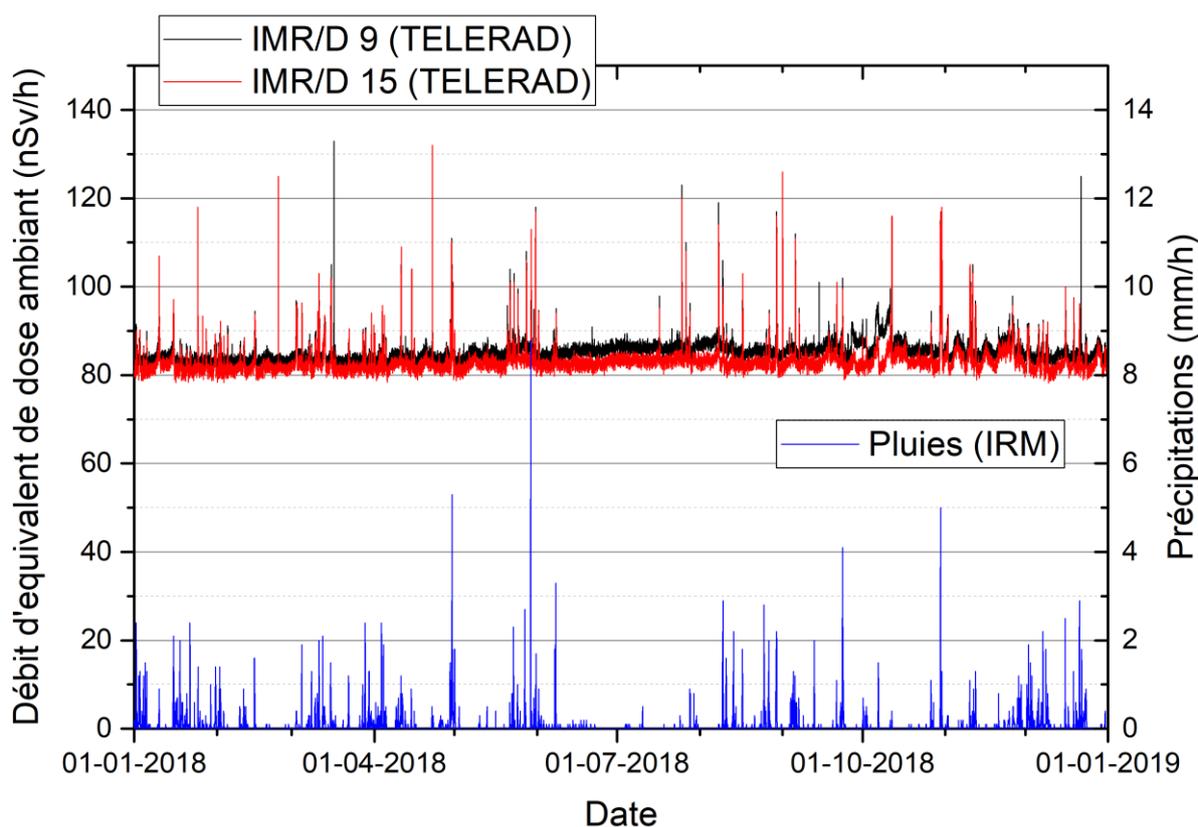


Figure 35 : Débit de dose en fonction du temps pour l'année 2018 complète mesuré par deux stations TELERAD à la limite du domaine de la CNDoel, dont l'une est à l'ouest de Doel 1 et 2 (IMR/D 9) et l'autre à l'est de Doel 1 et 2 (IMR/D 15). Les fortes augmentations du débit de dose sont le résultat du rayonnement de fond naturel qui change en raison de l'évolution des conditions météorologiques, comme principalement l'apparition de la pluie (surtout après de longues périodes sèches). L'intensité des précipitations est également indiquée dans le graphique du bas de cette figure (données relatives au débit de dose : AFCN, Données de précipitations pour le site CNDoel IRM). Le dépassement du seuil d'alarme (figure hors échelle) n'a jamais été atteint en 2018.

Les mesures discontinues (échantillonnage et analyse en laboratoire) autour de Doel 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 près de la CNDoel (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 l'AFCN à partir de l'année 1996^x. Les détails du programme de surveillance de l'AFCN lié à la CNDoel figurent dans le Tableau 38.

Tableau 38 : Programme de surveillance de l'AFCN à proximité de la CNDoel.

Compartiment	Type de mesure	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
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 Klossterzande) - 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 , (^{99}Tc pour les algues)	trimestriel

3.4.2.2 Programme de suivi de l'exploitant CNDoeI

En plus du programme de surveillance du territoire assuré par l'AFCN, l'exploitant de la CNDoeI organise son propre programme de suivi, composé de :

- Mesures 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 suivi complémentaire au programme de surveillance de l'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 la CNDoeI 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 illustré dans le Tableau 39.

Tableau 39 : Programme de suivi de l'exploitant.

Échantillonnage spécifique	Lieu et fréquence	Spécifications de mesure
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 et Cs-137, I-131, Co-60, Nb-95, 1Ag-110m), H-3, C-14
Sédiment	Annuellement sur deux sites en aval et un site de référence en amont	Spectroscopie gamma (Cs-134 et Cs-137, I-131, Co-60, Nb-95, 1Ag-110m),

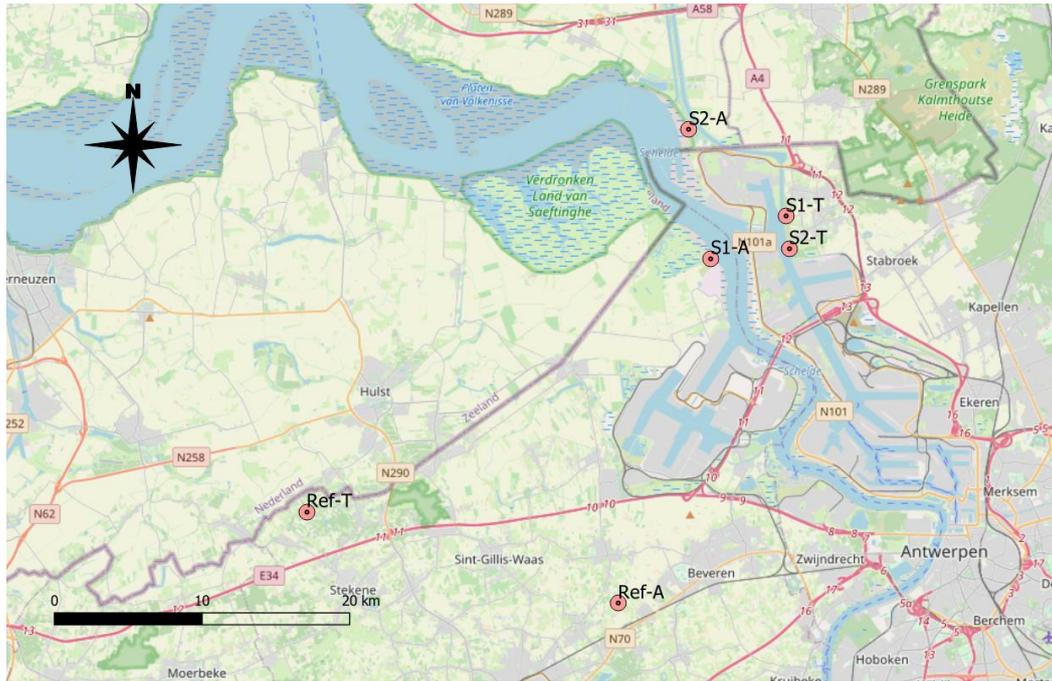


Figure 36 : Lieux d'échantillonnage pour le programme complémentaire réalisé par l'exploitant de la CNDdoel (dénominations voir Tableau 39, carte de fond : OpenStreetMap).

3.4.2.3 Résultats du contrôle radiologique

Les mesures en ligne continues, telles que les données TELERAD, permettent non seulement de réagir rapidement en cas d'augmentation des niveaux de rayonnement autour du site, mais aussi de déterminer l'exposition des personnes aux rayonnements externes sur une base annuelle. L'exposition moyenne par an à proximité du site de la CNDdoel est d'environ 0,70 à 0,75 mSv/an et est due au rayonnement de la radioactivité naturelle du sol et au rayonnement cosmique (0,4 à 0,45 mSv/an de rayonnement externe du sol et environ 0,3 mSv/an de rayonnement cosmique) ; cette valeur est également stable au fil des ans. Ces valeurs sont également confirmées par les mesures DTL de l'exploitant.

Les fluctuations dans les mesures de débit de dose (dans le temps et en différents endroits) sont entièrement dues aux variations naturelles, c'est-à-dire que les effets de l'exploitation de la CNDdoel, y compris les rejets dans des conditions normales, ne sont pas observables et sont donc bien inférieurs au débit de dose naturel moyen et également bien inférieurs aux variations naturelles qui peuvent être observées. Cela est également clairement visible sur les mesures continues telles que celles effectuées par exemple dans le cadre des exercices de terrain des équipes de mesure de planification d'urgence (voir également le § 3.8). La Figure 37 ci-dessous illustre les résultats d'une campagne de mesure effectuée à proximité de Doel en 2020. Ces mesures sont tout à fait cohérentes avec les mesures du programme de surveillance. Les variations observées sont dues à des différences de radioactivité naturelle dans l'environnement, de radioactivité naturelle dans les matériaux de construction et les matériaux utilisés pour le pavage (par exemple, les élévations naturelles sont très visibles dans le pavage avec certains types de pavés). Aucun radionucléide artificiel n'a été observé pendant la campagne de mesure.



Figure 37 : Campagne de mesure effectuée avec un détecteur de grand volume à bord d'un véhicule dans la région au nord-est de la CNDoeI (mesures SCK CEN, 2020). Les unités de la légende sont spécifiques au détecteur et illustrent uniquement les différences relatives. Les débits de dose normaux sont mesurés sur toute la zone (carte de fond : Bing VirtualEarth).

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 la CNDoeI illustre ce qui suit :

- Tout d'abord, la grande prépondérance de la radioactivité naturelle ;
- Qu'en ce qui concerne la radioactivité artificielle, on peut mesurer des traces de Cs-137 dans le sol (3,5 Bq/kg en 2019^(xi)), 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. La Figure 38 illustre ce phénomène ;
- Que les émetteurs alpha transuraniens artificiels (Pu et Am) ne sont pas mesurables de leur côté.

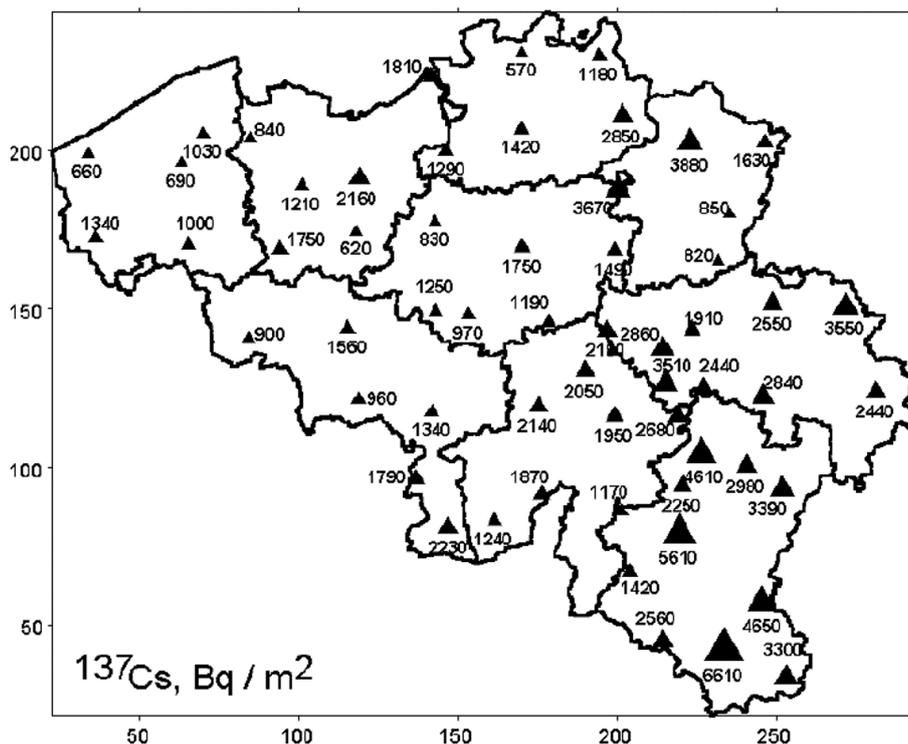


Figure 38 : Concentrations de Cs-137 en Bq/m² mesurées lors d'une campagne 10 ans après l'accident de Tchernobyl. À cette époque, 1810 Bq/m² de Cs-137 ont été mesurés à proximité de la CNDdoel, une valeur moyenne pour la Belgique^{bvii}.

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 de la CNDdoel est toujours représentative de toutes les activités sur le site. Les conclusions s'appliquent donc en particulier aussi à Doel 1 et 2.

3.4.3 Impact sur la base des calculs et des mesures

L'état radiologique actuel et l'impact des activités du site de la CNDdoel sont très bien caractérisés par la combinaison de la surveillance des rejets couplée aux calculs de l'impact des doses et de la surveillance de la radioactivité et des rayonnements à proximité de la CNDdoel. Un aperçu sommaire est donné à la Figure 39.

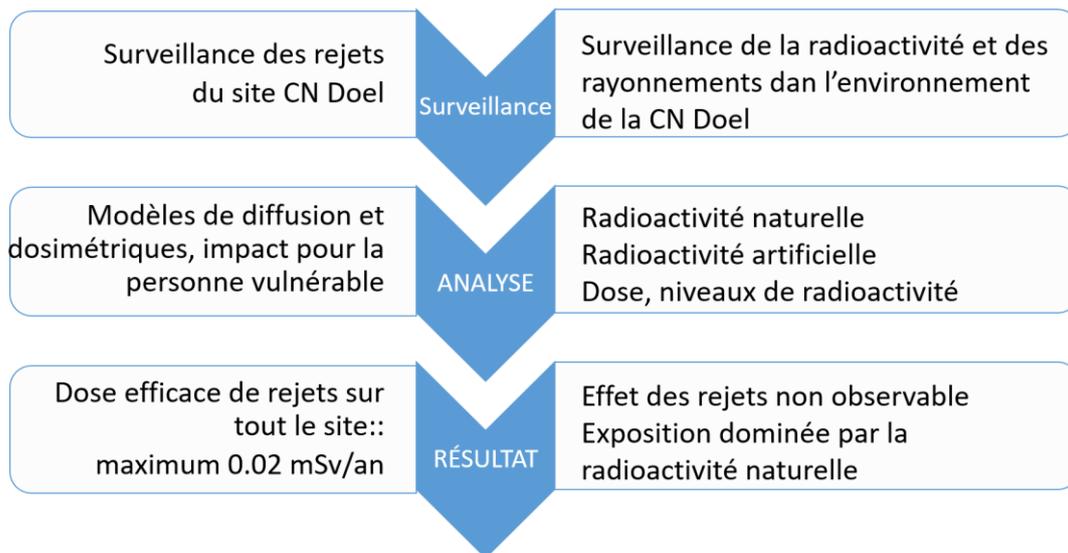


Figure 39 : Résumé des activités de surveillance complémentaires pour le suivi des impacts radiologiques.

Les calculs basés sur la surveillance des rejets indiquent un impact maximal, c'est-à-dire une charge de dose efficace pour la personne critique la plus exposée de 0,02 mSv/an^{lxiii} et cette exposition est également stable au fil des ans, comme le montre la Figure 40. Cette dose efficace calculée avec prudence pour la personne la plus exposée est 50 fois inférieure à la limite de dose pour le public qui est de 1 mSv/an.

La surveillance de l'environnement démontre également que la CNDoel 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 à proximité de la CNDoel provient principalement des retombées radioactives des essais de bombes atomiques en surface (1950-60) et de l'accident de Tchernobyl (1986).

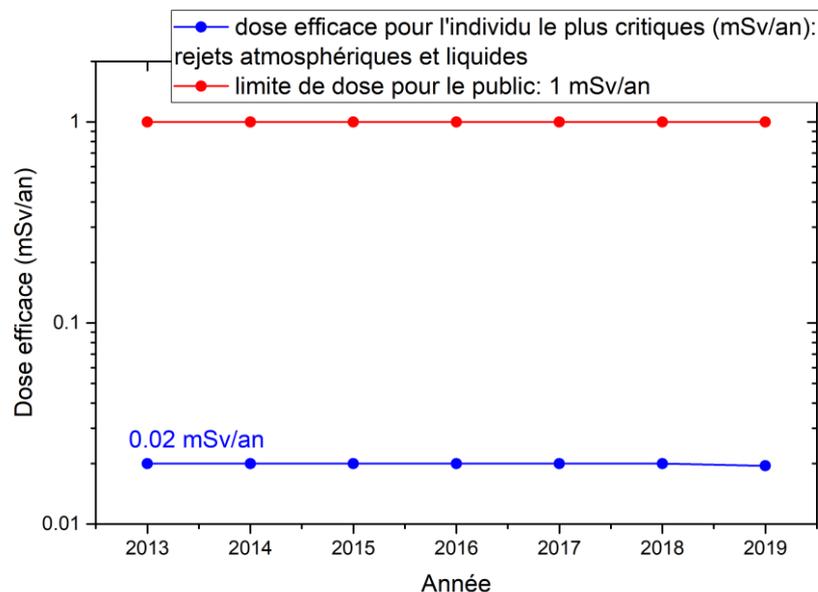


Figure 40 : Dose efficace pour l'individu le plus critique à proximité de la CNDoel, calculée à partir des rejets réels signalés^{lxiv}. La limite de dose pour le public est indiquée à titre de comparaison.

Par souci d'exhaustivité, nous souhaitons mentionner une étude réalisée par Sciansano^{lxv} dans laquelle l'occurrence (accrue) de la leucémie aiguë chez les enfants de 0 à 14 ans à proximité des sites nucléaires belges a été examinée. Aucune augmentation de l'occurrence n'a été observée autour de la CNDDoel. La leucémie aiguë peut, entre autres causes, résulter de l'exposition à des rayonnements ionisants. En raison de la période de latence relativement courte et de la sensibilité particulière des enfants, l'apparition de leucémies aiguës chez les enfants vivant à proximité de centrales nucléaires est le plus souvent étudiée dans le cadre d'études épidémiologiques, également au niveau international. Toutefois, les résultats de telles études épidémiologiques, comme celle de Sciansano, doivent être interprétés avec la plus grande prudence. Il s'agit d'études écologiques descriptives qui ne permettent pas d'établir un lien entre les variations d'occurrence et leur cause. Elles ne fournissent pas non plus d'informations au niveau individuel. Une étude similaire a déjà été menée, dans le cadre de laquelle l'occurrence du cancer de la thyroïde a été étudiée^{lxvi}. Toujours dans cette étude, aucune augmentation de l'incidence n'a été observée autour de la CNDDoel.

En outre, sur la base des rejets radioactifs réels (référence AFCN), de l'impact des doses y afférent sur la population et des mesures en continu des niveaux de rayonnement et de radioactivité autour des installations nucléaires comme celles de la CNDDoel, on ne s'attend pas à une augmentation de l'occurrence de la leucémie aiguë chez les enfants. Plus encore, les variations des expositions individuelles dues à l'exposition naturelle, au mode de vie (alimentation, voyages, etc.) et aux applications médicales des rayonnements ionisants sont beaucoup plus importantes que les expositions résultant des rejets pendant le fonctionnement normal des centrales nucléaires.

3.4.4 Déchets radioactifs et combustibles usés

3.4.4.1 Types de déchets radioactifs

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) (informations fournies par Electrabel sa) :

- 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, les déchets sont encore fortement réduits par 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 de déchets individuel. Dans les installations de la CNDDoel, les déchets compactables sont d'abord pressés (à l'aide d'une presse de 16 ou 100 tonnes), puis ils sont transportés comme déchets non conditionnés vers Belgoprocess. Ils y sont pressés pour la deuxième fois dans leurs installations avec une presse de 2.000 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 pré-filtres, des filtres à charbon actif (pour l'iode) et des filtres absolus. Les filtres 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 pressés 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 acceptation³⁴ 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 par l'utilisation de vêtements de protection lavables. 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.

3.4.4.2 Déchets de faible et moyenne activité

Après le traitement des différents flux de déchets dans le TED, les déchets d'exploitation de la CNDDoel sont transportés vers Belgoprocess (BP) pour y être traités et/ou stockés. Le Tableau 40 donne un aperçu des quantités de déchets de faible et moyenne activité (conditionnés et non conditionnés) et des volumes résultants à stocker après traitement chez BP. Ces données ont été compilées sur la base de la déclaration environnementale de la CNDDoel, qui est mise à jour chaque année^{lxvii}. Aucune distinction n'est faite entre les déchets de catégorie A ou de catégorie B.

Tableau 40 : Volumes annuels de déchets de faible et moyenne activité transportés vers Belgoprocess, et volumes résultants à stocker après y avoir été traités^{lxvii}. 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 (m³) de déchets de faible et moyenne activité transportés vers BP (DC + DNC)	Volume (m³) de déchets de faible et moyenne activité (DC) à stocker
2010	ND	202
2011	ND	196
2012	ND	124,7
2013	ND	125,9
2014	ND	46,8
2015	ND	108,2
2016	ND	100,5
2017	ND	95,1
2018	183,9	91,1
2019	372	61,9
Moyenne à long terme		115

³⁴ L'acceptation est l'ensemble des contrôles réalisés par l'ONDRAF pour vérifier si les déchets sont conformes aux critères d'acceptation applicables.

À des fins de vérification, les données ci-dessus sont comparées aux informations obtenues auprès de l'AFCN^{lxviii}, à qui Electrabel sa rapporte les volumes annuels de déchets conditionnés. Ces données sont exprimées sous forme de moyennes mobiles sur trois ans de l'équivalent de production de déchets conditionnés par unité d'énergie produite nette. En multipliant la production nette d'électricité de la centrale nucléaire, on peut obtenir une approximation de la quantité annuelle de déchets conditionnés. Cette méthode donne une estimation légèrement plus élevée de la quantité moyenne de déchets conditionnés (Tableau 41).

Tableau 41 : Estimation de la quantité de déchets conditionnés (DC) produits annuellement dans la CNDdoel, sur la base des données fournies par l'AFCN.

	Production nette d'électricité (TWh)	Équivalent de production DC (moyenne mobile sur 3 ans) (m³/TWh)	Estimation de la production GA (m³)
2009	21,24	5,64	119,7
2010	22,03	6,77	149,2
2011	22,79	7,57	172,6
2012	18,22	8,97	163,4
2013	20,72	8,76	181,5
2014	14,04	7,14	100,2
2015	11,05	10,16	112,2
2016	22,07	5,12	113,0
2017	20,68	5,63	116,4
2018	11,92	10,05	119,7
Moyenne à long terme			134,8

Sur la base de ces tableaux, on part d'un ordre de grandeur approximatif pour la quantité de production de 120 m³/an de déchets conditionnés à stocker pour la centrale nucléaire de Doel. Il s'agit de déchets de faible et moyenne activité sans distinction entre les déchets de catégorie A et B.

3.4.4.3 Éléments combustibles

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 éléments combustibles. Après trois à quatre ans dans le cœur du réacteur, un élément combustible est épuisé, ce qui signifie que toute l'énergie utilisable a disparu. Ces éléments combustibles épuisés sont refroidis sous eau (généralement pendant 5 à 10 ans) puis transportés vers le bâtiment de stockage pour combustibles usés (bâtiment des conteneurs de matière fissile, BCMF, qui se trouve sur le site de la centrale nucléaire), en attendant la décision sur la gestion à long terme^{lxvii}. Le BCMF est une installation de stockage à sec d'éléments combustibles dans des conteneurs de type 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, ceux-ci sont équipés d'un couvercle primaire et d'une protection anti-missile. La densité des soudures qui assurent le confinement des matières radioactives est contrôlée en permanence. La sûreté des installations de stockage pour les combustibles irradiés a été réévaluée à l'aide de tests de résistance ou de stress tests, imposés à la suite de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima. Ces évaluations 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 de stockage.

On estime que la capacité de stockage actuelle du BCMF (165 conteneurs de matière fissile au maximum) devrait être saturée après 2024. Afin de pouvoir continuer à stocker temporairement le combustible usé des réacteurs la CNDdoel, une nouvelle capacité de stockage est fournie par le projet « Spent Fuel Storage Facility » (SF²), pour lequel

l'évaluation des incidences sur l'environnement (EIE) est en cours de préparation dans le cadre de la procédure d'autorisation^{lxix}. Le projet SF² prévoit la construction de trois bâtiments : SFB (le bâtiment principal pour le stockage du combustible usé dans des conteneurs, également de type DPC), AUX (le bâtiment auxiliaire), et ASB (le bâtiment de stockage des équipements). Le projet SF² permet de vider les quais de désactivation des unités nucléaires après l'arrêt définitif des unités^{lxix}.

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 l'unité. Le Tableau 42 indique le nombre d'éléments combustibles définitivement déchargés chaque année dans les différentes unités de réacteur, sur la base des données de la déclaration environnementale de la CNDoeI^{lxvii}. Les mêmes informations figurent dans le Tableau 43, exprimées en tHM (ton Heavy Metal/tonnes de métaux lourds).

Tableau 42 : Nombre d'éléments combustibles définitivement déchargés dans les différentes unités de réacteurs de la CNDoeI.

	Doel 1	Doel 2	Doel 3	Doel 4	Doel 1 et 2	Total CNDoeI
2011	32	28	44	52	60	156
2012	36	32	44	60	68	172
2013	0	32	0	0	32	32
2014	36	28	0	56	64	120
2015	60	0	44	52	60	156
2016	28	40	40	0	68	108
2017	28	32	0	60	60	120
2018	0	28	40	56	28	124
2019	24	28	40	0	52	92
Moyenne à long terme					55	120

Tableau 43 : Nombre de tonnes de matières fissiles (tHM ou tonne de métaux lourds) définitivement déchargées dans les différentes unités de réacteur de la CNDoeI.

	Doel 1	Doel 2	Doel 3	Doel 4	Doel 1 et 2	Total CNDoeI
2011	8,5	7,4	20,2	28,1	15,9	64,2
2012	9,5	8,5	20,2	32,4	18,0	70,7
2013	0,0	8,5	0,0	0,0	8,5	8,5
2014	9,5	7,4	0,0	30,2	17,0	47,2
2015	15,9	0,0	20,2	28,1	15,9	64,2
2016	7,4	10,6	18,4	0,0	18,0	36,4
2017	7,4	8,5	0,0	32,4	15,9	48,3
2018	0,0	7,4	18,4	30,2	7,4	56,1
2019	6,4	7,4	18,4	0,0	13,8	32,2
Moyenne à long terme					14,5	47,5

Sur la base des tableaux ci-dessus, on peut constater que la production annuelle supplémentaire des centrales de Doel 1 et 2 représente une consommation supplémentaire moyenne de 55 éléments combustibles, soit 14,5 tHM de matières fissiles.

3.5 Effets en cas de désactivation

3.5.1 Fonctionnement normal

En cas de désactivation de Doel 1 et 2, les rejets radioactifs liés à l'exploitation de ces unités de production d'énergie cesseront. Dans la phase post-opérationnelle et le démantèlement, des rejets limités peuvent encore se produire, mais cela dépasse le champ d'application de la présente EIE et ceux-ci seront similaires à ceux de la phase post-opérationnelle et de démantèlement en cas de report de la désactivation, mais avec un arrêt en 2025. Cependant, des niveaux très limités de radioactivité dus à l'accumulation de radionucléides à longue durée de vie pendant la durée de vie de Doel 1 et 2 resteront dans l'environnement après l'exploitation pour la production d'énergie, ainsi que ceux de Doel 3 et 4 (voir pour le Cs-137 § 3.6.1.1). Ces niveaux de radioactivité ne sont toutefois pas, ou que peu mesurables et leurs effets sur la santé humaine et la biote non humaine sont tout à fait négligeables. La désactivation signifie également qu'aucun nouveau déchet radioactif (opérationnel) ou combustible usé n'est généré.

3.5.2 Accidents

En cas de désactivation de Doel 1 et 2, les risques d'accident seront limités aux accidents survenant lors de l'enlèvement et du transport des éléments combustibles du réacteur et des quais à combustible. En fonction du temps de refroidissement entre la dernière irradiation des éléments combustibles et leur retrait, le terme source peut présenter une teneur isotopique différente. Le contenu des deux réacteurs ne provoquera pas d'accidents plus graves que dans le cas d'un report de la désactivation.

3.6 Effets en cas de report de la désactivation

3.6.1 Impact sur la santé humaine

3.6.1.1 Fonctionnement normal

Si la désactivation de Doel 1 et 2 est reportée, les rejets gazeux et liquides associés au fonctionnement normal de ces deux unités se poursuivront jusqu'en 2025. Les rejets sont entièrement déterminés par le fonctionnement des unités et liés à la capacité thermique et au traitement des effluents liquides et gazeux. Comme aucun changement fondamental n'a été apporté à l'exploitation de la centrale dans le cadre du plan d'action intégré pour l'exploitation après 2015 (examen décennal, Long Term Operation et action BEST - tests de stress), tel qu'une augmentation de la puissance thermique, on peut supposer que les effluents radioactifs tant atmosphériques que liquides seront rejetés dans les mêmes conditions et en quantités très similaires à celles des années précédentes et comme décrit au § 3.4 (situation actuelle).

Les rejets sont en outre surveillés en permanence, doivent être signalés conformément aux directives de l'AFCN et sont contrôlés par l'AFCN et le Bel-V. Cette surveillance et ce contrôle permettent de s'assurer que les limites de rejet ne sont pas dépassées. Ces limites de rejet, telles que décrites dans la méthodologie (§ 3.3), garantissent que l'impact radiologique est limité et n'atteint certainement pas la valeur de 1 mSv/an de dose efficace pour la personne la plus exposée.

L'impact radiologique des rejets tant atmosphériques que liquides pour l'ensemble du site de la CNDoel restera donc similaire en cas de désactivation de Doel 1 et 2 et s'élèvera à environ 0,02 mSv/an pour la personne la plus exposée.

De plus, le programme de surveillance à proximité de la CNDoel, réalisé par l'AFCN d'une part et par l'exploitant d'autre part, assure une surveillance continue des niveaux de rayonnement et de radioactivité à proximité de la CNDoel. Outre la surveillance de la dose potentielle par les différentes voies d'exposition par an, l'accumulation

potentielle d'un certain nombre de radionucléides artificiels dans l'environnement peut également être surveillée. L'exploitation des centrales nucléaires pendant toute leur durée de vie permet à certains radionucléides ayant des demi-vies suffisamment longues de s'accumuler dans le sol. Dans la Figure 41, cela est illustré sous des hypothèses simples pour l'accumulation de Cs-137 dans le sol après dépôt dans le cadre de rejets atmosphériques (un dépôt maximum moyen par an correspondant aux rejets moyens par an a été utilisé). On obtient ainsi l'accumulation de Cs-137 en fonction de la durée d'exploitation de la CNDoeel (les lignes grises de la figure le montrent pour la contribution individuelle des différentes unités Doel 1 à 4). Si l'on considère la demi-vie du Cs-137 ($T_{1/2} = 30,05$ ans), on observe une courbe croissante (accumulation) après le démarrage des différentes unités (années 1975-1986), qui commence à se courber légèrement au fur et à mesure que l'on avance dans le temps (ceci est dû à un équilibre d'ajustement entre ce qui est déposé en plus par an et la désintégration radioactive). À partir de 2016, nous avons deux courbes différentes : une pour le report de la désactivation en 2015 et une pour la désactivation en 2015 de Doel 1 et 2. En cas de désactivation, la concentration de Cs-137 commencera à diminuer immédiatement en raison de la désintégration radioactive, qui est plus importante que le dépôt de Cs-137 par Doel 3 et 4. En cas de report de la désactivation, la courbe continuera à monter jusqu'en 2026, après quoi elle commencera à décliner, entièrement sous l'effet de la désintégration radioactive. Dans les calculs, nous avons supposé que Doel 3 restera opérationnel jusqu'à la fin de 2022 et Doel 4 jusqu'en 2025. Il est également important d'examiner l'ampleur de l'effet. La différence maximale entre le report de désactivation et la désactivation en 2025 est d'environ 2,7 Bq/m² de Cs-137. Les valeurs absolues doivent être comparées à une contamination de surface de 1810 Bq/m² Cs-137 telle que mesurée par exemple par spectrométrie gamma in situ en 1996 (en 2025, après correction pour la désintégration radioactive, donc toujours environ 900 Bq/m²). Cette valeur est une moyenne pour la Belgique et est due à l'accident de Tchernobyl (1986) et aux essais de bombes atomiques en surface effectués principalement dans les années 1950-60. Cette accumulation est également suivie dans le programme de surveillance qui échantillonne et analyse à la fois les sols et les sédiments pour ces radionucléides, mais aussi les bio-indicateurs qui concentrent spécifiquement la radioactivité. En d'autres termes, l'effet de l'accumulation de Cs-137 dans le sol et donc certainement la différence entre la désactivation ou le report de désactivation en 2015 n'est pas observable. Pour les nucléides à courte durée de vie, aucune accumulation ne se produira sur une période plus longue, car un équilibre entre le dépôt et la désintégration est atteint très rapidement. De même pour le carbone 14 à longue durée de vie (C-14, $T_{1/2} = 5700$ ans), il n'y aura pas d'accumulation significative car le consensus est (relativement bien étayé par les observations) qu'il existe un équilibre entre les concentrations dans l'air et dans le sol^{lxx}.

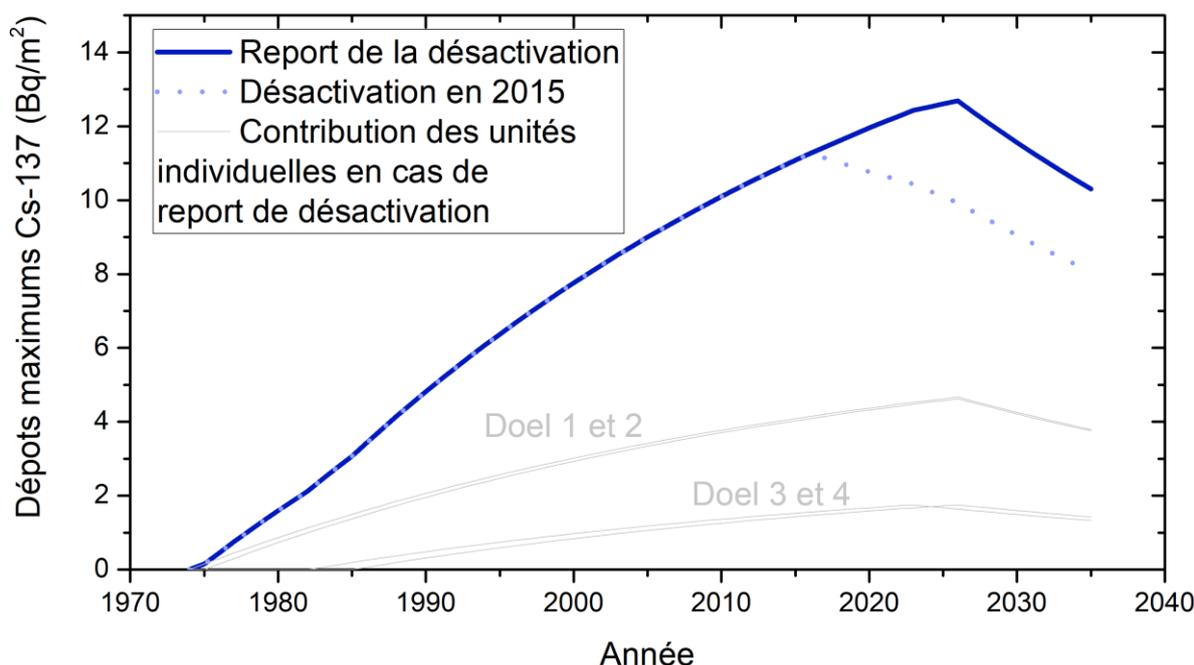


Figure 41 : Accumulation des dépôts maximum de Cs-137 en Bq/m² sur la durée de vie de la CNDoel avec désactivation en 2015 de Doel 1 et Doel 2 et report de la désactivation en 2025 de Doel 1 et Doel 2. La contribution des différentes unités en cas de report de la désactivation est aussi présentée.

3.6.1.2 Accidents

Dans cette section, l'impact radiologique des accidents à la CNDoel (1 et 2) sur la santé humaine en Belgique est examiné. Dans une première partie, les réacteurs de la CNDoel sont abordés dans le contexte des centrales nucléaires du monde entier ainsi que des accidents historiques avec des réacteurs similaires. Les différents scénarios envisagés pour Doel 1 et 2 et leur impact calculé sont ensuite discutés. [Référence EIE travaux]

Doel 1 et 2 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^{lxxi}, toute une flotte de centrales nucléaires PWR a été construite dans le monde entier. Fin 2019, il y avait 361 centrales nucléaires PWR existantes dans le monde (en exploitation et hors service), selon les données de l'AIEA^{lxxii}. Cette flotte mondiale de PWR est exploitée, depuis la mise en service du premier PWR, depuis 7.806 années au total sur la base des données disponibles dans le PRIS de l'AIEA^{lxxiii}. 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 concernent les incidents, tandis que les INES 4 à 7 concernent les accidents^{lxxiv}.

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 l'unité 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 ^{lxxv}, ^{lxxvi} et ^{lxxvii}). 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.

Comme décrit au § 3.3.2 Scénarios d'accident, deux scénarios d'accident^{lxxviii} de base de conception et un scénario d'accident d'extension de conception^{lxxix} ont été envisagés pour Doel 1 et 2. Les deux accidents de base de conception, c'est-à-dire i) la rupture principale d'une conduite primaire (« Loss Of Coolant Accident » - LOCA) et ii) la chute d'un élément combustible irradié (« Fuel Handling Accident » - FHA), ont été décrits lors de la conception et leur impact radiologique a été évalué dans le passé (pour la première fois en 1972)^{liii}. Dans le cadre des plans d'action intégrés pour l'exploitation à long terme, un nouveau composant a été installé dans les deux unités, à savoir le « Containment Filtered Venting System » (CFVS), qui a une influence sur l'impact radiologique de l'accident LOCA. L'impact radiologique des deux scénarios se situe à la limite du site de la CNDoel, en dessous des limites d'autorisation établies dans les données générales de la CNDoel en vertu de l'article 37 du Traité de Rome^{liii}.

L'accident d'extension de la conception a été récemment décrit et son impact radiologique évalué [EIE travaux]. Le scénario envisage une panne de courant complète (« Complete Station Black Out » - CSBO) provoquant une fusion du cœur et une défaillance de la cuve du réacteur, suivies d'une mise sous pression du confinement au-dessus de la pression de conception. Ensuite, la radioactivité est rejetée dans l'environnement via le CFVS [EIE travaux]. Ce scénario est un accident DEC-B qui couvre presque tous les scénarios DEC-B possibles et aussi toutes les conditions DEC-A. Si cet accident se produit, le rejet résultant dans l'atmosphère serait similaire à celui de l'accident de TMI, car le système CFVS ne laisse majoritairement passer que des gaz nobles. L'impact radiologique qui en résulte dépend du terme source lui-même, mais aussi des caractéristiques de rejet et des conditions météorologiques. L'impact radiologique calculé démontre qu'au bord de la CNDoel, l'impact reste inférieur à la limite d'autorisation pour les accidents telle que définie dans les données générales pour la CNDoel en vertu de l'article 37 du Traité de Rome [travaux-EIE].

Si la désactivation de Doel 1 et 2 est reportée, il est clair que le risque d'accident au cours de la période 2015-2025 est plus important qu'en cas de désactivation de Doel 1 et 2, et cela vaut également pour l'ensemble du site de la CNDoel en raison de la poursuite de l'exploitation des deux réacteurs. Toutefois, il convient de noter, compte tenu des travaux réalisés dans le cadre du projet LTO et BEST, que la probabilité et les effets d'un accident ont diminué depuis 2019 dans les unités Doel 1 et 2 pour la même quantité d'électricité produite qu'auparavant. Cela s'applique également à l'ensemble du site de la CNDoel, car la probabilité d'accidents et l'impact radiologique possible concernant les unités Doel 3 et 4, le bâtiment de traitement des eaux et des déchets (TED) et le bâtiment des conteneurs de matière fissile (BCMF) restent les mêmes au cours de la période considérée (ou diminuent à partir de 2022 en raison de l'arrêt de Doel 3).

L'analyse de la probabilité d'occurrence et des effets des accidents est une analyse statistique dans laquelle on ne peut jamais exclure complètement que des accidents se produisent et que les mesures nécessaires doivent être prises pour protéger la population et l'environnement. Dans ce cas, le plan d'urgence nucléaire et radiologique pour le territoire belge sera en vigueur (voir § 3.8).

3.6.2 Effets radiologiques sur la biodiversité (faune et flore)

3.6.2.1 Effets sur la faune et la flore en fonctionnement normal

Comme mentionné précédemment, il n'existe pas en Belgique de directives ou de cadre réglementaire pour évaluer l'impact des rayonnements sur l'environnement (faune et flore). Notre évaluation est donc qualitative.

Dans les environs de la centrale nucléaire de Doel, il existe plusieurs réserves naturelles de grande valeur qui sont protégées par la loi, comme l'estuaire de l'Escaut et de la Durme, de la frontière néerlandaise à Gand, et les zones de protection néerlandaises de l'Escaut occidental et de Saefthinghe (zones relevant de la directive Habitats). Ces

deux zones sont également des zones importantes au regard de la directive Oiseaux, qui comprennent diverses zones humides telles que des marais marécageux, des roselières imperméables, des vasières et des marais saumâtres. L'écosystème unique des eaux saumâtres est d'une importance cruciale pour les oiseaux nicheurs, les oiseaux d'eau hivernants et migrateurs, y compris les espèces protégées d'oiseaux nicheurs comme le busard des roseaux, le gorgebleue et l'avocette (énumérées à l'annexe I de la directive Oiseaux)^{lxxx}. C'est également un lieu de reproduction pour diverses espèces de poissons et il existe de nombreuses autres espèces végétales et animales protégées.

Impact des rejets de routine

Au cours de la période 2010-2011, des études ont été réalisées par le Centre d'étude de l'énergie nucléaire pour le compte d'Electrabel sa afin d'évaluer l'impact radiologique des rejets atmosphériques et liquides de routine sur l'environnement^{lxxxi, lxxxii, lxxxiii}. L'outil ERICA (Environmental Risk from Ionising Contaminants Assessment and Management tool), l'outil de référence pour les biotes, a été utilisé pour les calculs^{lxxxiv}. L'impact potentiel est estimé en utilisant un quotient de risque (QR), défini comme le rapport entre le débit de dose calculé (PEDR) et un débit de dose sans effet estimé comme valeur de screening (PNEDR). La valeur indicative proposée par ERICA de 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ a été utilisée comme niveau de référence. Comme indiqué précédemment, à de tels débits de dose, on suppose que les écosystèmes sont protégés.

Les analyses d'impact ont été réalisées, d'une part, pour les limites de rejets atmosphériques et liquides du site de Doel. La valeur de screening de 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ n'a jamais été dépassée malgré des hypothèses prudentes supplémentaires, par exemple en ce qui concerne la dispersion des radionucléides. Les rejets réels étaient inférieurs à 1 % des limites de dose et les débits de dose résultants étaient des ordres de grandeur inférieurs à la valeur indicative, tandis que les QR associés étaient $< 0,01$.

On peut conclure du fait que les rejets provenant des unités de réacteur de Doel 1 et 2 s'élèvent à 50-60 % de ceux de l'ensemble du site de Doel (composé de quatre unités de réacteur) qu'il est très peu probable que les rejets de routine des réacteurs Doel 1 et 2 aient un impact sur l'environnement et, par conséquent, sur la biodiversité des zones proches de la directive Habitats ou d'autres zones naturelles et écosystèmes (protégés). Étant donné que les rejets sont restés relativement stables au cours des deux dernières décennies, on peut supposer que cette tendance se poursuivra si l'exploitation des systèmes Doel 1 et 2 est prolongée de 2015 à 2025 et que, par conséquent, le risque futur d'impacts environnementaux des rejets de routine est inexistant. Cette conclusion est conforme à la convention OSPAR dont l'un des principaux objectifs est de protéger la zone maritime contre les effets néfastes des activités humaines afin de sauvegarder la santé humaine et de conserver l'écosystème marin.

3.6.2.2 Effets radiologiques sur la faune et la flore en cas d'accident

En ce qui concerne les scénarios accidentels, comme décrit précédemment, trois scénarios sont envisagés, à savoir (1) un accident de perte de réfrigérant (LOCA – loss-of-coolant accident) ; (2) un accident de traitement de combustible (FHA - fuel handling accident) et (3) une Complete Station Black-Out (CSBO) d'une des unités du réacteur. Les deux premiers scénarios d'accident sont des Design Basis Accidents (DBA), le dernier scénario est un Beyond Design Basis Accident (BDBA). Une description plus détaillée de ces scénarios figure au § 3.6.1.2.

Dans les Design Based Scenarios (DBA), seuls des gaz nobles et des radio-isotopes d'iode sont libérés et seuls les isotopes d'iode précipitent. Le LOCA entraîne des niveaux de dépôt plus élevés que le FHA^{lxxxiv} (sur la base d'une exposition de la thyroïde plus faible en cas de FHA qu'en cas de LOCA). Si l'on se base sur les valeurs de dépôt du Tableau 8-22 de l'EIE de 2010 de la centrale nucléaire de Doel (Partie II p. 250)^{lxxxv}, le débit de dose ne dépasse jamais 45 $\mu\text{G h}^{-1}$, malgré des hypothèses très prudentes (dose la plus élevée pour les invertébrés, les vers de terre, les amphibiens, les reptiles et les mammifères). Même si l'on approche les dépôts de manière cumulative (en tenant compte de la désintégration), le débit de dose ne dépasse jamais 45 $\mu\text{G h}^{-1}$. Ce débit de dose se situe dans la plage de 10-100 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ où la probabilité que l'écosystème soit protégé est considérée comme très élevée (Tableau 32). Pour la plupart des organismes, après quatre jours d'exposition et pour tous les organismes après 30 jours, le débit de dose a diminué à $< 10 \mu\text{G h}^{-1}$. Pour rappel, les valeurs indicatives ou seuils sont déduites pour une exposition chronique alors que le scénario accidentel donné concerne une charge de dose aiguë et transitoire (limitée).

Avec le BDBA, divers radionucléides, dont l'I-131, l'I-133, le Cs-134, le Cs-137, le Sr-89, le Sr-90, le Ba-140, l'Am-241, sont rejetés, mais en quantités si faibles (facteur de dépôt estimé 1000 fois inférieur à celui du scénario accidentel d'un LOCA) qu'il n'y a pas d'impact de ce scénario sur la faune et la flore ou la biodiversité en général.

L'accident nucléaire le plus grave survenu dans une centrale PWR, à savoir à Three Mile Island en 1979 (décrit au § 3.6.1.2 Accidents), n'était mesurable qu'à proximité de la centrale nucléaire. La dose efficace maximale estimée encourue par la population à proximité était de 1 mSv^{lxv} et dans ces conditions, aucun effet sur la faune et la flore n'est attendu.

3.6.2.3 Conclusion

Comme les rejets radioactifs de routine et les scénarios accidentels envisagés n'ont aucun effet sur la faune et la flore, on peut conclure que le report de la désactivation de Doel 1 et 2 n'a aucun impact négatif sur la biodiversité du fait des rejets radioactifs.

3.6.3 Effets sur les déchets radioactifs, combustibles usés et démantèlement

3.6.3.1 Déchets radioactifs

Le report de la désactivation des réacteurs nucléaires Doel 1-2 entraînera la production de déchets radioactifs de faible et moyenne activité supplémentaires. Sur la production moyenne de 120 m³ de déchets conditionnés par an pour la CNDoel (voir § 3.4.4.2), environ 1/3 est dû à Doel 1-2, soit 40 m³/an. Cela correspond approximativement au rapport entre la part des deux réacteurs et la puissance totale, ou la quantité totale d'électricité produite. À titre de comparaison, au cours de la période 2005-2015, le double réacteur représentait 32 % de la production brute et 34 % de la production nette d'électricité à Doel. Il convient toutefois de noter qu'une grande partie des déchets n'est pas liée à la quantité d'électricité produite. Ils sont produits lors de travaux sur des installations, du nettoyage ou du lavage de vêtements de travail^{lxvii}. Pour cette fraction également, on suppose que 1/3 est une bonne approximation de la part de Doel 1 et 2.

Sur cette base, une production supplémentaire cumulée de 400 m³ de déchets de faible et moyenne activité à stocker est attendue au cours de la période de référence 2015-2025. Il s'agit principalement de déchets de catégorie A, avec seulement une quantité limitée de déchets de catégorie B. Il est probable que seuls les résines et les filtres de la CSD (Chemical System Decontamination) entreront dans cette dernière catégorie (informations d'Electrabel sa). Par rapport aux ~50 000 m³ de déchets de catégorie A actuellement inclus comme terme source dans le dossier de sûreté du stockage de surface^{lxviii}, cela représente une augmentation marginale de 0,8 %.

En supposant que la quantité de déchets de catégorie B soit négligeable, le volume supplémentaire de déchets correspond à environ 250 monolithes ou un quart de 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'un éventuel report de la désactivation de Doel 1-2) : 28,6 modules ;
- Une réserve de ~20 % (5,4 modules), dont une décision de prolongation de Doel 1-2 consomme donc un quart de module ou ~5 %.

On suppose que ces déchets sont conformes aux critères d'acceptation établis par l'ONDRAF, qui comprennent notamment des critères relatifs aux matières fissiles et à la criticité, ainsi que des limites de concentration d'activité au niveau des radionucléides pour les déchets. 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.

3.6.3.2 Combustibles usés

Quantités cumulées

Comme pour les déchets radioactifs, une estimation est faite du nombre cumulé d'éléments combustibles qui seront consommés au cours de la période de référence 2015-2025. Sur la base d'une décharge moyenne de 55 éléments combustibles par an pour Doel 1 et 2 (voir Tableau 42), la consommation supplémentaire cumulée résultant du report de la désactivation est estimée à 550 éléments combustibles.

L'ONDRAF prend également en compte un nombre supplémentaire d'éléments combustibles d'environ le même ordre de grandeur (609 pièces, voir Tableau 44) résultant de la prolongation de l'exploitation de Doel 1 et 2. Cela peut être déduit des projections avant et après 2015 du nombre d'éléments combustibles usés à la fin de la durée de vie des centrales nucléaires belges, telles que considérées par l'ONDRAF. Les assemblages de combustible d'une longueur de 8 pieds (UOX 8ft dans le Tableau 44) sont ceux qui sont chargés - exclusivement - à Doel 1 et 2.

Tableau 44 : Aperçu des différents types et du nombre d'éléments combustibles usés à la fin de la durée de vie des centrales nucléaires belges.

	Désactivation 2025		Désactivation 2015		Différence	
	# éléments combustibles	tHM	# éléments combustibles	tHM	# éléments combustibles	tHM
UOX 8ft	2.359	625	1.750	464	609	161
UOX 12ft	5.109	2.350	5.109	2.350		
UOX 14ft	3.426	1.850	3.426	1.850		
MOX 12ft	144	66	144	66		
total UOX	10.894	4.825	10.285	4.664		
total UOX/MOX	11.038	4.891	10.429	4.730		

Pondéré par rapport à l'ensemble du parc belge de réacteurs, cela correspond à une consommation supplémentaire de 5,8 % en nombre d'assemblages de combustible, soit 3,4 % en tonnes de métal lourd (tHM). Compte tenu de cette quantité relativement limitée et en supposant que les propriétés (par exemple la combustion) de ces éléments seront similaires à celles des éléments combustibles existants, on ne s'attend à aucune incidence sur leur gestion future.

Nous vous rappelons que le combustible usé, tant qu'il est la propriété de SYNATOM et n'est pas transféré à l'ONDRAF, n'est pas considéré comme un déchet radioactif. Les choix politiques à faire en ce qui concerne la gestion à long terme du combustible auront des implications sur la nature et les quantités de déchets de catégories B et C à stocker finalement. Dans son programme RD&D, l'ONDRAF prend en compte l'option de stockage direct du combustible usé avec un concept de stockage adapté (superconteneur) pour chaque type. Comme quatre assemblages de combustible UOX peuvent être emballés par superconteneur, 600 assemblages de combustible supplémentaires faisant suite au report de la désactivation de Doel 1 et 2 correspondent à ~150 superconteneurs supplémentaires ou ~630 m de longueur de galerie de stockage supplémentaire.

Stockage

Dans la CND, les éléments combustibles sont temporairement stockés à sec dans des conteneurs dans le BCMF (voir § 3.4.4.3). En raison du report de la désactivation de Doel 1 et 2, la déconnexion du réseau des quatre unités sera condensée en quelques années (2022-2025), alors qu'elle se serait autrement étalée sur une période plus longue. Electrabel se assure qu'il y aura une capacité de stockage suffisante pour les éléments combustibles, grâce à la construction prévue de l'installation de stockage SF² ^{lxix}, pour laquelle la procédure d'autorisation est en cours. Le bâtiment BCMF (bâtiment des conteneurs de matière fissile) existant sera principalement utilisé pour le stockage des assemblages combustibles Doel 1-2, et le bâtiment SFB pour le stockage des assemblages combustibles Doel 3 et 4. Les bassins de désactivation font office de tampon dans lesquels les assemblages combustibles peuvent refroidir. Des informations plus détaillées sur le projet SF² sont disponibles dans le rapport EIE correspondant ^{lxix}.

L'AIEA a mené un programme de recherche international ^{lxxxvii} (projet SPAR : Spent Fuel Performance and Research Program, 1997-2001) sur le comportement du combustible nucléaire irradié et des matériaux utilisés pour son stockage 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.

3.6.3.3 Déchets de démantèlement

Lors du démantèlement, des composants radioactifs sont retirés des centrales et de grandes quantités de déchets radioactifs sont donc produites. Une partie de ces déchets est due à l'activation neutronique de grands composants (de structure). Cette activation se produit pendant le fonctionnement de la centrale et est généralement estimée par des calculs. 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. Étant donné que la classification des déchets (catégorie A ou B) dépend de la quantité totale de nucléides importants pour la sûreté, on s'attend à ce qu'une exposition prolongée aux neutrons puisse éventuellement entraîner un changement de catégorie de déchets (par exemple, de la catégorie A à la catégorie B). En raison de la masse élevée de ces matériaux, une activation plus importante a donc potentiellement un effet significatif sur la quantité de déchets générés (catégorie A et B) lors du démantèlement. Il n'y a actuellement que peu ou pas de données de mesure disponibles pour vérifier ces calculs.

Afin de pouvoir estimer quantitativement l'effet d'un report de la désactivation de 10 ans, un calcul de l'activation de la cuve de réacteur de Doel 1 et 2 a été effectué en utilisant le code d'activation ALEPH2 ^{lxxxviii}. Pour la composition de la cuve du réacteur, on a supposé la composition donnée par Gerard *et al.* (1996) ^{lxxxix} : la cuve du réacteur est composée d'anneaux en acier Soudotenax 56 et la composition en pourcentage de poids des éléments principaux est donnée dans le Tableau 45.

Tableau 45 : Composition des principaux éléments de la cuve du réacteur (en % de poids).

C	Co	Cr	Mn	Ni	P	S	Si	Mo	Cu
0,147	0,012	0,58	0,96	0,79	0,01	0,01	0,25	0,35	0,085

Ces éléments déterminent le comportement thermochimique 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 ^{xc} a été utilisée.

Les calculs d'activation ont ensuite été effectués à l'aide du code ALEPH2 sur un volume de contrôle de la cuve du réacteur, sur la base d'une irradiation avec un spectre neutronique normalisé prédéfini (Figure 42) normalement

observé sur la section transversale médiane d'une cuve de réacteur thermique à eau légère. Un flux énergétique intégré constant de $4,75 \times 10^{10}$ [n/cm²s] a été utilisé, basé sur la fluence maximale de la cuve du réacteur de Doel 1 et 2 après 40 ans de fonctionnement.

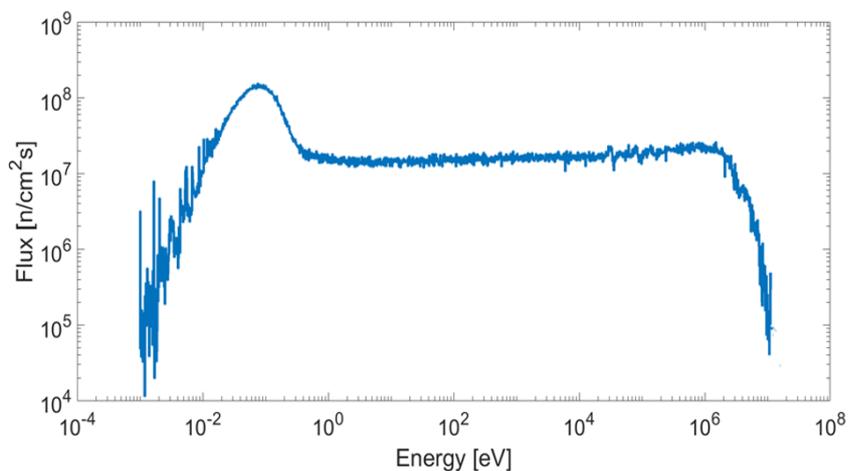


Figure 42 : Flux à travers la cuve du réacteur en fonction de l'énergie neutronique sur la section transversale centrale d'une cuve de réacteur Doel I/II utilisée par le code ALEPH2.

Les calculs ont été effectués afin d'obtenir, sur une base relative, une estimation de la façon dont l'activité des isotopes présents change à la suite de l'activation par les neutrons après respectivement 40 et 50 ans de fonctionnement du réacteur. À cette fin, les deux cas de calcul suivants ont été utilisés (Figure 43) :

- Un calcul avec une irradiation constante sans désintégration, avec des pas de temps égaux à l'Electric Full Power Day (EFPD) actuel de Doel I pendant la période 1974-2015 ;
- Un calcul avec désintégration radioactive entre les cycles, en supposant une durée moyenne d'irradiation par cycle de 30 Electric Full Power Years répartie uniformément sur 40 ans de fonctionnement : chaque cycle comprend donc 274 jours d'activation suivis de 91 jours de désintégration.

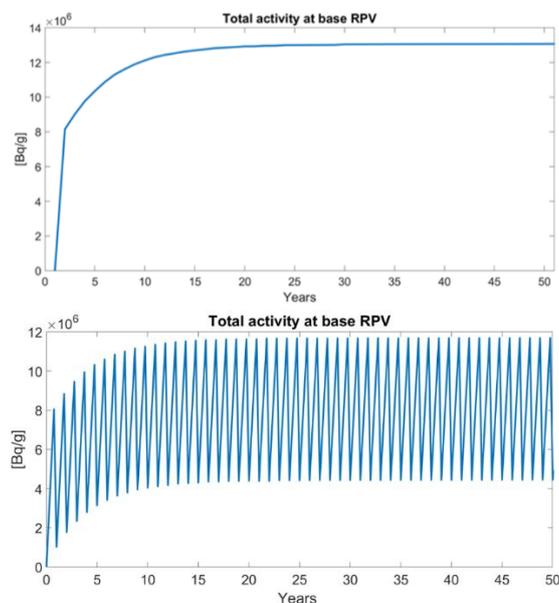


Figure 43 : Activité cumulée de l'inventaire isotopique dans le volume de contrôle de la cuve du réacteur, en fonction du temps (au-dessus : irradiation constante ; en dessous : avec désintégration entre les cycles).

Les résultats des deux cas de calcul sont relativement similaires :

- L'activité totale dans la cuve du réacteur activé après 50 ans d'irradiation est dominée (immédiatement après l'arrêt) par des radionucléides à vie relativement courte, les principaux étant ^{56}Mn ($T_{1/2}$ 2.5789 h) et ^{55}Fe ($T_{1/2}$ = 2.737 y). Dans la liste des 10 nucléides qui contribuent le plus à l'activité totale, un changement relatif est mesuré uniquement pour les nucléides suivants : ^{60}Co ($T_{1/2}$ = 5.27 y) 0.4-0.7 % et ^{63}Ni ($T_{1/2}$ = 100 y) 22,0-23,4 % d'augmentation après 50 et 40 ans d'exploitation, respectivement. Cependant, l'activité totale absolue change peu ;
- Pour la plupart des isotopes à longue durée de vie (^{14}C $T_{1/2}$ = 5700 y, ^{36}Cl $T_{1/2}$ = $3\text{E}+05$ y, ^{41}Ca $T_{1/2}$ = $1\text{E}+05$ y, ^{59}Ni $T_{1/2}$ = $7.6\text{E}+04$ y, ^{63}Ni $T_{1/2}$ = 100 y, ^{79}Se $T_{1/2}$ = $3.3\text{E}+05$ y, ^{93}Zr $T_{1/2}$ = $1.5\text{E}+06$ y, ^{94}Nb $T_{1/2}$ = $2\text{E}+04$ y, ^{93}Mo $T_{1/2}$ = 4000 y, ^{99}Tc $T_{1/2}$ = $2.1\text{E}+05$ y), l'activité augmente d'environ 25 % (22-28 %) à une prolongation de la durée de vie de 40 à 50 ans. Cela reflète le fait que l'activation se poursuit proportionnellement à la prolongation de l'irradiation, et que ces isotopes ne se désintègrent pas pendant la durée de vie de la centrale. Cependant, en raison de leur faible abondance (occurrence limitée), cette augmentation a peu d'effet sur l'activité absolue totale.

On peut donc conclure de ce calcul 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 de la centrale, 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 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). En général, on peut toutefois s'attendre à un léger glissement vers des classes de déchets « plus lourdes », sans toutefois poser de problèmes pour la gestion à long terme de ces classes.

3.7 Effets transfrontières

3.7.1 Fonctionnement normal

La frontière avec les Pays-Bas est la plus proche, à environ 3,15 km du site de la CNDDoel. Cependant, étant donné que l'impact radiologique négligeable et indétectable (0,02 mSv/an) pendant le fonctionnement de toutes les unités de la CNDDoel pour la personne la plus exposée se situe sur le territoire belge juste à l'extérieur du site de la CNDDoel et que l'impact ne fait que diminuer avec la distance, on peut affirmer qu'il n'y a pas d'effets transfrontières pendant le fonctionnement normal de Doel 1 et 2, autrement dit en cas de report de la désactivation de Doel 1 et 2.

3.7.2 Accidents

Dans cette section, l'impact radiologique en dehors des frontières belges est abordé pour les scénarios d'accident. Comme mentionné au §3.3.2, il existe des limites d'autorisation pour la frontière la plus proche, à savoir les Pays-Bas à 3,15 km, pour les deux accidents de base de conception, mais il n'existe pas de limites légales spécifiques ou de limites pour l'impact radiologique transfrontière à plus longue distance. La valeur de limite de dose de 1 mSv/an pour l'exploitation normale, telle que spécifiée à l'article 12 de la directive 2013/59/Euratom, peut toutefois être utilisée comme valeur indicative. Comme décrit au § 3.8, l'approche HERCA-WENRA^{xc} prévoit que le pays voisin ne prenne pas de mesures entrant en conflit avec celles du pays source ou allant au-delà. Dans ce contexte, les valeurs indicatives d'intervention du plan d'urgence nucléaire et radiologique sur le territoire belge peuvent également être utilisées comme valeurs indicatives pour les effets transfrontières. Dans ce paragraphe, trois cas/études sont examinés dans le contexte des impacts transfrontières, dans le but de fournir un aperçu complet de l'impact radiologique transfrontière potentiel des accidents à la CNDDoel : (i) le seul accident PWR historique, à savoir

l'accident de Three Mile Island, (ii) les scénarios d'accident envisagés pour les unités de Doel 1 et 2 et (iii) d'autres études pertinentes.

L'accident nucléaire le plus grave survenu dans une centrale PWR, à savoir à Three Mile Island en 1979 (décrit au § 3.6.1.2 Accidents), n'était mesurable qu'à proximité de la centrale nucléaire. La dose efficace maximale encourue par la population à proximité était de 1 mSv^{lxv}, ce qui est du même ordre de grandeur que les valeurs limites de 1 mSv/an pour le fonctionnement normal dans la directive européenne^{lxv}. Cette dose efficace encourue est inférieure aux valeurs indicatives belges pour la mise à l'abri de la population.

Les impacts radiologiques des deux accidents de base de conception pour la CNDDoel 1 et 2 à la frontière la plus proche, à savoir les Pays-Bas à environ 3,15 km de la CNDDoel, sont inférieurs aux limites d'autorisation des données générales pour la CNDDoel 1 et 2 et la dose efficace calculée pour la population donne 0,3 à 0,5 mSv (voir l'EIE travaux). L'accident d'extension de la conception donnerait une dose efficace encourue pour la population d'environ 0,5 mSv en tant qu'impact radiologique à la frontière la plus proche (voir EIE travaux). Ces valeurs sont aussi inférieures aux valeurs indicatives belges pour la mise à l'abri de la population. Là encore, il s'agit d'une analyse statistique dans laquelle on ne peut jamais exclure, en fonction des quantités réellement rejetées de radionucléides lors de l'accident et des conditions météorologiques, que des accidents ayant un impact radiologique plus important, dont la probabilité est plus limitée, puissent se produire.

Un exemple de la répartition géographique du risque d'accidents très graves dans les installations nucléaires en Europe a été examiné dans une étude financée par le gouvernement autrichien^{xcii}. Le projet a abouti à un outil basé sur le web, appelé FlexRISK, où l'impact de chaque installation nucléaire considérée peut être visualisé pour une année complète de données météorologiques (l'année 1995, l'étude elle-même a été réalisée pour 10 ans de données météorologiques). Doel 1 et 2 ont été considérées pour cette étude avec un « containment bypass accident » où une quantité nettement plus importante est rejetée avec une probabilité d'occurrence attribuée qui est cependant beaucoup plus faible. Outre le terme source lui-même, l'impact qui en résulte dépend des paramètres de rejet et des conditions météorologiques. Dans certaines simulations, la dose effective dépasse la limite de dose de 1 mSv/an des directives européennes et la limite de protection du plan d'urgence nucléaire et radiologique belge dans les pays voisins.

En cas d'accident ayant un impact radiologique transfrontière important (c'est-à-dire qui entraînerait un dépassement des niveaux d'intervention), les plans d'urgence nucléaire et radiologique nationaux seront activés pour protéger la population et l'environnement.

3.8 Mesures d'atténuation : plan d'urgence

3.8.1 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^{xciii}.

En cas d'urgence nucléaire ou radiologique, les objectifs sont les suivants :

- a) Reprendre le contrôle de la situation et en limiter les conséquences ;
- b) Sauver des vies ;
- c) Éviter ou minimiser les effets déterministes graves ;
- d) Prodiger les premiers soins, assurer les traitements médicaux critiques et gérer le traitement des lésions dues aux radiations ;
- e) Réduire le risque d'effets stochastiques ;
- f) Tenir la population informée et maintenir la confiance du public ;
- g) Minimiser les effets non radiologiques ;

- h) Protéger autant que possible les biens et l'environnement ;
- i) Se préparer, dans la mesure du possible, à la reprise d'une activité sociale et économique normale.

L'exposition post-accident peut se produire par les mêmes voies d'exposition que celles décrites au § 3.3.

3.8.2 Cadre légal

3.8.2.1 Directives internationales et européennes

Le Tableau 46 présente les principales directives européennes et internationales relatives à la planification d'urgence nucléaire.

Tableau 46 : 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 ^{xciv}	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'arrêté royal du 1er mars 2018 portant fixation du plan d'urgence nucléaire et radiologique pour le territoire belge (voir Tableau 47).
IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1 ^{xcv}	Ces lignes directrices décrivent des réponses appropriées à une série d'urgences nucléaires ou radiologiques.
IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7 ^{xcvi}	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 ^{xcvii}	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 ^{xcviii}	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.

3.8.2.2 Législation belge

Vous trouverez ci-dessous un aperçu de la législation belge pertinente pour la planification d'urgence nucléaire (Tableau 47).

Tableau 47 : Législation belge pertinente pour la planification d'urgence nucléaire.

Nature	Contenu
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. ^{xcviii}	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) ^{xcix}	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) ^c	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) ^{ci}	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) ^{cii}	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 ^{ciii}	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. 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.

3.8.3 Plans d'urgence internes et externes pour les installations nucléaires de la CNDDoel

Le plan d'urgence de chaque unité 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 unité nucléaire de la CNDDoel, la salle des opérations de Doel (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 - Doel) gère les impacts environnementaux et assure la liaison avec le CGCCR^{civ}.

3.8.4 Harmonisation entre les pays limitrophes pour la CNDDoel

Il est souhaitable que les pays coordonnent au préalable leurs principes concernant l'approche à suivre en cas d'accident nucléaire transfrontière^{cv}. 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 de coopération européen 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 Belgique (et l'Allemagne) ont formulé des politiques visant à préparer des mesures de protection similaires en cas d'accident nucléaire (voir Tableau 48).

Tableau 48 : Zones de préparation établies par la Belgique et les Pays-Bas (rayon des cercles en km) autour de la centrale nucléaire de Doel pour les mesures de protection directes en cas d'urgence nucléaire.

Politique Belgique			Politique Pays-Bas	
	Zone de préparation	Zone d'extension		
Zone réflexe ³⁵	3.5			
Évacuer	10	20	Évacuer	10
Mettre à l'abri	20	100	Mettre à l'abri	20
Groupes cibles iode - Jusqu'à 40 ans et femmes enceintes - Jusqu'à 18 ans et femmes enceintes	20	100	Groupes cibles iode - Jusqu'à 40 ans et femmes enceintes - Jusqu'à 18 ans et femmes enceintes	20 100

3.8.5 Organisation des exercices de planification d'urgence pour la CNDDoel

La CNDDoel organise 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 la CNDDoel 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'exercices³⁵ :

- 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 49 illustre les exercices pour la CNDDoel au cours des 15 dernières années. Des exercices ont été organisés à dix reprises pour Doel 1 et/ou 2.

Tableau 49 : Exercices CNDDoel des 15 dernières années.

Date	Réacteur	Nature de l'exercice	Participation étranger ?
14/09/2020	2	Exercice limité (théorique)	/
21/03/2019	2	Exercice limité	/
8/05/2018	4	Exercice limité	/
21/11/2017	1,2,3,4,5	Exercice étendu	/
15/03/2016	1	Exercice limité	/
26/03/2015	4	Exercice limité	/

³⁵ Protection immédiate en cas de General Emergency – reflex mode (gouverneur).

14/10/2014	2	Exercice limité	/
22/10/2013	3	Exercice étendu	/
29/03/2012	2	Exercice limité	/
6/09/2011	4	Exercice limité	/
27/04/2010	1	Exercice étendu	/
19/10/2009 et 20/10/2009	1, 2, 3, 4	Exercice de grande ampleur	Oui, interaction bilatérale avec les Pays-Bas à tous les niveaux
16/09/2008	1	Exercice limité	/
2/05/2007		Exercice limité (exercice bac à sable)	/
7/09/2006		Exercice limité	/
19/09/2005 et 22/09/2005	1	Exercice étendu	/

3.9 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 (terme source), les conditions météorologiques, la localisation des personnes et les modes de vie (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 (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 (éventuellement complétées lors d'un accident par des contre-mesures comme la mise à l'abri, la prise 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 § 3.6.1.2). 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 § 3.1 et la planification d'urgence § 3.8), 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 § 3.1). 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 associions 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 § 3.1).

4 Synthèse et conclusion

4.1 Synthèse des effets

Dans cette évaluation de l'impact environnemental, les impacts radiologiques et non radiologiques du report (sur la période 2015-2025) de la désactivation de Doel 1 et 2 ont été étudiés et évalués.

En ce qui concerne les effets non radiologiques, il s'agit des effets relevant des thèmes suivants : Eau de surface, Air, Biodiversité, Homme et Santé, et Climat. Dans le cadre de cette évaluation de l'impact environnemental, ces effets sont évalués à la lumière de la mesure dans laquelle ils contribuent ou non à la réalisation des objectifs politiques pour ces thèmes. L'accent est mis sur les disciplines réceptrices Biodiversité et Homme et Santé ; les autres disciplines fournissent les informations nécessaires pour décrire correctement les effets dans le cadre de ces disciplines réceptrices.

Pour les thèmes Sol, Eaux souterraines, Bruit, Mobilité et Paysage, il a été jugé qu'aucun effet significatif (non radiologique) ne devait être attendu du report de la désactivation. Ils n'affectent donc pas non plus les disciplines réceptrices.

Pour la plupart des effets étudiés dans cette EIE, il est clair qu'ils ne se seraient pas produits dans la situation de référence (la situation dans laquelle la désactivation n'aurait pas été reportée en 2015), et que la désactivation en elle-même n'aurait pas eu d'effets négatifs. Dans certains cas, cependant, il faut tenir compte du fait que le non-report de la désactivation sur la période 2015-2025 aurait pu entraîner des effets (éventuellement importants). Cela concerne en premier lieu les émissions qui auraient été causées par le parc de production (théorique) qui aurait dû remplacer la capacité nucléaire annulée au cours de cette période³⁶. Les émissions les plus pertinentes dans ce contexte sont les émissions d'oxydes d'azote (NOx), qui peuvent avoir un impact sur la santé humaine, et les émissions de gaz à effet de serre, qui peuvent avoir un impact sur le thème Climat. Comme ces émissions n'ont pas eu lieu pendant la mise en œuvre du Projet (le report de la désactivation), elles sont désignées dans la présente EIE par le terme « émissions évitées ».

4.1.1 Effets non radiologiques

4.1.1.1 Thème Eau

Le maintien en service de Doel 1 et 2 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. Comme les normes de rejet peuvent être respectées pour la plupart des paramètres et que la contribution calculée à l'augmentation de la concentration est limitée 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. 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 1 et 2 ouverts dix ans de plus, à condition que l'on continue à prêter attention au suivi et à l'ajustement en temps utile.

Un goulet d'étranglement de l'exploitation actuelle de la CNDdoel est aussi 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'égouts mixtes, ce qui contribue également à la problématique des débordements. Étant donné qu'il est indéniable que le changement climatique a entraîné des précipitations plus intenses, il s'agit d'un goulet

³⁶ Ce parc de production théorique peut bien sûr avoir eu d'autres effets, par exemple en termes de qualité de l'eau, de biodiversité, de paysage, etc. Toutefois, ces effets sont principalement pertinents au niveau local et donc difficiles à estimer, car les lieux de la capacité de remplacement théorique ne sont pas connus.

d'étranglement auquel il faudra prêter attention au cours des cinq prochaines années d'exploitation de la centrale nucléaire.

En général, la centrale nucléaire respecte 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 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 pour prendre des mesures axées sur les sources afin de résoudre ces goulets d'étranglement.

Pour un certain nombre de paramètres présents dans les effluents sanitaires, les eaux usées industrielles ou les eaux de refroidissement, les mesures ne sont pas toujours effectuées de manière cohérente ou la limite de détection des mesures 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.

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.

Le maintien des centrales ouvertes pendant 10 ans de plus signifie que la présence d'égouts mixtes et le **problème des débordements** se perpétueront pendant cette période. **L'impact thermique** sur l'Escaut maritime se poursuivra aussi.

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 l'élévation du niveau de la mer et 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 (dans les polders situés plus bas). Par conséquent, le fait de garder Doel 1 et 2 ouverts plus longtemps ne contribuera pas de façon notable à réduire ou à provoquer les risques d'inondation.

L'évaluation de la contribution à l'objectif politique « **approvisionnement durable en eau** » pendant la période de report de la désactivation de Doel 1 et 2 est plutôt négative, compte tenu, par exemple, du fait qu'aucune eau de pluie n'est réutilisée et de l'absence de projets de découplage et d'adoucissement.

4.1.1.2 Thème Biodiversité

Dans le cadre du thème Biodiversité, il a d'abord été examiné si le Projet peut éviter les **dommages causés à la nature**, comme l'impose le décret Nature. Lors de l'analyse d'impact, il a été tenu compte de l'altération de la qualité des eaux de surface, de l'effet de barrière, de la mortalité, de la perturbation, de l'acidification et de l'eutrophisation depuis l'air, et de l'occupation directe des terres. Aucun effet n'était à prévoir en ce qui concerne l'effet de barrière, la mortalité et l'occupation directe des terres. En ce qui concerne la perturbation, il y a 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 Projet 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 suivi provenant, par exemple, du programme MONEOS. Dans l'ensemble, on peut donc conclure que le Projet ne causera **pas de dommages évitables**.

Cette analyse a été affinée pour les zones VEN situées à proximité de la centrale nucléaire. 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. 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 reprises dans l'évaluation de l'impact environnemental concernant les travaux, démontrent 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.

Dans l'ensemble, on peut donc conclure **qu'aucun dommage évitable et irréparable** ne se produira **dans les zones VEN** à proximité de la centrale du fait du Projet.

La zone du projet est entourée par la ZPS-O et est également adjacente à la ZPS-H. Le Projet ne doit pas entraîner d'effets significatifs sur les zones **NATURA2000**. L'analyse d'impact a conclu qu'aucun effet n'est attendu en termes d'effet de barrière ou de mortalité. 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 Projet ne met pas en péril la réalisation des objectifs en matière de nature. Concernant **l'occupation directe des terres**, nous avons donc évalué si la décision de maintenir plus longtemps les sites de Doel 1 et 2 en exploitation a compromis le développement de nouveaux habitats. Ce n'est pas le cas car la possibilité de développer l'habitat à cet endroit est de toute façon inexistante. En outre, la surface supplémentaire n'est pas nécessaire pour atteindre les objectifs de protection de la nature pour la ZPS-O.

Pour les **dépôts acidifiants et eutrophes** également, l'impact doit être évalué à la fois par rapport aux valeurs actuelles et aux objectifs concernant la nature. En ce qui concerne l'impact du Projet lui-même, cette évaluation est simple. En effet, seul un impact négligeable est attendu et les objectifs et habitats actuels à proximité concernent des habitats peu sensibles aux dépôts 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 Natura2000. Cela est principalement dû au fait que l'impact des émissions évitées ne peut être situé dans l'espace.

Cependant, le principal impact non radiologique de la centrale nucléaire pertinent pour le thème de la biodiversité 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 macroinvertébrés sont également élevées. Un effet significatif n'est donc pas 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 de la centrale nucléaire entraîne une augmentation des niveaux sonores, la contribution de Doel 1 et 2 uniquement devrait être 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 Projet.

On peut donc conclure que le Projet 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 Projet à cet objectif est neutre.

Dans le contexte de **l'arrêté Espèces**, on peut enfin conclure que le Projet ne représente pas une entrave pour la réalisation des objectifs dans les programmes de protection des espèces et que la contribution du Projet à cet objectif est neutre.

4.1.1.3 Thème Air

Par rapport aux objectifs politiques et aux réductions d'émissions à atteindre en Belgique et dans les régions, on peut affirmer que les **émissions** causées par l'exploitation de Doel 1 et 2 sont négligeables. Comme la « période de

fin » de cette EIE est 2025, ces « émissions propres » n'ont évidemment aucun impact sur les objectifs de 2030. En termes de **qualité de l'air** également, il ne faut pas s'attendre à ce que ces « émissions propres » aient un impact.

En ce qui concerne les **émissions « évitées »** qui résulteraient de la mise hors service des installations de Doel 1 et 2, on peut affirmer qu'elles auraient un impact négatif par rapport aux objectifs de réduction (des émissions supplémentaires apparaissent effectivement), mais la part de ces émissions par rapport aux plafonds d'émission nationaux et régionaux peut être évaluée comme relativement limitée pour la plupart des paramètres. En ce qui concerne le NO_x, cependant, ces émissions peuvent être considérées comme significatives. En moyenne sur la période 2015-2025, cela représente 0,4 % du plafond NO_x national pour 2030.

Dans la variante dans laquelle les émissions évitées sont calculées sur la base des émissions maximales de la dernière génération de TVG au gaz naturel, les contributions concernant les NO_x et le NH₃ sont (considérablement) plus élevées que dans la première variante de calcul. Les émissions évitées de NO_x ont une contribution de 0,4 à 0,8 % (avec une moyenne de 0,6 %) sur la période 2015-2025 par rapport au plafond d'émission fédéral pour 2030. Pour le NH₃, nous obtenons une moyenne de 0,37 % sur la période 2015-2025 (contre < 0,01 % dans la première méthode de calcul), également calculée par rapport au plafond d'émission fédéral pour 2030.

L'impact sur la qualité de l'air des sources possibles responsables de la « production de remplacement » de Doel 1 et 2 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.

Les émissions de NO_x et, le cas échéant, de NH₃ peuvent également avoir un impact local en raison des dépôts acidifiants et eutrophisants. Il convient également d'indiquer concernant ces paramètres que l'impact dépendra fortement des éventuelles conditions d'autorisation et des caractéristiques sources des « installations de remplacement ».

Il est évident que si Doel 1 et 2 sont maintenues ouverts plus longtemps, les émissions qui seraient générées sur la période 2015-2025 par les installations de combustion liées aux deux réacteurs seraient beaucoup plus faibles que les émissions qui seraient générées sur la même période si Doel 1 et 2 étaient désactivés en 2015. Pour les SO_x et les NO_x, selon les hypothèses retenues pour la composition du parc de production dans la situation de référence (première variante), ces chiffres sont respectivement de 0,5 % et 1,8 %. Les émissions attribuables au maintien des centrales en service plus longtemps sont donc 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. Toutefois, l'ampleur réelle de ces effets dérivés « évités » n'est pas connue, car ils dépendent fortement des éventuelles conditions d'autorisation et des caractéristiques sources des installations de remplacement, ainsi que de la vulnérabilité de l'environnement dans lequel ils se trouvent.

4.1.1.4 Thème Climat

Sur l'ensemble de la période, le report de la désactivation de Doel 1 et 2 débouche sur des émissions de maximum 5.500 tonnes de CO₂eq. environ. Si nous exprimons les émissions par rapport à l'électricité produite, nous obtenons une valeur qui, pour les années considérées, fluctue entre 0,070 et 0,146 gramme de CO₂ par kWh, ce qui est très faible.

Les émissions de gaz à effet de serre évitées en gardant Doel 1 et 2 ouverts plus longtemps sont d'un autre ordre. Sur l'ensemble de la période, le report de la désactivation de Doel 1 et 2 permet d'éviter des émissions d'environ 22.000 ktonnes de CO₂eq. Cela représente une économie d'environ 2,5 % du total des émissions de gaz à effet de serre en Flandre pour l'année 2018 (77.700 ktonnes), soit près de 17 % des émissions du sous-secteur « électricité et chaleur » pour la Flandre la même année. Si l'on compare avec les émissions rejetées par l'exploitation de Doel 1 et 2 sur la même période (5.500 tonnes), on constate que les émissions de Doel 1 et 2 sur la période couverte par le report de la désactivation ne représentent que 0,025 % 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**.

Au cours de la période de référence 2015-2020, 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 (2025) dans lequel le changement climatique peut se manifester, d'autre part en raison du fait que le site de Doel 1 et 2 restera revêtu pendant la période de référence même en cas de désactivation en 2015. 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.

L'analyse présentée dans cette EIE démontre enfin clairement que le site résiste aux impacts du changement climatique (en termes d'inondations, de crues, de conditions climatiques extrêmes, etc.) bien au-delà de ce qui devrait se produire en 2025. Le fait que Doel 1 et 2 soient ou non en service sur la période de référence 2015-2025 n'y change rien. L'évaluation est donc **neutre**.

4.1.1.5 Thème Santé

Le report de la désactivation de Doel 1 et 2 n'entraîne pas d'effets sur la santé dus à des **facteurs de stress chimiques ou physiques**. Cependant, lors de la production d'énergie nucléaire, l'émission d'oxydes d'azote est notamment évitée, ce qui a un effet positif dans le cadre de l'analyse des risques liés à la santé environnementale. Les **émissions évitées** d'oxydes d'azote sont d'environ 500 tonnes sur une base annuelle.

Un autre point d'attention ici est que l'énergie nucléaire est synonyme de production centralisée. La production décentralisée d'énergie (ce qui serait au moins partiellement le cas dans la situation de référence) entraîne l'apparition d'aspects de nuisance à un plus grand nombre d'endroits, ce qui permet d'évaluer positivement le Projet (avec un accent plus marqué sur la production centralisée) en ce qui concerne cet aspect.

Il est difficile de se prononcer sur l'importance des **plaintes psychosomatiques et psychosociales** qui peuvent résulter de l'exploitation de la centrale nucléaire de Doel, d'une part, et du secteur nucléaire en général, d'autre part.

Compte tenu du nombre limité de zones résidentielles dans les environs, elles sont de toute façon négligeables en ce qui concerne Doel 1 et 2. En ce qui concerne le secteur nucléaire, nous pouvons reprendre les conclusions du baromètre du SCK CEN (2018). Il en ressort de manière générale qu'outre la pollution de l'environnement, l'utilisation non conforme de la technologie nucléaire est la plus grande préoccupation de la population. Il existe un consensus général pour réduire le nombre de centrales nucléaires et la confiance dans la protection contre un incident nucléaire est en déclin. Cependant, il ne semble pas y avoir de perception négative prononcée contre la production d'énergie nucléaire.

Les pannes de courant à grande échelle sont également susceptibles d'avoir des effets sur la santé. Comme le report de la désactivation de Doel 1 et 2 visait à assurer la sécurité de l'approvisionnement et donc à éviter les pannes de courant à grande échelle, on peut supposer que le Projet a un impact positif sur la santé. Les facteurs qui déterminent l'importance de l'effet sur la santé d'une panne de courant comprennent notamment des paramètres directs, comme la durée ou la fréquence, et 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 de santé. Une importante étude (Dominianni 2018) rapporte les effets sur la santé d'une panne de courant, basée sur trois événements survenus. Dans deux des trois pannes de courant, le contexte était déterminant : les pannes de courant se sont produites pendant une vague de chaleur. Les effets basés sur cette étude comprennent des problèmes respiratoires et probablement une augmentation de la mortalité. Les pannes de courant pendant les vagues de chaleur peuvent entraîner des insuffisances rénales. En cas de froid extrême, les pannes de courant conduisent à des causes plus générales de décès et de maladies cardiaques. Compte tenu du contexte en Flandre et en Belgique, nous pouvons qualifier la contribution du Projet (à la prévention des) aux effets sur la santé suite aux coupures de courant **de neutre à positive**.

4.1.2 Effets radiologiques

4.1.2.1 Impact sur la santé humaine

En ce qui concerne l'impact radiologique, les effets du Projet en fonctionnement normal (y compris la production de déchets radioactifs et de combustibles usés) et les effets en situation accidentelle ont été étudiés.

Durant le **fonctionnement normal** de la CNDoeI, des quantités limitées de radioactivité sont rejetées de manière contrôlée dans l'atmosphère et dans les eaux de surface.

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 de procédés prévus par exemple dans les centrales nucléaires pour assurer le dégazage de l'eau de refroidissement primaire ou de la ventilation générale des bâtiments nucléaires.

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 traitement, par exemple ceux utilisés pour traiter l'eau de refroidissement primaire dans les 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.

Les modèles de dispersion et de dépôt atmosphériques sont utilisés pour calculer l'impact des rejets dans l'atmosphère. Un modèle de rivière simple qui prend en compte la dilution des volumes rejetés est utilisé pour calculer les concentrations des radionucléides rejetés dans les eaux de l'Escaut. Le résultat de ces différents calculs est ensuite utilisé comme point de départ pour calculer l'impact radiologique sur l'homme et l'environnement.

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 ou liquides des installations. Les méthodes d'exposition comprennent l'irradiation externe par les radionucléides présents dans l'air ou déposés sur le sol et d'autres surfaces, et l'exposition interne par ingestion de radioactivité dans le corps, par inhalation de substances radioactives ou par ingestion de denrées alimentaires d'origine végétale ou animale ayant elles-mêmes assimilé la radioactivité. La population peut aussi être exposée à la radioactivité en utilisant l'eau de la rivière, en restant sur l'eau ou sur les berges, ou en consommant du poisson de l'Escaut.

Lors des calculs de la dose, il est tenu compte de toutes les voies d'exposition et une personne critique est supposée être une personne qui est présente en permanence sur le site de charge de dose maximale et qui tire 10 % de sa nourriture d'une zone où le dépôt des radionucléides rejetés est maximal.

Les calculs basés sur le suivi des rejets montrent un impact maximal pour la personne critique la plus exposée de 0,02 mSv/an dans la situation actuelle. Cette dose efficace calculée avec prudence pour la personne la plus exposée est 50 fois inférieure à la limite de dose pour le public qui est de 1 mSv/an. La surveillance de l'environnement démontre également que la CNDoeI n'a pas d'impact radiologique mesurable sur son environnement. L'exposition dans la région de Doel est complètement dominée par l'exposition à la radioactivité naturelle, comme dans d'autres régions du pays.

Si la désactivation de Doel 1 et 2 est reportée, les rejets gazeux et liquides associés au fonctionnement normal de ces deux unités se poursuivront jusqu'en 2025. Les rejets sont entièrement déterminés par le fonctionnement des unités et liés à la capacité thermique et au traitement des effluents liquides et gazeux. Comme aucun changement fondamental n'a été apporté à ce fonctionnement dans le cadre du plan d'action intégré pour l'exploitation après 2015 (examen décennal, Long Term Operation et action BEST - tests de stress), on peut supposer que les effluents radioactifs tant atmosphériques que liquides seront rejetés dans les mêmes conditions qu'en 2015.

L'impact radiologique des rejets tant atmosphériques que liquides pour l'ensemble du site de la CNDoeI restera donc similaire en cas de désactivation de Doel 1 et 2 et s'élèvera à environ 0,02 mSv/an pour la personne la plus exposée.

L'exploitation des centrales nucléaires pendant toute leur durée de vie permet à certains radionucléides ayant des demi-vies suffisamment longues de s'accumuler dans le sol. En théorie, si la désactivation est reportée, cette accumulation se poursuivra pendant 10 ans de plus, avant qu'une baisse des concentrations dans le sol due à la désintégration radioactive ne s'installe. Il ressort toutefois d'une analyse réalisée dans le cadre de cette EIE (pour le Cs-137) que l'effet de l'accumulation dans le sol et donc certainement la différence entre la désactivation ou le report de désactivation en 2015 n'est pas observable. Pour les nucléides à courte durée de vie, aucune accumulation ne se produira sur une période plus longue, car un équilibre entre le dépôt et la désintégration est atteint très rapidement. De même pour le carbone 14 à longue durée de vie, il n'y aura pas d'accumulation significative car le consensus est qu'il existe un équilibre entre les concentrations dans l'air et dans le sol.

L'EIE démontre également que l'impact radiologique sur la santé humaine pour les **accidents** considérés dans la CNDdoel (1 et 2) est très limité. Cette analyse est basée sur l'étude de deux scénarios d'accident de base de conception et d'un scénario d'accident d'extension de conception^{cvi} (voir EIE travaux). Dans chacune de ces situations, l'impact à la limite du domaine de la CNDdoel reste inférieur aux limites du permis et les impacts transfrontières, en particulier sur les Pays-Bas à 3,15 km, sont également inférieurs aux limites du permis. L'impact des accidents est basé sur une analyse statistique et les accidents à impact plus élevé ne sont donc jamais exclus. Dans ces circonstances, des mesures supplémentaires peuvent être prises pour protéger la population dans le cadre des plans d'urgence nucléaire et radiologique nationaux. Ces plans d'urgence sont testés chaque année pour la CNDdoel.

4.1.2.2 Impact sur la biodiversité

Comme l'impact radiologique sur un écosystème est difficile à évaluer en raison de la complexité, différentes catégories d'organismes de référence sont utilisées pour déterminer l'impact radiologique sur l'environnement. Ces organismes de référence sont supposés être représentatifs des habitats qu'ils occupent. L'ensemble des organismes de référence renvoie à un écosystème. Lors de la sélection des espèces indicatrices ou des organismes de référence spécifiques, une attention particulière est donc accordée à la « valeur » d'un organisme au sein de l'écosystème étudié.

Au cours de la période 2010-2011, des études ont été réalisées par le Centre d'étude de l'énergie nucléaire pour le compte d'Electrabel sa afin d'évaluer l'impact radiologique des **rejets atmosphériques et liquides de routine** sur l'environnement. L'outil ERICA (Environmental Risks from Inionising Contaminants Asessment and Management tool), l'outil de référence pour les biotes, a été utilisé pour les calculs. L'impact potentiel est estimé en utilisant un quotient de risque (QR), défini comme le rapport entre le débit de dose calculé (PEDR) et un débit de dose sans effet estimé comme valeur de screening (PNEDR). La valeur indicative proposée par ERICA de 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ a été utilisée comme niveau de référence. Comme indiqué précédemment, à de tels débits de dose, on suppose que les écosystèmes sont protégés.

Les analyses d'impact ont été réalisées, d'une part, pour les limites de rejets atmosphériques et liquides du site de Doel. La valeur de screening de 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ n'a jamais été dépassée malgré des hypothèses prudentes supplémentaires, par exemple en ce qui concerne la dispersion des radionucléides. Les rejets réels étaient inférieurs à 1 % des limites de dose et les débits de dose résultants étaient des ordres de grandeur inférieurs à la valeur indicative, tandis que les QR associés étaient $< < 0,01$.

On peut conclure du fait que les rejets provenant des unités de réacteur de Doel 1 et 2 s'élèvent à 50-60 % de ceux de l'ensemble du site de Doel (composé de quatre unités de réacteur) qu'il est très peu probable que les rejets de routine des réacteurs Doel 1 et 2 aient un impact sur l'environnement et, par conséquent, sur la biodiversité des zones proches de la directive Habitats ou d'autres zones naturelles et écosystèmes (protégés). Étant donné que les rejets sont restés relativement stables au cours des deux dernières décennies, on peut supposer que cette tendance se poursuivra si l'exploitation des systèmes Doel 1 et 2 est prolongée de 2015 à 2025 et que, par conséquent, le risque futur d'impacts environnementaux des rejets de routine est inexistant.

En ce qui concerne les scénarios **accidentels**, dans les scénarios susmentionnés, aucun débit de dose supérieur à 45 $\mu\text{G h}^{-1}$ n'a jamais été calculé, malgré des hypothèses très prudentes (débit de dose le plus élevé pour les

invertébrés, les vers de terre, les amphibiens, les reptiles et les mammifères). Ce débit de dose se situe dans la plage de 10-100 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ où la probabilité que l'écosystème soit protégé est considérée comme très élevée. Pour la plupart des organismes, après quatre jours d'exposition et pour tous les organismes après 30 jours, le débit de dose a diminué à $< 10 \mu\text{G h}^{-1}$.

Comme les rejets radioactifs de routine et les scénarios accidentels envisagés n'ont aucun effet sur la faune et la flore, on peut conclure que le report de la désactivation de Doel 1 et 2 n'a aucun impact négatif sur la biodiversité du fait des rejets radioactifs.

4.1.2.3 Impact sur la production de déchets et de combustibles usés

Le report de la désactivation des réacteurs nucléaires Doel 1-2 entraînera la production de déchets radioactifs de faible et moyenne activité supplémentaires. Sur la production moyenne de 120 m^3 de déchets conditionnés par an pour la CND, environ 1/3 est dû à Doel 1-2, soit 40 m^3/an . Cela correspond approximativement au rapport entre la part des deux réacteurs et la puissance totale, ou la quantité totale d'électricité produite. Il convient toutefois de noter qu'une grande partie des déchets n'est pas liée à la quantité d'électricité produite. Ils sont produits lors de travaux sur des installations, du nettoyage ou du lavage de vêtements de travail. Pour cette fraction également, on suppose que 1/3 est une bonne approximation de la part de Doel 1 et 2.

Sur cette base, une production supplémentaire cumulée de 400 m^3 de déchets de faible et moyenne activité à stocker est attendue au cours de la période de référence 2015-2025. Il s'agit principalement de déchets de catégorie A, avec seulement une quantité limitée de déchets de catégorie B.

En supposant que la quantité de déchets de catégorie B soit négligeable, le volume supplémentaire de déchets correspond à environ 250 monolithes ou un quart de module dans l'installation de stockage pour les déchets de catégorie A. La capacité (volumétrique) du stockage est de 34 modules. 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.

Comme pour les déchets radioactifs, une estimation a été faite du nombre cumulé d'éléments combustibles qui seront usés au cours de la période de référence 2015-2025. Sur la base d'une décharge moyenne de 55 éléments combustibles par an pour Doel 1 et 2, la consommation supplémentaire cumulée résultant du report de la désactivation est estimée à 550 éléments combustibles. L'ONDRAF prend également en compte un nombre supplémentaire d'éléments combustibles d'environ le même ordre de grandeur (609 pièces, voir Tableau 44) résultant de la prolongation de l'exploitation de Doel 1 et 2. Pondéré par rapport à l'ensemble du parc belge de réacteurs, cela correspond à une consommation supplémentaire de 5,8 % en nombre d'assemblages de combustible, soit 3,4 % en tonnes de métaux lourds (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. À Doel, les éléments combustibles sont temporairement stockés à sec dans des conteneurs dans le BCMF. En raison du report de la désactivation de Doel 1 et 2, la déconnexion du réseau des quatre unités sera condensée en quelques années (2022-2025), alors qu'elle se serait autrement étalée sur une période plus longue. Electrabel se assure qu'il y aura une capacité de stockage suffisante pour les éléments combustibles, grâce à la construction prévue de l'installation de stockage SF², pour laquelle la procédure d'autorisation est en cours.

Lors du démantèlement, des composants radioactifs sont retirés des centrales et de grandes quantités de déchets radioactifs sont donc produites. Une partie de ces déchets est due à l'activation neutronique de grands composants (de structure). Étant donné que la classification des déchets (catégorie A ou B) dépend de la quantité totale de nucléides importants pour la sûreté, on s'attend à ce qu'une exposition prolongée aux neutrons puisse éventuellement entraîner un changement de catégorie de déchets (par exemple, de la catégorie A à la catégorie B). Aucun problème n'est toutefois attendu concernant la gestion à long terme de ces classes pour ce léger glissement vers des classes de déchets « plus lourdes ».

4.2 Synthèse des effets transfrontières

4.2.1 Effets non radiologiques

La plupart des effets non radiologiques attribuables au report de la désactivation de Doel 1 et 2 se limitent aux environs immédiats de la centrale nucléaire, sont d'une ampleur limitée et n'entraînent donc pas d'effets transfrontières. Ce n'est que pour le thème de l'eau qu'il peut être question d'effets transfrontières (limités).

Sur la base du suivi (2012) de l'influence de la température de l'eau de refroidissement de la CNDDoel 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 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.

4.2.2 Effets radiologiques

4.2.2.1 Fonctionnement normal

La frontière avec les Pays-Bas est la plus proche, à environ 3,15 km du site de la CNDDoel. Cependant, étant donné que l'impact radiologique négligeable et indétectable (0,02 mSv/an) pendant le fonctionnement de toutes les unités de la CNDDoel pour la personne la plus exposée se situe sur le territoire belge (juste à l'extérieur du site de la CNDDoel) et que l'impact ne fait que diminuer avec la distance, on peut affirmer qu'en cas de report de la désactivation de Doel 1 et 2, aucun effet transfrontière ne surviendra dans le cadre d'un fonctionnement normal.

4.2.2.2 Accidents

L'impact radiologique à la frontière avec les Pays-Bas (à environ 3,15 km de la CNDDoel) des accidents de conception considérés dans l'EIE des travaux se traduit par une dose efficace encourue pour la population d'environ 0,5 mSv ou moins. Cette valeur est inférieure aux valeurs indicatives belges pour la mise à l'abri de la population. Il ne peut être exclu que des accidents ayant un terme source supérieur, et dont la probabilité est plus limitée, puissent se produire.

En cas d'accident ayant un impact radiologique transfrontière important (c'est-à-dire qui entraînerait un dépassement des niveaux d'intervention), les plans nationaux d'urgence nucléaire et radiologique seront activés pour protéger la population et l'environnement.

4.3 Mesures d'atténuation

Pour les thèmes non radiologiques, aucun effet significatif n'a été constaté, et aucune mesure d'atténuation n'est donc nécessaire. Cela s'applique également aux effets radiologiques en cas de fonctionnement normal. Si des effets radiologiques négatifs importants devaient néanmoins se produire dans des situations d'accident, des mesures d'atténuation peuvent être mises en œuvre immédiatement sous la forme de plans d'urgence internes et externes (voir § 3.8).

4.4 Lacunes dans les connaissances

Aucune lacune dans les connaissances n'a été identifiée qui empêcherait une évaluation suffisamment précise des impacts et qui, si elle était comblée, pourrait conduire à des conclusions différentes.

Les lacunes non essentielles en matière de connaissances pour les thèmes *non radiologiques* concernent notamment :

- Les informations sur la proportion d'eaux usées provenant de Doel 1 et 2 et donc sur la contribution exacte de l'exploitation de Doel 1 et 2 à la pollution résiduelle se retrouvant dans l'Escaut ;
- La nature et l'emplacement des installations (hypothétiques) qui auraient dû combler la capacité perdue en cas de désactivation de Doel 1 et 2 sur la période 2015-2025. L'impact de ces installations sur l'environnement (en termes de qualité de l'air, de dépôts d'azote, de santé, etc.) ne peut donc pas être estimé avec certitude ;
- La disponibilité d'études sur l'impact des pannes de courant sur la santé ;
- L'importance des effets directs des NOx en dessous du seuil actuel de l'OMS ;
- L'estimation de la probabilité d'une panne de courant.

Diverses incertitudes peuvent jouer un rôle dans le calcul de l'impact *radiologique* des rejets, comme la quantité et les caractéristiques des radionucléides rejetés, les conditions météorologiques, la localisation des personnes et leurs modes de vie. 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 (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 ainsi que de la localisation et des habitudes des personnes.

Malgré ces incertitudes, en fonctionnement normal, les doses auxquelles une personne est exposée sont extrêmement faibles (beaucoup moins de 1 mSv/an). Même en cas d'accident, l'impact pour l'ensemble ou la majorité de la population exposée est limité (généralement bien en dessous de 100 mSv). Les doses sont bien inférieures à la limite d'occurrence des effets déterministes, mais aussi presque toujours bien inférieures aux doses efficaces pour lesquelles les études épidémiologiques peuvent démontrer des effets stochastiques des rayonnements.

4.5 Conclusion générale

Le report de la désactivation de Doel 1 et 2 peut entraîner la perpétuation, pendant une période de 10 ans, d'un certain nombre d'effets déjà survenus au cours de la période précédente. La question qui se pose est de savoir si ce fait doit être considéré comme un effet significatif. La réponse à cette question a été étudiée dans la présente EIE pour les groupes récepteurs « homme » et « biodiversité », et ce tant en termes d'effets non radiologiques que radiologiques. 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 et/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.

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 à mettre en péril la réalisation du bon potentiel écologique de cette masse d'eau. Toutefois, de l'attention est demandée pour la résolution de problèmes propres au fonctionnement actuel, comme les débordements fréquents, l'état du réseau d'égouts et le fait que toutes les normes de rejet ne sont pas toujours respectées. Des améliorations sont également possibles dans le domaine du thème de politique « approvisionnement durable en eau ».

Dans le contexte du thème **biodiversité**, en ce qui concerne les *impacts non radiologiques*, l'attention a été accordée aux aspects de la qualité des eaux de surface, des effets de barrière, de la mortalité, de la perturbation, de l'acidification et de l'eutrophisation depuis l'air, et de l'occupation directe des terres. Aucun effet n'était à prévoir en ce qui concerne l'effet de barrière, la mortalité et l'occupation directe des terres. En ce qui concerne la perturbation, il y a 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 Projet 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 la qualité écologique de l'Escaut maritime.

Ces conclusions s'appliquent mutatis mutandis aux effets sur les zones VEN. On ne s'attend pas à ce que les rejets d'eau de refroidissement aient des effets de barrière, ni à ce que les rejets de polluants aient un impact. En ce qui concerne l'impact sur les zones de protection spéciale à proximité, on peut conclure qu'il n'y a pas d'impact négatif sur les objectifs de conservation, et que le Projet n'entrave pas la réalisation de ces objectifs. L'impact des émissions évitées sur les objectifs de conservation des sites Natura 2000 ailleurs en Belgique est positif, mais son importance est difficile à estimer. L'analyse des effets radiologiques démontre clairement que ni les rejets radioactifs de routine ni les scénarios accidentels qui ont été envisagés ne sont susceptibles d'avoir un impact négatif sur la biodiversité en général ou sur l'état de conservation des sites Natura 2000 aux alentours de la centrale.

Les **émissions atmosphériques** non radiologiques de la centrale, et leur impact sur la qualité de l'air, sont négligeables. Les émissions d'oxydes d'azote évitées sont, sur la période de référence, faibles par rapport aux objectifs d'émission. Localement, elles peuvent cependant avoir un effet limité sur la qualité de l'air à proximité de la capacité de remplacement (théorique). De plus, les émissions évitées en reportant la désactivation pendant la période 2015-2025 sont beaucoup plus élevées que les émissions non nucléaires associées aux deux unités de réacteur pendant la même période.

En termes de **gaz à effet de serre** aussi, les émissions évitées par le report de la désactivation sont considérablement plus importantes que les émissions propres à l'exploitation de Doel 1 et 2 sur la période 2015-2025. Le Projet n'a pas d'autres conséquences sur la résilience de la zone environnante aux effets du changement climatique et n'est lui-même pas vulnérable à ces changements.

En termes de **santé**, on peut s'attendre à un impact positif très modeste en raison de l'évitement d'une quantité d'émissions de NOx pendant la période où Doel 1 et 2 restent ouvertes plus longtemps. De plus, le fait que d'importantes pannes d'électricité soient évitées grâce au Projet peut être considéré comme positif en termes de santé. Les effets radiologiques de la centrale sur la santé humaine sont jusqu'à 50 fois inférieurs à la norme, et cela restera le cas avec la poursuite de l'exploitation de Doel 1 et 2 sur la période 2015-2025. Les effets radiologiques

sur la santé de la centrale nucléaire de Doel sont donc négligeables, avec ou sans la mise en œuvre du Projet. Cela s'applique non seulement aux effets dans le cadre d'une exploitation normale, mais aussi aux effets d'éventuels accidents.

Bibliographie

- Bureau fédéral du Plan (2015). *Étude sur les perspectives d'approvisionnement en électricité à l'horizon 2030*. SPF Économie.
- Groupe Gemix. (2009). *Quel mix énergétique idéal pour la Belgique aux horizons 2020 et 2030 ?*
- Plancke, Y., Vereecken, H., Vanlede, J., Verwaest, T., & Mostaert, F. (2014). *Slibbalans-Zeeschelde: Deelrapport 5 - metingen halftij-eb Boven-Zeeschelde 2013. Versie 4.0. WL Rapporten, 00_029. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.*
- Vanlierde, E., Michielsens, S., Vereycken, K., Hertoghs, R., Meire, D., Deschamps, M., . . . Mostaert, F. (2016). *Tienjarig overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken - Decennium 2001 - 2010*. Antwerpen: Waterbouwkundig Laboratorium.

Références

- ⁱ Calcul des black-outs en belges. Une évaluation quantitative des pannes de courant en Belgique. Bureau fédéral du Plan, mars 2014.
- ⁱⁱ Belgian blackout? Estimations of the reserve margin during the nuclear phase-out. Laleman, R. et Albrecht, J. *Electrical Power and Energy Systems* 81 (2016).
- ⁱⁱⁱ <https://fanc.fgov.be/nl/nieuws/openbaar-onderzoek-voor-vergunning-nieuwe-installatie-doel>.
- ^{iv} <https://nuclear.engie-electrabel.be/nl/nuclear-energy/grote-nucleaire-projecten-belgie/definitieve-stopzetting-en-ontmanteling-van-een>.
- ^v Langetermijnuitbating (LTO) van de Belgische kerncentrales <https://fanc.fgov.be/nl/dossiers/kerncentrales-belgie/langetermijnuitbating-lto-van-de-belgische-kerncentrales> consulté le 16/12/2020.
- ^{vi} https://fanc.fgov.be/nl/system/files/20111223_nationaal_verslag_kerncentrales.pdf.
- ^{vii} <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2019-08-29-rapport-be-cns2019.pdf>.
- ^{viii} Adequacy and flexibility study for Belgium 2020 – 2030. Elia, 2019.
- ^{ix} Strategic Environmental Assessment for Nuclear Power Programmes: Guidelines. IAEA Nuclear Energy Series N° NG-T-3.17. International Atomic Energy Agency, 2018.
- ^x VNSC (2019) Systeemanalyse natuur Schelde-estuarium. Gezamenlijk feitenonderzoek van stakeholders, deskundigen en de Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie, 62 p.
- ^{xi} 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.
- ^{xii} Arcadis (2012). Rapport sur cinq campagnes de suivi (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.
- ^{xiii} 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 le stockage de substances radioactives à l'extérieur des bâtiments - <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/20200819-publicatie-kb-bss.pdf>.
- ^{xiv} Calcul de l'exposition moyenne annuelle aux rayonnements ionisants en Belgique : Méthodologie et Évolution, FANC-AFCN, 2018 - https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2018_popdose_methodologie.pdf.
- ^{xv} ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
- ^{xvi} 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.
- ^{xvii} 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.
- ^{xviii} 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.
- ^{xix} Royaume de Belgique, loi du 3 juin 2014 modifiant l'article 179 de la loi du 8 août 1980 relative aux propositions budgétaires 1979-1980 en vue de la transposition dans le droit interne de la Directive 2011/70/Euratom du Conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs, http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=nl&la=N&cn=2014060303&table_name=wet.
- ^{xx} Directive 2011/70/Euratom du Conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX%3A32011L0070>.
- ^{xxi} 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.
- ^{xxii} 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 combustibles nucléaires, Moniteur belge 05/05/1981.
- ^{xxiii} 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.
- ^{xxiv} <http://www.jurion.fanc.fgov.be/jurdb-consult/consultatieLink?wettekstId=27752>.

xxv

<https://www.belgoprocess.be/activiteiten/Verwerken%20en%20conditioneren%20van%20alle%20types%20van%20radioactief%20afval>.

xxvi <http://www.belgoprocess.be/activiteiten/tussentijdse-opslag-van-geconditioneerd-belgisch-radioactief-afval>

xxvii https://www.niras.be/sites/default/files/2020-04/Ontwerpplan_NL_def.pdf.

xxviii Eight Meeting of the Contracting Parties to the Convention of Nuclear Safety, Kingdom of Belgium, National Report, August 2019 - <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2019-08-29-rapport-be-cns2019.pdf>

xxix Schwibach, J, Riedel, H., Bretschneider, J., Investigations into the emission of carbon-14 compounds from nuclear facilities, November 1978, Commission of the European Communities - <http://aei.pitt.edu/49706/1/B0038.pdf>

xxx EPRI (Electric Power Research Institute). Estimation of Carbon-14 in Nuclear Power Plant Gaseous Effluents; 2010. - <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK201991/>

xxxi IAEA (1992) Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards - Technical Reports Series No. 332.

xxxii 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.

xxxiii 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.

xxxiv ICRP (2008) Environmental Protection: the concept and use of reference animals and plants (Publication 108). Ann. ICRP. Vol. 38, pp. 4-6.

xxxv 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).

xxxvi 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.

xxxvii 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.

xxxviii 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. Luxemburg: Office for Official Publication of the European Communities. EUR 20418 EN/2.

xxxix Brown, J. E. et al. (2004) Radiation doses to aquatic organisms from natural radionuclides. Journal of Radiological Protection. Vol. 24, pp. A63-A77.

xl 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.

xli Site web de l'AFCN, consulté le 05-12-2020.

xliv IAEA Safety Standards Series (2012) Safety of Nuclear Power Plants: Design, SSR-2/1.

xlv IAEA Safety Standards Series (2017) Safety of Nuclear Power Plants: Design, SSR-2/1 (Rev. 1).

xlvi IAEA Safety Standards, Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants (2010) Specific Safety Guide, SSG-2.

xlvii IAEA Safety Standards, Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants (2019) Specific Safety Guide, SSG-2 (Rev. 1).

xlviii Traité Euratom, version consolidée du traité instituant la Communauté européenne de l'énergie atomique (2012).

xlix Directive 2014/87/Euratom modifiant la directive 2009/71/Euratom établissant un cadre communautaire pour la sûreté nucléaire des installations nucléaires (2014).

l Report WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors, WENRA RHWG (2014).

li Arrêté royal du 30 novembre 2011 portant prescriptions de sûreté des installations nucléaires, 01-03-2012.

lii Arrêté royal du 30 novembre 2011 portant prescriptions de sûreté des installations nucléaires, 09-03-2020.

liii 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.

liiii Bel V (2017) Safety Guidance – Guidance on the application of conservative and less conservative approaches for the analysis of radiological consequences.

liiiii Conception de la centrale nucléaire de Doel - Deux unités de 390 MWe - Informations générales dans le cadre de l'article 37 du TRAITÉ DE ROME (1972).

lv Rapports périodiques à l'AFCN et Bel V concernant les rejets radioactifs liquides et gazeux - AFCN : <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2020-05-12-010-106-nl.pdf>, consulté le 14/12/2020.

lvi Commission Recommendation of 18 December 2003 on standardised information on radioactive airborne and liquid discharges into the environment from nuclear power reactors and reprocessing plants in normal operation (notified under document number C(2003) 4832) (2004/2/Euratom) https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2004_2_en.pdf.

lvii VERIFICATIONS UNDER THE TERMS OF ARTICLE 35 OF THE EURATOM TREATY

https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/tech_report_belgium_2012_en.pdf.

- ^{lvii} Rapports périodiques à l'AFCN et au Bel V sur les rejets radioactifs liquides et gazeux. Directive AFCN « 010-106 » : <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2020-05-12-010-106-nl.pdf>.
- ^{lviii} 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/nucleideDischargeOverview.do?action=submit&pageID=NucleideDischargeOverview&sessionId=z1Jr5jOaKbJggCOTImhu5eqMBSenTgj171088963311608128017306&redirectAction=null>).
- ^{lix} <https://fanc.fgov.be/nl/publicaties/verslagen-van-het-radiologisch-toezicht-belgie>.
- ^{lx} <https://www.fanc.fgov.be/nl/publicaties/verslagen-van-het-radiologisch-toezicht-belgie>.
- ^{lxi} Surveillance radiologique en Belgique - Rapport de synthèse 2019, FANC-AFCN, <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2019-annual-report-srt-nl.pdf>
- ^{lxii} Radiocesium contamination in Belgium, S. Pommé et al. (1998) Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry volume 235, pp. 139–145.
- ^{lxiii} <https://fanc.fgov.be/nl/professionelen/nucleaire-inrichtingen-klasse-i/toezicht-van-radioactieve-lozingen-van-klasse-i>, dossier d'information 2013 à 2019, consulté le 14/12/2020.
- ^{lxiv} <https://fanc.fgov.be/nl/professionelen/nucleaire-inrichtingen-klasse-i/toezicht-van-radioactieve-lozingen-van-klasse-i>, dossier d'information 2013 à 2019, consulté le 14/12/2020.
- ^{lxv} NUCABEL 2B - Monitoring of possible health effects of living in the vicinity of nuclear sites in Belgium: childhood leukemia incidence – Sciensano, <https://www.sciensano.be/en/projects/monitoring-possible-health-effects-living-vicinity-nuclear-sites-belgium-childhood-leukemia>
- ^{lxvi} NUCABEL 2A - Monitoring of possible health effects of living in the vicinity of nuclear sites in Belgium: thyroid cancer incidence – Sciensano, <https://www.sciensano.be/en/projects/monitoring-possible-health-effects-living-vicinity-nuclear-sites-belgium-thyroid-cancer-incidence>
- ^{lxvii} <https://nuclear.engie-electrabel.be/nl/powerplant/de-kerncentrale-van-doen/milieuverklaring>.
- ^{lxviii} Personne de contact : Jurgen Claes Jurgen.CLAES@FANC.FGOV.BE
- ^{lxix} Vinçotte sa. Project-MER – ELECTRABEL Kerncentrale Doel – SF²-project in Beveren. Réf. EOPSAN-20-60600924-02-01, 25 septembre 2020.
- ^{lxx} Carbon-14 and the environment, IRSN 2001 (revision 2010) https://www.irsn.fr/EN/Research/publications-documentation/radionuclides-sheets/environment/Documents/Carbone_UK.pdf
- ^{lxxi} Malcolm J. (2018) Nuclear Engineering Chapter 8 – Elementary Reactor Principles.
- ^{lxxii} Site web AIEA, Power Reactor Information System (PRIS), consulté le 07-12-2020.
- ^{lxxiii} IAEA Power Reactor Information System - <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>
- ^{lxxiv} Site web de l'AIEA, International Nuclear and Radiological Event Scale (INES), consulté le 06-12-2020.
- ^{lxxv} 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.
- ^{lxxvi} NSAC (1980) Analysis of the Three Mile Island – Unit 2 Accident, NSAC-80-1.
- ^{lxxvii} Corey, G.R. (1979) A brief review of the accident at Three Mile Island, IAEA Bulletin, Vol. 21(5), pp. 54-59.
- ^{lxxviii} CNT-KCD/4NT/0029088/000/01: LTO G1 - KCD12 - Radiological consequences for design basis accident (2020).
- ^{lxxix} CNT-KCD/4NT/0029070/000/01: LTO G1 - KCD12 - Radiological consequences for beyond design basis accident (2020).
- ^{lxxx} Gyselings et al. (2010) Monitoring natuur havengebied en omgeving Antwerpen Rechterover. INBO R.2010.15.
- ^{lxxxi} Vandenhove et al. (2013) Predicting the environmental risks of radioactive discharges from Belgian nuclear power plants. JER, Vol. 126, pp. 61-76.
- ^{lxxxii} Vandenhove et al. (2010) Evaluation of the environmental risk associated with the radiological liquid discharges from the Belgian nuclear power plants - SCK CEN-ER-132, pp 64.
- ^{lxxxiii} Vandenhove et al. (2011) Evaluation of the environmental risk associated with the radiological atmospheric discharges from the Belgian nuclear power plants - SCK CEN-ER-169, pp. 67.
- ^{lxxxiv} Brown et al. (2008) The ERICA tool. JER, Vol. 99(9), pp. 1371-1383.
- ^{lxxxv} MER DOEL 1 en 2 (2010) - KCD-MER/4NT/154702/000/01• 01/07/10
- ^{lxxxvi} 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.
- ^{lxxxvii} 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, www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1343_web.pdf
- ^{lxxxviii} <https://science.sckcen.be/en/Institutes/ANS/NSP/ALEPH2>.
- ^{lxxxix} Gérard, R., Fabry, A., Van de Velde, J., Puzzolante, J.L., Verstrepen, A., Van Ransbeeck, T., van Walle, E. (1996) "In-service embrittlement of the pressure vessel welds at the Doel I and II nuclear power plants", *Effects of Radiation on Materials: 17th International Symposium, ASTM STP 1270*, David S. Gelles, Randy K. Nanstad, Arvind S. Kumar and Edward A. Little, Eds., American Society for Testing and Materials.

- ^{xc} 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.
- ^{xcii} HERCA-WENRA (2014) Approach for a better cross-border coordination of protective actions during the early phase of a nuclear accident.
- ^{xciii} Seibert, P., Arnold, D., Arnold, N., Gufre, K., Kromp-Kolb, H., Mraz, G. Sholly, S. and Wenisch, A. (2013) FlexRISK – Flexible tools for Assessment of Nuclear Risk in Europe. Final Report. Boku-Met report 23. Preliminary version.
- ^{xciv} Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency (2015) IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7, IAEA, Vienna.
- ^{xcv} 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.
- ^{xcvi} Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency (2007) IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1, IAEA, Vienna.
- ^{xcvii} Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency (1991) ICRP Publication 63. Pergamon Press.
- ^{xcviii} Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. ICRP Publication 109. Pergamon Press (2009).
- ^{xcix} 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.
- ^c 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.
- ^{ci} Circulaire ministérielle NPU-1 du 26 octobre 2006 concernant les plans d'urgence et d'intervention.
- ^{cii} Arrêté royal du 30 novembre 2011 portant prescriptions de sûreté des installations nucléaires.
- ^{ciii} 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.
- ^{civ} Arrêté royal du 1er mars 2018 portant fixation du plan d'urgence nucléaire et radiologique pour le territoire belge.
- ^{cv} 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.
- ^{cvi} 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.
- ^{cvi} <https://crisiscentrum.be/nl/inhoud/oefeningen/> consulté le 05/12/2020.
- ^{cvi} CNT-KCD/4NT/0029070/000/01: LTO G1 - KCD12 - Radiological consequences for beyond design basis accident (2020).