

METHODOLOGIE POUR L'ETABLISSEMENT DES PLANS D'ECHANTILLONNAGE DANS LE CADRE DES ETUDES DIAGNOSTIQUES DE POLLUTION DES SOLS

JANVIER 2015

D'ËMWELTVERWALTUNG

Am Déngscht vu Mënsch an Ëmwelt

PROTECTION DES SOLS



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère du Développement durable
et des Infrastructures

Administration de l'environnement

1.	Introduction.....	2
1.1.	Avant-propos.....	2
1.2.	Cadre juridique.....	3
1.2.1.	Etude de sol dans le cadre d'une cessation d'activités.....	3
1.2.2.	Etude de sol dans le cadre légal de la loi relative aux déchets ou à la responsabilité environnementale.....	3
1.2.3.	Rapport de base dans le cadre la loi du 14 mai 2014 relative aux émissions industrielles.....	3
1.2.4.	Autres études de sol.....	3
2.	Définitions.....	4
3.	Programme de travail.....	6
3.1.	Etude Préliminaire.....	6
3.1.1.	Contexte du site (Zielebene).....	6
3.1.2.	Etude historique.....	7
3.1.3.	Modèle conceptuel du site.....	9
3.2.	Plan d'échantillonnage.....	9
3.2.1.	Application des stratégies d'échantillonnage.....	10
3.2.2.	Règles additionnelles pour le placement des piézomètres.....	13
3.2.3.	Cas particulier d'une étude préexistante.....	14
3.3.	Analyses à effectuer.....	15
3.3.1.	Paramètres d'analyse.....	15
3.3.2.	Produit pur.....	15
3.4.	Contenu du programme de travail à soumettre à l'Administration.....	16
3.4.1.	Chapitre 1 : Résultats de l'étude préliminaire.....	16
3.4.2.	Chapitre 2 : Plan d'échantillonnage.....	16
3.4.3.	Annexes obligatoires du programme de travail.....	18
3.4.4.	Annexes facultatives.....	18
4.	Règles générales pour les travaux de terrain.....	20
4.1.	Réalisation des forages et mise en place des piézomètres.....	20
4.2.	Prélèvement et conservation des échantillons.....	20
4.3.	Prise d'échantillons et analyses quand des forages ne peuvent pas être réalisés.....	20
4.4.	Analyse de l'air du sol.....	21
4.5.	Nivellement des forages.....	21
4.6.	Techniques d'étude alternatives.....	21
5.	Bibliographie.....	22

1. Introduction

1.1. Avant-propos

Le but de ce guide est de standardiser la prise d'échantillons et les analyses à effectuer dans le cadre d'une étude analytique en vue de la détection d'une pollution du sol, y compris sous-sol et eaux souterraines (diagnostic de pollution). Ce guide fixe les règles pour l'établissement du plan d'échantillonnage qui constitue la première étape du diagnostic de pollution et plus précisément il impose les règles pour le choix de l'implantation des points de forage/sondage.

Les diagnostics de pollution doivent être réalisés par une personne agréée conformément aux dispositions de la *loi du 21 avril 1993 relative à l'agrément des personnes physiques ou morales privées ou publiques, autre que l'Etat, pour l'accomplissement de tâches techniques d'étude et de vérification dans le domaine de l'environnement* (organismes agréés). L'organisme agréé est responsable des éventuels sous-traitants, il doit s'assurer que les différentes procédures sont connues et correctement appliquées.

Bien que fournissant des directives précises, la méthodologie n'est pas conçue pour constituer un canevas de réalisation des études diagnostiques figé et inflexible. Sur bon nombre d'aspects, elle laisse une place importante au jugement professionnel. Ainsi, notamment, les organismes agréés peuvent dévier des stratégies d'échantillonnage pour autant qu'une justification soit fournie.

Un diagnostic de pollution comporte plusieurs phases :

- Première phase : établissement du programme de travail sur base de l'étude préliminaire (étude du contexte du site et étude historique) et du plan d'échantillonnage par l'organisme agréé sur base du présent guide
- Deuxième phase : approbation du programme de travail par l'Administration de l'environnement
- Troisième phase : travaux de terrain et de laboratoire suivis de l'interprétation des résultats et rédaction du rapport du diagnostic de pollution par l'organisme agréé.

La finalité primaire d'un diagnostic de pollution est de vérifier si un site potentiellement pollué est à considérer comme pollué ou non. La délimitation des zones polluées et la quantification exacte des volumes des terres ou d'eaux souterraines polluées est à considérer comme un objectif secondaire qui ne doit pas nécessairement être atteint dans le cadre du diagnostic.

1.2. Cadre juridique

1.2.1. Etude de sol dans le cadre d'une cessation d'activités

Les plans d'échantillonnage pour les diagnostics de pollution réalisés dans le cadre d'une cessation d'activités définitive sont à effectuer selon les dispositifs du présent guide. Il est important de noter que l'objectif du diagnostic dans ce cas de figure est de mettre en évidence toute pollution éventuelle en relation avec l'activité qui cesse. La zone investiguée se limite donc à la zone concernée par la cessation d'activités. L'étude historique portera sur toutes les activités potentiellement polluantes qui y ont eu lieu et le cas échéant, le choix des paramètres à analyser ne limite pas aux seules substances utilisées lors de la dernière exploitation.

1.2.2. Etude de sol dans le cadre légal de la loi relative aux déchets ou à la responsabilité environnementale

Les législations relatives aux déchets et à la responsabilité environnementale autorisent le Ministre ayant l'environnement dans ses attributions de prendre des mesures curatives et préventives en cas de risque imminent pour la santé humaine ou en cas d'atteinte à l'environnement. L'exigence d'un diagnostic de pollution est une telle mesure curative et préventive lorsque le Ministre a des indices relatifs à la présence d'une pollution du sol qui pourrait présenter un risque imminent pour la santé humaine ou une atteinte à l'environnement. Les plans d'échantillonnage pour les diagnostics de pollution réalisés dans le cadre d'une telle procédure sont à effectuer selon les dispositions du présent guide. Une déviation par rapport aux dispositions du présent guide peut être pertinente si le diagnostic est réalisé suite à un déversement accidentel.

1.2.3. Rapport de base dans le cadre la loi du 9 mai 2014 relative aux émissions industrielles

Un rapport de base à établir suivant les exigences de la loi du 9 mai 2014 sur les émissions industrielles peut être effectué suivant les dispositifs du présent guide. Si l'étude historique ne met pas en évidence d'activités potentiellement polluante sur le terrain, l'échantillonnage se limitera à l'application de la stratégie d'échantillonnage C.

1.2.4. Autres études de sol

L'Administration peut exiger un diagnostic de pollution d'un établissement classé, si elle a une indication relative à la présence de polluants dans le sol (p.ex. suite à un accident). Cependant, une déviation par rapport aux dispositions du présent guide peut être pertinente dans ce cas de figure.

Souvent des diagnostics de pollution sont réalisés en vue de la cession d'un terrain potentiellement pollué. Même si ces études sont déclenchées par une initiative privée, il est conseillé de réaliser le plan d'échantillonnage pour ces diagnostics de sol selon les dispositions de ce guide.

2. Définitions

Diagnostic de pollution	Etude analytique en vue de la détection d'une pollution du sol effectuée sur base d'un plan d'échantillonnage réalisé suivant les consignes de ce guide
Sol	Couche superficielle de la croûte terrestre et tout ce qu'elle contient, y compris l'eau et les organismes biologiques
Cadastre des sites potentiellement contaminés (CASIPO-SPC)	Inventaire de tous les sites connus du pays où une pollution du sol et sous-sol ne peut être exclue parce qu'une activité potentiellement polluante y a (eu) lieu
Cadastre des sites contaminés ou assainis (CASIPO-SCA)	Inventaire de tous les sites du pays pour lesquels l'Administration de l'environnement dispose de résultats analytiques ou pour lesquels l'existence d'une pollution potentielle a pu être écartée sur base d'une étude historique
Compartiments du sol	Distinction entre les compartiments de la zone insaturée (matière solide et air du sol, humidité du sol) et ceux de la zone saturée (eau souterraine, matière solide et air du sol)
DNAPL	Dense non aqueous phase liquid (polluant à densité >1 kg/l en phase libre, couche coulante, p.ex solvants chlorés)
LNAPL	Light non aqueous phase liquid (polluant à densité <1 kg/l en phase libre, couche flottante, p.ex mazout)
Organisme agréé	Personnes physiques ou morales, privées ou publiques, autres que l'Etat chargées de l'accomplissement de tâches techniques d'étude et de vérification dans le domaine de l'environnement (loi du 21 avril 1993)
Pollution du sol, contamination du sol	Présence de substances dans au moins un des compartiments du sol pouvant entraver la qualité du sol de façon directe ou indirecte. Cette présence de substances résulte d'une activité humaine

Etude préliminaire	L'étude préliminaire se compose d'une étude du contexte du site et d'une étude historique. Son but est d'établir des hypothèses de pollution, qui servent de base pour l'établissement du plan d'échantillonnage
Modèle conceptuel du site	Représentation schématique évolutive reflétant les hypothèses de (non) pollution du site à chaque stade de l'étude
Programme de travail	Document présentant les travaux d'investigations que l'organisme agréé planifie de réaliser dans le cadre du diagnostic de pollution
Seuil ALEX02	Les « ALEX-Vollzugshilfen » prévoient 3 différents seuils d'acceptation de concentrations en polluants dans la matière sèche du sol en fonction de la sensibilité et de l'affectation du site. Pour les autres compartiments du sol, il existe un seul seuil indépendant de la sensibilité de l'affectation du site.
Risque de pollution	Suite à l'utilisation de substances potentiellement polluantes, une pollution peut exister. Ce risque peut être réparti sur une zone de façon hétérogène ou homogène
Zone à risque hétérogène de pollution (sources de pollution ponctuelles, "Hot spot")	<p>Zone avec pollution (potentielle) ayant une étendue limitée par rapport à la taille du site à analyser (même si la source n'est pas forcément identifiée et/ou localisée exactement):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Emplacement de machines, zone de stockage de déchets, zone de nettoyage, ... - Réservoirs contenant des substances potentiellement polluantes (y compris réseau de tuyaux ou conduites) ; - Emplacement où une pollution visible a été mise en évidence lors de la visite du site ; - Emplacements de survenue d'un accident impliquant des substances potentiellement polluantes ; - Zone de transvasement, de dépotage ou d'aération de substances potentiellement polluantes. - ... <p>Pour l'élaboration de la stratégie d'échantillonnage, la distinction est faite entre zones à risque hétérogène de pollution où l'emplacement des sources potentielles de pollution est connue (endroit exact où le polluant peut être entré dans le sol et sous-sol, endroit où les concentrations attendues en polluant sont maximales) et celles où cet emplacement n'est pas connu</p>
Zone à risque homogène	Zone avec pollution (potentielle) répandue sur l'ensemble du site à analyser (p.ex. en relation avec le matériau de

de pollution (Surfacique)	remblai) : <ul style="list-style-type: none"> – Matériau de remblai composé non exclusivement de matériaux inertes; – Introduction diffuse de polluants (p.ex. dépôt aérien de particules contaminées).
Zone a priori non polluée	Zone pour laquelle l'étude historique a permis d'écarter le risque de pollution
Substance potentiellement polluante	Substance qui (en relation avec une source de pollution potentielle) a pu ou peut engendrer une pollution du sol (y compris remblai)

3. Programme de travail

L'établissement du programme de travail est la première phase du diagnostic de pollution. Ce programme de travail est à soumettre à l'Administration de l'environnement pour approbation. Il se compose d'une étude préliminaire suivie de l'établissement d'un plan d'échantillonnage et d'analyse. Ce plan d'échantillonnage et d'analyse est basé sur le modèle conceptuel du site qui est une représentation schématique des résultats de l'étude préliminaire.

3.1. Etude Préliminaire

Le but de l'étude préliminaire est de rassembler toutes les informations pertinentes permettant de cibler au maximum les efforts d'étude. L'étude préliminaire comporte une description du contexte du site, une étude historique et un modèle conceptuel du site. Par contexte du site, on entend la situation du site par rapport à son contexte géographique (localisation, taille, occupation du sol...), sa géologie et son hydrogéologie. Lors de l'étude préliminaire, le maximum de zones à risque de pollution est à identifier pour pouvoir servir de base lors de l'établissement du plan d'échantillonnage et d'analyse.

Le résultat de l'étude préliminaire est matérialisé par le modèle conceptuel du site qui comporte au moins les deux cartes suivantes du terrain :

- La carte des zones à risque homogène de pollution;
- La carte des zones à risque hétérogène de pollution.

Le cas échéant, il comprendra en outre une carte des zones a priori non polluées et une coupe.

3.1.1. Contexte du site (Zielebene)

La description du site et des alentours ainsi que la définition du contexte géographique, géologique et hydrogéologique mènent à la proposition du seuil d'acceptation de la liste ALEX02 (Zielebene) applicable pour le site. Ce seuil est proposé par l'organisme agréé dans le cadre du programme de travail soumis pour approbation à l'Administration de l'environnement.

Selon la définition de la liste ALEX02, les seuils applicables dépendent seulement de la future utilisation du site et ne considèrent que l'homme comme objet à risque:

- Seuil 1: quasi naturel, utilisation multifonctionnelle;
- Seuil 2: absence de risque pour l'homme, utilisation sensible (habitations);
- Seuil 3: absence de risque pour l'homme si utilisation limitée du site (industrie, commerces).

L'Administration de l'environnement interprète ces seuils de façon plus globale en considérant également d'autres objets à risque, comme par exemple les ressources en eaux souterraines exploitables (p.ex : périmètre de captage d'eau potable). Il en découle qu'un site industriel peut être évalué selon le niveau 3, 2 ou 1 selon sa situation par rapport à des zones de captage ou des cours d'eau.

3.1.1.1. Le site et ses alentours

L'affectation actuelle du site est indiquée dans le programme analytique. L'affectation planifiée est indiquée si elle est connue. Si l'affectation planifiée est inconnue, le plan d'aménagement général de la commune est pris comme référence.

Dans la description du site et des alentours, la présence des éléments suivants est indiquée:

- habitations
- zones de récréation
- aires de jeu
- jardins potagers
- surfaces agricoles
- eaux de surface

Certaines pollutions peuvent migrer en dehors des limites de leur site d'origine et peuvent ainsi avoir une influence sur l'état du site avoisinant à étudier (p.ex. station-service ou nettoyage à sec sur le site limitrophe, la pollution peut avoir migré vers le site étudié). Si une telle situation est probable, il y a lieu de se renseigner auprès de l'Administration de l'environnement au sujet d'éventuelles études de sol déjà réalisées dans les alentours et d'intégrer ces informations dans le modèle conceptuel du site.

3.1.1.2. Situation géologique et hydrogéologique

Pour la description de la situation géologique et hydrogéologique du site dans le cadre de l'établissement du programme d'études, il suffit de consulter les cartes géologiques 1:25.000 ainsi que la carte hydrogéologique 1:200.000 éditées par le Service Géologique. La carte hydrogéologique indique approximativement si le site se trouve sur un des aquifères exploitables du pays. Si tel est le cas, il y a lieu de formuler une demande auprès de l'Administration de la gestion de l'eau, Service des eaux potables pour se renseigner s'il existe des captages d'eaux souterraines dans les environs et si le site étudié est situé sur une zone de protection d'eaux souterraines. Les zones provisoires de protection d'eaux souterraines seront utilisées en cas d'absence de règlement grand-ducal définissant la zone de protection d'eaux souterraines, sauf informations contraires.

3.1.2. Etude historique

L'étude historique est une étape très importante du diagnostic du site. Plus l'étude historique est solide (approfondie), plus les atteintes probables à l'environnement sont recherchées de manière ciblée lors des travaux de terrain. Ceci peut permettre de réaliser des économies étant donné que le nombre de forages et la palette des paramètres à analyser peuvent être optimisés.

L'étude historique se compose d'une étude documentaire et d'une visite sur site. Elle aboutit sur un plan ou plusieurs plans du site indiquant les zones à risque de pollution ayant successivement existé au cours de l'évolution des activités. Ces plans forment constituent le modèle conceptuel du site qui sert de base pour l'élaboration du plan d'échantillonnage.

L'ampleur de l'étude historique est déterminée par le type et l'histoire du site, ainsi que par le nombre et la qualité des documents encore disponibles. Lorsqu'il apparaît déjà au cours de l'étude historique qu'aucune source de pollution potentielle n'a été ou n'est présente sur le site, aucun échantillon ne doit être pris. Dans ce cas de figure, le programme de travail à soumettre à

l'Administration de l'environnement se résume à l'étude historique. Sous réserve d'approbation par l'Administration de l'environnement, le site est alors classé « sans restriction » dans le cadastre des sites contaminés et assainis.

Dans le cadre de l'étude historique, il est impératif d'avoir recours à toute information disponible. Une partie de l'étude historique découle des documents d'archive de la commune et d'autres administrations, une autre partie des archives de l'entreprise ayant exploité le site. Les éléments suivants peuvent jouer un rôle important:

- Plans détaillés du site indiquant l'évolution successive des bâtiments et des emplacements de machines en fonction du temps;
- Identification des zones, des quantités et des modes de stockage de substances dangereuses;
- Identification d'éventuelles zones de décharge de déchets de production;
- Identification des zones a priori non polluées
- Bulletins de livraison de substances dangereuses;
- Plaintes concernant l'exploitation du site;
- Articles de journaux ou autres éléments informatifs sur d'éventuels accidents majeurs;
- Articles de journaux sur l'inauguration de nouveaux procédés de fabrication,...
- Autorisations de construction successives;
- Autorisations pour réservoirs à mazout;
- Etudes de pollution du sol antérieures;
- Rapports concernant des assainissements antérieurs sur le site ;
- Autorisations d'exploitation en matière d'établissements classés;
- Photos aériennes;
- Cartes topographiques historiques
- Témoins oculaires (p.ex. ouvriers de production qualifiés ou voisins)
- Témoignages des pompiers ou du garde forestier
- ...

Lors de la visite du site, les installations existantes sont relevées et la présence d'indications visuelles de pollution au sol est notée. Les types de revêtement et leur état sont également relevés lors de cette visite. Si les autorisations en matière d'établissements classés comprennent des éléments qui n'ont jamais été mis en service sur le site, ceci doit être indiqué clairement dans le rapport du programme d'étude. De la même façon, les installations non autorisées mais existantes sont mentionnées. La visite du site est documentée par des photos et des plans du site.

Si pertinent, un relevé des réservoirs à substances potentiellement polluantes est réalisé à l'aide du tableau suivant:

Tableau 1: Relevé des réservoirs

Numéro réservoir	Capacité (l)	Produit	Type (UST, AST)	Prof. base (m)	Année d'installation	Paroi (S/D)	Détection de fuite (O/N)	Remplissage (D/ZD)	Limiteur de remplissage (O/N)	Dernier contrôle (année)	Cuve de rétention étanche (O/N)	Revêtement	Mise hors service (année)	Nettoyage, neutralisation (O/N)	Remarques
R1															
R2															

LEGENDE:

Produit: substance potentiellement polluante stockée dans le réservoir (peut avoir varié au cours du temps)

Type: UST=underground storage tank (réservoir souterrain) /AST=aboveground storage tank (réservoir aérien)

Prof. base: profondeur présumée de la base du réservoir souterrain par rapport à la surface du sol

Paroi: Simple/Double

Remplissage: Directe sur réservoir/A partir de zone de dépotage

Dernier contrôle: Année du dernier certificat d'étanchéité disponible

Cuve de rétention étanche: si la cuve existe mais n'a pas l'air étanche, ceci est mentionné

Revêtement: Revêtement de sol au-dessus du réservoir et état de ce réservoir

Nettoyage/neutralisation : Joindre certificats

Remarques: p.ex : remarques sur l'aspect général de l'installation, fuites visibles dans les tuyauteries, si le réservoir a déjà été enlevé ou rempli avec du sable...

Tous les réservoirs relevés sont indiqués sur un plan détaillé du site qui sera joint au programme d'étude. Lors de l'établissement du relevé des réservoirs, l'emplacement des tuyaux et conduites en relation avec ces réservoirs est également indiqué si possible et si jugé pertinent sur le plan détaillé du site (Annexe 5 du programme de travail).

3.1.3. Modèle conceptuel du site

Le modèle conceptuel du site reflète les hypothèses de (non)pollution établies sur base du contexte du site et de l'étude historique. Il peut contenir des données d'éventuelles études préexistantes ainsi qu'une première vision simplifiée des voies potentielles de transfert des polluants et des récepteurs pouvant être menacés par la pollution.

Le modèle conceptuel du site est un document évolutif qui peut être actualisé à chaque stade d'information plus détaillé. L'organisme agréé a la faculté d'y ajouter tout élément utile à la bonne perception synthétique de la situation (présumée) de pollution du site, comme par exemple des coupes hypothétiques.

Au stade de l'étude préliminaire, le modèle conceptuel du site est matérialisé au minimum par les cartes suivantes qui servent de base pour l'application des stratégies d'échantillonnage:

- Carte des zones à risque homogène de pollution
- Carte des zones à risque hétérogène de pollution
- Carte des zones a priori non polluées
- Coupe hypothétique (en cas de pertinence)

3.2. Plan d'échantillonnage

Pour établir le plan d'échantillonnage, les cartes des zones à risque homogène de pollution et les cartes des zones à risque hétérogène de pollution du modèle conceptuel du site servent de base. L'emplacement exact des points de forage ou de sondage (fouilles de reconnaissance) est déterminé en combinant les stratégies d'échantillonnage basées sur la ou les hypothèse(s) de

pollution. Le choix entre forages et sondages dépend de la nature du terrain et de la nature des pollutions potentielles investiguées. En fonction de la nature du terrain il est possible de combiner ces deux techniques d'investigation.

3.2.1. Application des stratégies d'échantillonnage

Ce chapitre explique comment les forages/sondages doivent être répartis sur le site en fonction de la ou les hypothèse(s) de pollution. Distinction est faite entre quatre types de zones à risque de (non)pollution:

- zone à risque hétérogène de pollution avec localisation des sources potentielles de pollution : "Hot spot" (stratégie d'échantillonnage A)
- zone à risque hétérogène de pollution sans localisation des sources potentielles de pollution (stratégie d'échantillonnage B)
- zone à risque homogène de pollution : Surfacique (stratégie d'échantillonnage C)
- zone a priori non pollués : pas de stratégie d'échantillonnage à appliquer

Lors de la superposition de plusieurs zones à risque de pollution, il faut tenir compte de chacune d'elles individuellement quitte à combiner les forages/sondages des différentes stratégies ultérieurement. Une déviation par rapport à l'application des stratégies d'échantillonnage décrites ci-après doit toujours être justifiée.

3.2.1.1. Stratégie d'échantillonnage A : zone à risque hétérogène de pollution où les sources potentielles de pollution peuvent être localisées ("Hot spot")

Le nombre de forages ou de sondages est déterminé par les tableaux 4a, 4b, 5a et 5b. Ces tableaux font une distinction suivant la nature des différentes sources potentielles de pollution.

Tableau 4a - Stratégie d'échantillonnage au niveau d'une source de pollution liquide pas totalement au-dessus du sol (tel que les réservoirs de liquides potentiellement polluants, utilisation des liquides potentiellement polluants en circuits ouverts ou zones de transvasement de liquides potentiellement polluants)

Superficie en m ² (1)	Nombre de forages	Dont piézomètres (2)
<5]	1	1
]5 -20]	2	1
]20 -50]	3	1
]50 -100]	4	2
]100 -500]	6	2
nombre min. d'échantillons sol	≥ nombre de forages	≥ nombre de forages
nombre d'échantillons eau	≥ nombre de piézomètres	≥ nombre de piézomètres

Légende :

(1) Superficie individuelle occupée par la source potentielle de pollution au niveau du sol (ensemble contigu). La superficie occupée est toujours arrondie vers le haut. Si la superficie totale de la source potentielle de pollution est supérieure à 500 m², la zone est divisée.

(2) Voir également « règles additionnelles pour le placement des piézomètres »

Concernant les réservoirs souterrains unitaires cylindriques, on admet globalement selon leur contenance, les superficies suivantes, pour 1.000 l → 3 m², pour 5.000 l → 7 m², pour 10.000 l → 9 m², pour 20.000 l → 19 m², pour 50.000 l → 34 m², pour 100.000 l → 56 m².

Tableau 4b - Stratégie d'échantillonnage au niveau d'une source de pollution pas totalement au-dessus du sol et pas liquide

Superficie en m ² (1)	Nombre de forages	Dont piézomètres (2)
<20]	1	1
]20 -100]	2	1
]100 -500]	3	2
]500 -1000]	4	2

Légende :

- (1) Superficie individuelle occupée par la source potentielle de pollution au niveau du sol (ensemble contigu). La superficie occupée est toujours arrondie vers le haut. Si la superficie totale de la source potentielle de pollution est supérieure à 500 m², la zone est divisée.
- (2) Voir également « règles additionnelles pour le placement des piézomètres »

Cette stratégie, concerne principalement les fosses et les zones de déchets enfouis non-liquides. Elle ne peut pas être appliquée s'il persiste un doute sur l'existence éventuelle d'une source de pollution liquides (p.ex si une fosse d'inspections de véhicules présente des indications d'écoulements d'hydrocarbures, il y a lieu d'appliquer le tableau 4a)

Tableau 5a - Stratégie d'échantillonnage concernant une source de pollution liquide au-dessus du sol

Superficie en m ² (1)	Nombre de forages	Dont piézomètres (2)
< 10]	1	1
]10 -50]	2	1
]50 -100]	3	1
]100 -500]	4	2
]500 -2000]	6	2
nombre min. d'échantillons sol	≥ nombre de forages	≥ nombre de forages
nombre d'échantillons eau	≥ nombre de piézomètres	≥ nombre de piézomètres

Légende :

- (1) Superficie individuelle occupée par la source potentielle de pollution (ensemble contigu). La superficie occupée sera toujours arrondie vers le haut. Si la superficie totale de la source potentielle de pollution de surface est supérieure à 2.000 m², la zone est divisée.
- (2) Voir également « règles additionnelles pour le placement des piézomètres »

Tableau 5b - Stratégie d'échantillonnage concernant une source de pollution pas liquide au-dessus du sol

Superficie en m ² (1)	Nombre de forages	Dont piézomètres (2)
< 100]	1	1
]100 – 500]	2	1
]500 -2000]	3	1
nombre min. d'échantillons sol	≥ nombre de forages	≥ nombre de forages
nombre d'échantillons eau	≥ nombre de piézomètres	≥ nombre de piézomètres

Légende :

- (1) Superficie individuelle occupée par la source potentielle de pollution (ensemble contigu). La superficie occupée sera toujours arrondie vers le haut. Si la superficie totale de la source potentielle de pollution de surface est supérieure à 2.000 m², la zone est divisée.
- (2) Voir également « règles additionnelles pour le placement des piézomètres »

Cette stratégie, concerne principalement les transformateurs et les zones de stockage sans transvasement. Elle ne peut pas être appliquée s'il persiste un doute sur l'existence éventuelle d'une source de pollution liquides (p.ex dans le cas d'indications de fuite sur le transformateur)

Concernant la stratégie d'échantillonnage A, il y a lieu de placer les sondages de manière ciblée, au centre du "Hot spot", si cela est possible, ou tout autour de celui-ci.

3.2.1.2. Stratégie d'échantillonnage B : zone à risque hétérogène de pollution où les sources potentielles de pollution ne peuvent pas être localisées

Le nombre de forages ou de sondages est déterminé par le tableau 6.

Tableau 6 - Stratégie d'échantillonnage B

Superficie en ha (1)	Nombre de forages	Dont piézomètres (2)
<0,05]	4	1
]0,05 -0,25]	5	2
]0,25 -0,5]	7	2
]0,5 -1]	10	3
]1 -2]	14	3
]2 -3]	16	3
]3 -4]	18	4
]4 -5]	20	4
]5 -6]	22	5
nombre min. d'échantillons sol	≥ nombre de forages	≥ nombre de forages
nombre d'échantillons eau	≥ nombre de piézomètres	≥ nombre de piézomètres

La superficie à étudier est toujours arrondie vers le haut (par ex. ≥ 1,00 ha tombe dans la catégorie 1-2 ha)

(1) superficie individuelle de la zone à risque. Quand la zone à risque a une surface supérieure à 6 ha, elle est subdivisée en zones < 6 ha

(2) Voir également « règles additionnelles pour le placement des piézomètres »

Cette stratégie concerne principalement les halls de fabrications ou ateliers avec des lacunes d'information sur l'emplacement des hot spots.

Concernant la stratégie d'échantillonnage B, il y a lieu de placer les sondages de manière aléatoire ou selon une grille géométrique pour augmenter leur représentativité. On peut éviter d'utiliser cette stratégie d'échantillonnage pour des halls, dans la mesure où l'étude historique et la visite de terrain permettent de localiser les installations afin de pouvoir les considérer comme "Hot spot".

3.2.1.3. Stratégie d'échantillonnage C : zone à risque homogène de pollution (surfactive)

Le nombre de forages ou de sondages est déterminé par le tableau 7:

Tableau 7 – Stratégie d'échantillonnage en cas de risque homogène de pollution

Superficie individuelle de la zone à risque homogène (ha) (1)	Nombre de forages	Dont piézomètres (2)
< 0,05]	2	1
]0,05 -0,25]	3	1
]0,25 -0,5]	4	2
]0,5 -1]	6	2
]1-2]	8	3
]2 -3]	10	3
]3 -4]	12	4
]4 -5]	14	4
]5 -6]	16	5
nombre min. d'échantillons sol	≥ nombre de forages	≥ nombre de forages
nombre d'échantillons eau	≥ nombre de piézomètres	≥ nombre de piézomètres

Légende :

Avant de déterminer le nombre de forages/piézomètres, la superficie du terrain en ha est arrondie vers le haut

- (1) superficie individuelle de la zone à risque homogène: la superficie individuelle de chaque lot est fixée à un maximum de 6 ha. Quand la zone à risque a une plus grande superficie, elle est subdivisée en parcelles de maximum 6 ha.
- (2) Voir également « règles additionnelles pour le placement des piézomètres »

Cette stratégie concerne principalement les zones de remblais et les zones de dépôts atmosphériques. Concernant la stratégie d'échantillonnage C, il est souhaitable de placer les sondages selon une grille géométrique ou de façon aléatoire.

3.2.1.4. **Combinaison des stratégies d'échantillonnage et optimisation du nombre de forages**

Les différentes stratégies d'échantillonnage peuvent être combinées entre elles selon les modalités du tableau suivant:

Tableau 8 – Combinaison des stratégies d'échantillonnage

Stratégie	A (hot spot)	B (source non localisée)	C (surfacique)
A (hot spot)	oui	oui	oui
B (source non localisée)	oui	oui	oui
C (surfacique)	oui	oui	oui

Le choix des stratégies et des combinaisons de ces dernières sont à documenter (Annexe 8), et l'implantation des forages doit être justifiée.

3.2.2. **Règles additionnelles pour le placement des piézomètres**

Par dérogation aux stratégies d'échantillonnage évoquées ci-avant, le nombre de piézomètres peut être réduit selon les règles suivantes :

- Pour des terrains à analyser de superficie ≤10 ares, un seul piézomètre suffit
- Pour des terrains à analyser de superficie ≤ 25 ares, trois piézomètres suffisent

Lorsque le niveau de la nappe d'eau souterraine est plus profond que 6 mètres, il n'est pas nécessaire de placer des piézomètres dans le cadre du diagnostic. S'il y a des indications de pollution éventuelle d'une nappe d'eau plus profonde que 6 mètres, le placement de piézomètres doit être réalisé en une deuxième phase d'étude (étude approfondie) après concertation avec l'Administration de l'environnement et en cas de nécessité avec l'Administration de la gestion de l'eau.

La profondeur de la nappe d'eau souterraine est déduite d'observations sur le terrain en combinaison avec les données des cartes géologiques, sans tenir compte d'éventuels abaissements de la nappe en relation avec des pompages. En cas de variations saisonnières, c'est le niveau le plus élevé de la nappe qui est considéré.

Lors de la présence d'eau dans une "nappe locale" (Schichtwasser), même en l'absence d'une nappe d'eau de grande envergure, les piézomètres sont placés comme indiqué dans les stratégies d'échantillonnage, sauf indication contraire par l'organisme agréé qui juge que le placement de piézomètres risque la création de voies d'écoulement préférentielles de polluant vers une nappe profonde. Dans ce cas, cette situation est documentée par le modèle conceptuel du site.

Pour ce qui est du nombre de piézomètres, le rayon d'influence des piézomètres peut être pris en compte. Le choix de remplacer des piézomètres par des sondages doit être justifié.

3.2.3. Cas particulier d'une étude préexistante

Lorsque le site a déjà été le sujet d'un diagnostic de pollution par un organisme agréé, plusieurs cas de figure peuvent se présenter. De façon générale, les résultats de cette étude restent valables, mais dans certains cas une réévaluation des résultats est nécessaire. La décision quant à la nécessité d'un nouveau diagnostic de pollution est prise au cas par cas en concertation avec l'Administration de l'environnement.

3.2.3.1. Réévaluation d'une étude suite à un changement d'affectation

Si un changement d'affectation du sol est prévu et que la nouvelle affectation est plus sensible, l'étude se résume à une réévaluation des résultats des analyses antérieures. Si l'organisme agréé estime qu'il n'y a pas assez de données disponibles pour évaluer la présence éventuelle d'un risque en relation avec le nouveau type d'affectation, une étude sur le terrain et des analyses supplémentaires seront effectuées.

3.2.3.2. Actualisation d'une étude datée de plus d'un an

Si la dernière étude date de plus d'un an et que des installations à risque ont encore été exploitées, elle doit être actualisée. Dans cette étude, seules les zones où des installations à risque sont encore présentes, depuis la précédente étude sont investiguées. Dans ces zones toutes les sources potentielles de pollution sont étudiées. Des sources potentielles de pollution peuvent provoquer une pollution supplémentaire si elles sont toujours exploitées ou si un stockage a lieu.

Les piézomètres déjà présents sur le terrain peuvent être utilisés si les détails techniques d'implantation sont connus. Si nécessaire, des piézomètres supplémentaires seront à installer.

3.3. Analyses à effectuer

3.3.1. Paramètres d'analyse

L'organisme agréé sélectionne les échantillons à analyser et détermine les paramètres devant être analysés. Sur base de l'étude historique et d'après l'activité ou l'installation à risque, l'organisme agréé détermine les substances à risque à analyser. En cas de manque d'information sur les paramètres à risque, il y a lieu de réaliser un screening qualitatif pour détecter d'éventuels polluants (GC-Qual). Si l'étude historique a montré l'utilisation de substances que ne se trouvent pas dans la liste ALEX02, ces substances sont également analysées. Pour l'interprétation des résultats d'analyses dans ce cas spécifique, l'organisme agréé se base sur des normes existantes dans d'autre pays, tout en indiquant la source bibliographique de ces normes. Les produits pertinents de dégradation des substances à risque sont également analysés.

Le nombre minimal d'échantillons à analyser est défini par les tableaux 4a à 7. Les analyses sont faites par un laboratoire agréé conformément aux dispositions de la loi du 21 avril 1993 relative à l'agrément de personnes physiques ou morales, privées ou publiques.

L'organisme agréé établit une grille avec les paramètres à analyser par échantillon en fonction des activités ou installations à risque concernées.

Tableau 9 - Grille des analyses à effectuer

Zone à risque de pollution		Paramètres d'analyses des terres	Paramètres d'analyses des eaux	Paramètres d'analyses de l'air du sol (si nécessaire)
Hot spot	zone a			
	zone b			
Zone à risque de pollution surfacique	zone 1			
	zone 2			
	...			

Dans le but de pouvoir évaluer la répartition des polluants dans les différents compartiments du sol et de prévoir le potentiel de migration des polluants, les paramètres suivants seront également déterminés sur une sélection d'échantillons de sol:

- Répartition des fractions fines (pourcentage de masse en particules minérales < 2µm par rapport à la masse totale)
- teneur en matière organique (pourcentage de masse de perte au feu par rapport à la masse totale)

3.3.2. Produit pur

Si, lors de la réalisation du travail de terrain, un produit pur est constaté sous la forme d'une couche flottante (LNAPL) ou coulante (DNAPL), une indication de l'épaisseur de la couche du produit pur est à fournir. Dans la mesure du possible, le produit pur est échantillonné pour être soumis à une analyse de qualification.

3.4. Contenu du programme de travail à soumettre à l'Administration de l'environnement

Le programme de travail possède la structure suivante :

- Chapitre 1 : Résultats de l'étude préliminaire
- Chapitre 2 : Plan d'échantillonnage
- Annexes obligatoires
- Annexes facultatives

3.4.1. Chapitre 1 : Résultats de l'étude préliminaire

3.4.1.1. Contexte du site et de l'étude

Ce chapitre décrit le contexte de l'étude (le cadre juridique dans lequel l'étude est réalisée, mandataire, exploitant, propriétaire,...). Il renseigne en outre sur les alentours ainsi que sur le contexte géologique et hydrogéologique du site. L'affectation actuelle et future est décrite et un seuil de la liste ALEX02 (Zielebene) est proposé.

3.4.1.1. Résultats de l'étude historique

Ce chapitre comprend les résultats de l'étude historique (volet administratif et visite du site). Il renseigne également sur d'éventuelles études de sol ou assainissement effectués antérieurement sur le site.

L'aspect général (p.ex : état du revêtement de sol, taches d'huile sur le sol,...) des différentes zones à risque de pollution est documenté par des photos qui font partie intégrante du programme d'étude.

L'éventuel manque de disponibilité d'informations doit clairement être indiqué dans le rapport du programme d'étude.

S'il s'avère nécessaire d'appliquer des mesures de sécurité, l'organisme agréé en définira le contenu dans le chapitre consacré aux résultats de l'étude historique.

3.4.1.2. Modèle conceptuel du site

La synthèse du contexte du site et de l'étude historique est le modèle conceptuel du site qui comporte l'identification et la délimitation de zones où ont été utilisés, stockés ou transvasés des substances pouvant engendrer une pollution du sol ainsi que des zones où des accidents avec des polluants potentiels sont survenus. Toutes ces zones formeront des zones à risque de pollution à indiquer dans la carte des zones à risque de pollution.

3.4.2. Chapitre 2 : Plan d'échantillonnage

Ce chapitre permet de retracer les calculs effectués pour déterminer le nombre de forages à réaliser. Il indique comment les différentes stratégies d'échantillonnage sont appliquées. Le tableau récapitulatif des stratégies appliquées est annexé au programme de travail sous le format suivant:

Tableau 10: récapitulatif des stratégies appliquées

Stratégie A							Stratégie B						Stratégie C						
Déno- mi- nation	m2	Tableau	nbr forages	nbr piézos	opt f	opt p	Déno- mi- nation	m2	nbr forages	nbr piézos	opt f	opt p	Déno- mi- -nation	m2	nbr forages	nbr piézos	opt f	opt p	

Les analyses à effectuer sont également décrites dans ce chapitre sous forme de tableau des paramètres à analyses dans les différents échantillons en fonction de l'activité ou installation à risque.

3.4.3. Annexes obligatoires du programme de travail

Les annexes suivantes font obligatoirement partie intégrante du programme de travail à soumettre à l'Administration de l'environnement pour approbation:

- Annexe 1 : Extrait de la carte topographique (1/10.000-1/25.000 selon la taille et l'emplacement du site);
- Annexe 2 : Extrait cadastral et fiches du cadastre des sites potentiellement contaminés (CASIPO-SPC) et du cadastre des sites contaminés ou assainis;
- Annexe 3 : Extrait de la carte géologique et hydrogéologique (avec indication des eaux de surface aux alentours du site, des captages d'eau souterraines, et la direction d'écoulement présumée des eaux souterraines);
- Annexe 4 : Plan(s) détaillé(s) du site (1/500 ou plus rapproché) indiquant :
 - la délimitation du site ;
 - les limites et les numéros des parcelles (cadastrales) ;
 - les bâtiments existants et anciens ;
 - les revêtements de sol ;
 - les éventuels captages d'eaux souterraines sur le site ;
 - les éventuelles zones de remblai ;
 - les conduites de surface ou souterraines liées à la dernière exploitation ;
- Annexes 5: Résultats de l'étude historique :
 - tableau récapitulatif et plan des réservoirs à substances potentiellement polluantes;
 - plans avec emplacements successifs des machines;
 - plans avec l'évolution historique des bâtiments;
 - plans des conduites de surface ou souterraines liées aux exploitations historiques ;
 - photos aériennes (historiques).
- Annexe 6 : Modèle conceptuel du site avec :
 - Plan des zones à risque de pollution surfacique (zones à risque homogène de pollution);
 - Plan des zones à risque de pollution ponctuelle (zones à risque hétérogène de pollution);
 - Plan des zones a priori non polluées.
- Annexe 7 : Tableau récapitulatif des stratégies utilisées par zone;
- Annexe 8 : Plan à l'échelle des points de forage ou de sondage prévus, avec indication des piézomètres;
- Annexe 9 : Tableau récapitulatif des échantillons et analyses à effectuer par zone à risque;
- Annexe 10 : Photos de la visite du site;
- Annexe 11: si disponibles: certificats et attestations d'élimination de déchets, de nettoyage de réservoirs,...;
- Annexe 12: si disponible: résultats d'études ou assainissement antérieurs;

3.4.4. Annexes facultatives

Les annexes suivantes peuvent faire partie intégrante du programme de travail à soumettre à l'Administration pour approbation :

- Documents historiques pouvant avoir une importance dans le cadre du diagnostic de pollution (p.ex : informations relatives à un accident pouvant engendrer une pollution du sol);

- (Extraits) d'autorisations en matière d'établissements classés (p.ex : relevé des substances).
- Autres

4. Règles générales pour les travaux de terrain

Dans ce chapitre un certain nombre de règles générales en relation avec les travaux de terrain seront évoquées. Il s'agit de règles générales applicables pour toutes les études de sol, ce qui fait que ces points n'ont pas besoin d'être spécifiés dans le programme d'étude. Ce chapitre se concentre sur quelques éléments de base. De façon générale, ce sont les consignes du Merkblatt ALEX14 qui sont appliquées pour les travaux d'échantillonnage et d'analyse.

4.1. *Réalisation des forages et mise en place des piézomètres*

Le travail sur le terrain est effectué sous la direction et en présence de l'organisme agréé.

L'emplacement des forages et des piézomètres est choisi sur base des dispositions mentionnées dans les différentes stratégies d'échantillonnage, en tenant compte de la présence éventuelle de voies préférentielles de migration de la pollution. A moins que ceci ne soit pas possible ou souhaitable pour des raisons techniques déterminées, les forages et les piézomètres sont, dans la mesure du possible, mis en place au centre ou au pourtour de la pollution éventuelle.

La profondeur des forages est fonction de la source potentielle de pollution (souterraine ou en surface) et doit atteindre au moins un mètre en-dessous de la base de celle-ci.

Pour décider de la profondeur des crépines des piézomètres, on tient compte :

- des polluants éventuels :
 - pour les substances ayant tendance à former une couche flottante (possédant une densité < 1), les crépines des piézomètres sont partiellement installées dans la zone insaturée pour permettre à une éventuelle phase de produit pur de s'accumuler dans le piézomètre
 - pour les substances ayant tendance à former une couche coulante (possédant une densité > 1), les crépines des piézomètres se limitent aux deux mètres inférieurs de l'aquifère pour permettre à une éventuelle phase de produit pur de s'accumuler dans le piézomètre
- de la géologie et hydrogéologie du terrain.

Pour chaque forage, une description lithologique des carottes prélevées et de l'équipement des piézomètres est rédigée.

De façon générale, les forages peuvent être remplacés par des sondages (fouilles de reconnaissance) sous condition d'atteindre la base des sources potentielles de pollution.

4.2. *Prélèvement et conservation des échantillons*

Les prélèvements et la conservation des échantillons doivent être effectués sous la direction d'un organisme agréé.

L'analyse de mélange d'échantillons n'est autorisée que pour des échantillons sans risque de contamination ou dans le cas d'une pollution diffuse (par ex. un dépôt atmosphérique). Les échantillons doivent clairement appartenir à une même couche lithologique. En aucun cas on ne peut mélanger des échantillons de composition différente ou différant par leur degré de pollution observable de façon organoleptique ou visuel. Tout au plus, 3 échantillons (prélevés sur un trajet de 1m maximum) peuvent être mélangés pour faire l'objet d'une analyse commune.

4.3. *Prise d'échantillons et analyses quand des forages ne peuvent pas être réalisés*

Dans les zones urbaines, il est parfois impossible de forer à l'endroit même du terrain en raison, par exemple, de la présence d'un parking souterrain ou d'une construction. Dans ce cas, les piézomètres doivent, dans la mesure du possible, être placés tout autour et au plus proche des

zones à risque non accessibles. Eventuellement l'air du sol ou même l'air ambiant doivent être analysés.

4.4. Analyse de l'air du sol

Si l'organisme agréé le juge nécessaire les analyses de terres doivent être complétées par des analyses de l'air du sol.

4.5. Nivellement des forages

Pour tous les forages et piézomètres, une hauteur Z (relative/absolue) en mètre est donnée par rapport à un point de référence connu.

L'emplacement des forages et des piézomètres est mesuré par rapport à un point de référence fixe avec une précision au décimètre pour les forages et du centimètre pour les piézomètres.

Si le terrain a une superficie totale supérieure à 1 ha, les coordonnées X-Y des forages et des piézomètres sont déterminées avec une déviation maximale de 2 m. Tout dépassement de cette déviation sera expressément signalée.

4.6. Techniques d'étude alternatives

Lors d'un diagnostic de pollution, d'autres techniques d'étude (p.ex. prospection géophysique ou mesure semi quantitative des polluants in situ) peuvent être appliquées en supplément des forages et des piézomètres. Ces techniques peuvent être utilisées pour évaluer le sous-sol géologique, les obstacles souterrains ou la présence de matériaux étrangers au sol (par exemple des déchets). Dans certains cas, ces techniques peuvent être utilisées pour rassembler des données complémentaires concernant l'état de pollution d'un terrain (par exemple délimitation d'un panache de pollution ayant migré).

Ces techniques alternatives peuvent uniquement être utilisées pour compléter les résultats d'un diagnostic de pollution comprenant une prise d'échantillons et des analyses comme décrit dans ce guide méthodologique.

5. Bibliographie

- [1] Standaardprocedure Oriënterend Bodemonderzoek, OVAM (2011)
- [2] ALEX Vollzugshilfen (<http://www.mufv.rlp.de>)
- [3] Dealing with Contaminated Sites, From Theory towards Practical Application, F. Swartjes et al. (2011)
- [4] Sites Contaminés, Estimation de la mise en danger, Cahier des charges pour l'investigation technique des sites pollués, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Suisse (2000)
- [5] Guide méthodologique pour la mise en place et l'utilisation d'un réseau de forages permettant d'évaluer la qualité de l'eau souterraine au droit ou à proximité d'un site (potentiellement) pollué, BRGM (2002)
- [6] Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués, BRGM (2001)
- [7] Guide sur le comportement des polluants dans le sol et les nappes, BRGM (2001)
- [8] L'échantillonnage du milieu naturel pour l'étude des pollutions (Paul Lecomte)
- [9] La modélisation géostatistique des milieux anthropisés (Chantal de Fouquet; 2006)
- [10] La norme ISO 10381-5 (2005)
- [11] Environmental sampling and analysis : a practical guide (Lawrence H. Keith; 1991)
- [12] Optimisation d'une méthodologie de stratégies d'échantillonnage pour les sites et sols pollués au Grand-duché de Luxembourg, INPL-ENSG, Rapport de stage (Bruno Winkel; 2012)