Décret du 1er mars 2018 relatif à la gestion et à l'assainissement des sols

Code Wallon de Bonnes Pratiques

Version 04

Guide de référence pour L'Etude de Risques

PARTIE B : Evaluation des risques pour la santé humaine

DIRECTION GENERALE OPERATIONNELLE [DGO 3]

DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT

DEPARTEMENT DU SOL ET DES DECHETS - DIRECTION DE LA PROTECTION DES SOLS ET DIRECTION DE L'ASSAINISSEMENT DES SOLS

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ANNEXES **3**

LISTE DES TABLEAUX **3**

LISTE DES FIGURES **3**

PREAMBULE **4**

ABREVIATIONS **5**

CHAPITRE 1. INTRODUCTION **6**

1.1. OBJECTIF DE L'EVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE DANS LE CADRE DU DECRET SOLS 6

1.2. ROLE DE L'EXPERT 7

1.3. LES BASES D'EVALUATION A CONSIDERER DANS UNE ER-SH 7

1.4. METHODOLOGIE GENERALE DE L'EVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE 8

1.4.1 Identification des dangers *8*

1.4.2 Définition des relations dose-réponse *11*

1.4.3 Evaluation de l'exposition *12*

1.4.4 Caractérisation des risques *14*

1.5. MENACE GRAVE DU POINT DE VUE DE LA SANTE HUMAINE ET CRITERES DE DECISION 15

CHAPITRE 2. METHODOLOGIE D'ÉVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTÉ HUMAINE – EN PRATIQUE .. **18**

2.1. OUTILS A UTILISER POUR REALISER LES EVALUATIONS DE RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE EN WALLONIE 18

2.1.1 L'outil informatique ESR.xlsm *18*

2.1.2 Logiciel S-Risk© version wallonne *18*

L'utilisation de l'application 1 par les experts n'est pas préconisée par le présent guide. *20*

2.2. LES BASES D'EVALUATION A CONSIDERER DANS UNE ER-SH, EN PRATIQUE 24

2.3. LES DEUX NIVEAUX DE L'EVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE 24

2.4. EVALUATION SIMPLIFIEE DES RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE (ESR-SH) 27

2.4.1 Objectifs et principes de l'ESR-SH *27*

2.4.2 Champs d'application de l'ESR-SH *27*

2.4.3 Etapes de l'ESR-SH *27*

2.5. EVALUATION DETAILLEE DES RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE (EDR-SH) 32

2.5.1 Objectifs et principes de l'EDR-SH *32*

2.5.2 Champs d'application d'une EDR-SH *32*

2.5.3 Etapes de l'EDR-SH *33*

2.5.4 Interprétation des résultats *42*

2.6. CONCLUSIONS DE L'ETUDE DE RISQUE VOLET SANTE HUMAINE 46

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES **47**

ANNEXES **49**

Liste des annexes

Annexe B1. Liste des valeurs limites (VS_H, VS_{nappe}, $VS_{nappe\ [volatilisation]}$) relatives à la protection de la santé humaine à utiliser au stade de l'ESR-SH pour les polluants normés et leurs principes d'établissement.

Annexe B2. valeurs toxicologiques de référence (VTR) à utiliser en Wallonie pour les polluants normés.

Annexe B3. Définition du sol générique utilisé pour le calcul des valeurs seuil pour la santé humaine (VS_H) et des horizons standards utilisés pour les évaluations détaillées des risques pour la santé humaine (EDR-SH).

Annexe B4. Paramètres du logiciel S-Risk© modifiables et paramètres à conserver par défaut.

Annexe B5. Protocole d'échantillonnage de l'air dans le cadre de l'évaluation des risques liés à l'inhalation (Prélèvements et analyses – directives générales).

Liste des tableaux

Tableau 1. Types de VTR et organismes sources 11

Tableau 2. Adaptations apportées à la version wallonne du logiciel S-Risk© comparé à la version flamande..... 19

Tableau 3. Type d'usages repris dans le décret sols et correspondance avec les scénarios standards proposés par le logiciel S-Risk© 21

Tableau 4. Voies d'exposition par défaut associées à chaque scénario dans le logiciel S-Risk© *(source : Technical Guidelines Document – TGD - de S-Risk© chapitre 9)* 22

Tableau 5. Scénario à considérer, en rapport avec le décret sols, lors d'une EDR-SH avec le logiciel S-Risk© selon la situation considérée et restriction d'utilisation y afférente..... 36

Tableau 6. Incertitudes liées aux évaluations des risques pour la santé humaine (grille d'analyse des incertitudes) 42

Liste des figures

Figure 1. Etapes de la quantification de l'exposition 13

Figure 2. Voies de transfert et voies d'exposition prises en compte dans le logiciel d'évaluation des risques sanitaires S-Risk© 23

Figure 3. Schématisation générale d'une évaluation des risques pour la santé humaine : l'ESR-SH et l'EDR-SH. 26

Figure 4. Schématisation des différentes étapes de l'Evaluation Simplifiée des Risques pour la Santé Humaine (ESR-SH) et processus décisionnel. 28

Figure 5. Etapes générales de l'évaluation détaillée des risques pour la santé humaine et processus décisionnel..... 34

Figure 6. Exemple de profil de sol à encoder dans S-Risk© 37

Préambule

Ce document constitue la partie B de la version 04 du Guide de Référence pour l'Etude de Risques – GRER.

Il résulte de la mise en œuvre, au 1er janvier 2019, du décret du 1er mars 2018 relatif à la gestion et à l'assainissement des sols, dénommé dans ce guide "décret sols" et de ses arrêtés d'exécution :

- « AGW sols » : Arrêté du Gouvernement wallon du relatif à la gestion et à l'assainissement des sols – ;
- « AGW normes » : Arrêté du Gouvernement wallon remplaçant l'annexe 1re du décret du 1er mars 2018 relatif à la gestion et à l'assainissement des sols ;
- « AGW rubriques sols » : Arrêté du Gouvernement wallon modifiant l'arrêté du Gouvernement wallon du 4 juillet 2002 arrêtant la liste des projets soumis à étude d'incidences et des installations et activités classées et le décret du 1er mars 2018 relatif à la gestion et à l'assainissement des sols ;

La présente version tient compte également du retour d'expérience des trois premières versions du guide ainsi que des remarques émises sur le projet de version 04 du GREC, soumise à la consultation des différents acteurs directement concernés du 15 septembre au 15 octobre 2018.

Il convient ici de rappeler que, dès la version 3 du présent guide, le **logiciel S-Risk© *version Wallonne*** développé par le VITO a été choisi comme modèle de référence pour la Wallonie. Cette précédente version du GRER partie B était le fruit d'un travail concerté entre différents collaborateurs scientifiques pluridisciplinaires : l'Institut Scientifique de Service Public (ISSeP), la Société Publique d'Aide à la Qualité de l'Environnement (SPAQuE), l'Université de Liège (ULg) Gembloux Agro-Bio Tech (Axe Echanges Eau-Sol-Plante), l'Université Catholique de Louvain (UCL : ELIE – Earth and Life Institute Environment), la DGO_5, la Direction Générale Opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGARNE), l'Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC), l'Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE) et le Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO)). Il répond à la volonté de l'administration d'augmenter la performance et la soutenabilité des évaluations de risques pour la santé humaine dans le cadre de l'application du décret sols en Wallonie tout en veillant à la simplification des procédures et à l'harmonisation entre les 3 régions.

Le présent guide définit le niveau de qualité auquel doit répondre l'étude de risques-volet santé humaine- pour répondre aux objectifs fixés notamment à l'art 49 du décret sols.

Le lecteur est dès lors invité à prendre connaissance dudit décret et des AGW susvisés préalablement à la lecture de ce guide. Ce guide précise également les spécificités méthodologiques auxquelles les experts, au sens de l'article 2, 21° du décret sols, doivent se conformer pour répondre à l'objectif de gestion des terrains pollués.

Il est à noter que le présent document n'a pas pour vocation de se substituer aux lois et règlements en vigueur et ne peut être utilisé pour les contourner ou les éviter. Il a pour but de fournir une méthodologie apte à répondre aux besoins et aux objectifs dans la majorité des cas rencontrés. Il offre toutefois la possibilité d'adapter la méthodologie pour répondre à des situations spécifiques et non conventionnelles.

Abréviations

Seules les abréviations spécifiques au volet santé humaine se retrouvent ici. Les abréviations génériques sont reprises dans le « Glossaire ».

AGR:	Agricole
ATSDR :	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
AViQ :	Agence pour une Vie de Qualité
BCF:	Bioconcentration Factor
BD :	Base de Données
DJE :	Dose Journalière d'Exposition
EFSA :	European Food Safety Authority
ERU :	Excès de Risque Unitaire
ER-SH :	Etude des Risques pour la Santé Humaine
IARC:	International Agency for Research on Cancer
IND-h :	Industriel lourd (extérieur)
IND-l :	Industriel léger (intérieur)
OEHHA:	Office of Environmental Health Hazard Assessment
PN :	Polluant normé
REC-dayin :	Récréatif intérieur
REC-dayout :	Récréatif extérieur
RES-veg :	Résidentiel avec jardin potager (et jardin d'agrément)
RES :	Résidentiel avec jardin d'agrément (sans potager)
RES-ng :	Résidentiel sans jardin
RIVM:	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
TDI :	Tolerable Daily Intake
TGD :	Technical Guidelines Document
ULg:	Université de Liège
UCL:	Université Catholique de Louvain
U.S. EPA :	US Environmental Protection Agency
VTR_{inh} :	Valeur Toxicologique de Référence pour la voie d'exposition par inhalation
VTR_{or} :	Valeur Toxicologique de Référence pour la voie d'exposition orale
WHO :	World Health Organization

CHAPITRE 1. INTRODUCTION

Le présent guide décrit les recommandations pour réaliser une évaluation des risques pour la « santé humaine » (ER-SH). Celle-ci faisant partie intégrante de l'étude de caractérisation, elle doit répondre aux prescriptions fixées aux articles 47 à 49 du décret du 1er mars 2018 relatif à la gestion des sols, dénommé dans ce guide «décret sols ». Ce document peut également être utilisé pour définir les objectifs d'assainissement (OA) minimum permettant de supprimer la menace grave (art 2, 7° du décret sols), pour réaliser une analyse des risques résiduels (Art. 71 du décret sols) et, dans le cas de pollution nouvelle, pour déterminer l'urgence de l'assainissement (Art. 49 du décret sols).

Ce guide fournit également un cadre de référence permettant à l'autorité administrative de pouvoir juger de la conformité de l'étude et de la représentativité des résultats.

Les définitions des concepts nécessaires à la bonne compréhension de ce guide sont réunies au sein d'un glossaire général constituant un volume individualisé du Code Wallon de Bonnes Pratiques.

Le présent guide s'organise comme suit :

Le **chapitre 1**, chapitre **théorique**, présente les objectifs de l'évaluation des risques pour la santé humaine (ER-SH) dans le contexte spécifique du décret sols, les 4 étapes théoriques de la méthodologie de l'ER-SH, le rôle de l'expert ainsi que les critères qui permettent de prendre les décisions.

Le **chapitre 2** détaille la méthodologie en « **pratique** ». Deux niveaux d'approche séquentiels sont proposés pour déterminer les risques pour la santé humaine. Dans un premier temps, une **évaluation simplifiée des risques** (ESR-SH), basée sur une comparaison des concentrations en polluants dans le sol et les eaux souterraines à des valeurs limites définies pour la santé humaine, sera réalisée. En cas d'hypothèse de menace grave, une **évaluation détaillée des risques** (EDR-SH) sera conduite, au moyen du **logiciel S-Risk©** ***version Wallonne*** ou alors la menace grave est retenue pour l'interprétation en terme de conclusions opérationelles et/ou additionnelles. L'évaluation détaillée des risques est une évaluation plus approfondie basée sur des données plus spécifiques au cas d'étude.

1.1. Objectif de l'évaluation des risques pour la santé humaine dans le cadre du décret sols

Le décret sols instaure une procédure d'évaluation des terrains potentiellement pollués dont les premières étapes sont l'étude d'orientation (EO), l'étude de caractérisation (EC) et le cas échéant l'étude de risques (ER). L'évaluation des risques pour la santé humaine (ER-SH) constitue une des trois composantes de l'étude de risques au niveau de l'étude de caractérisation[1] (article 49 du décret sols) et/ou de l'analyse des risques résiduels (article 71 du décret sols). Elle détermine le niveau de risque pour la santé humaine pouvant résulter d'une exposition à une pollution du sol et/ou des eaux souterraines. La comparaison des niveaux de risques à des critères permettent d'identifier une

[1] Les deux autres composantes sont les évaluations des risques pour les eaux souterraines et pour les écosystèmes.

éventuelle menace grave et permettent de déterminer la nécessité et l'urgence de l'assainissement. Elle peut également permettre de définir des objectifs minimum d'assainissement pour la santé humaine (afin de supprimer la menace grave résultant d'une exposition) et les éventuelles mesures de sécurité et/ou de suivi à recommander pour protéger la santé humaine.

L'évaluation des risques pour la santé humaine doit être considérée comme un outil d'aide à la décision dans le processus de gestion des terrains pollués. Elle a pour fonction d'estimer les risques d'effets indésirables que les polluants mesurés dans les milieux environnementaux peuvent produire sur la santé humaine.

La méthodologie de l'ER-SH décrite dans les sections suivantes permet d'estimer les risques pour la santé humaine liés à la présence de polluants dans le sol ou l'eau souterraine en utilisant :

- les meilleures données disponibles concernant la configuration du site, la géologie, le sol, les polluants, les sources, les cibles ;
- des équations permettant d'estimer l'exposition suite au transfert des polluants de la source vers le récepteur ;
- des données toxicologiques des polluants.

Les principales mesures utilisées comme données d'entrée pour la réalisation de l'évaluation des risques pour la santé humaine sont les mesures des concentrations en polluants dans le sol et l'eau souterraine, mais elles peuvent également inclure des concentrations en polluants mesurées dans d'autres milieux tels que les gaz du sol, l'air ambiant,….

1.2. Rôle de l'expert

La méthodologie proposée n'a pas la vocation d'enfermer l'expert dans un carcan rigide ou un modèle figé et inflexible mais de lui fournir les lignes directrices pour établir un rapport de qualité. Sur bon nombre d'aspects, elle laisse une place importante au jugement professionnel. Il s'ensuit que le contenu des évaluations des risques est toujours spécifique au site et fortement lié au degré de complexité des situations de pollution. En conséquence, les experts peuvent s'écarter des lignes directrices définies pour autant qu'une justification, étayée par une argumentation de qualité, soit fournie et que la stratégie alternative permette d'obtenir un niveau équivalent dans la qualité de l'information.

1.3. Les bases d'évaluation à considérer dans une ER-SH

Comme introduit dans la partie A (voir chapitre 3.3.2 « Les conditions d'occupation du terrain et les bases d'évaluation »), il convient de déterminer, préalablement à la phase de calcul du risque, les conditions d'occupation du terrain et les bases d'évaluation pour la situation rencontrée.

L'étude de risques - volet santé humaine - devra être réalisée pour chacune des bases d'évaluations retenues.

Dans un certain nombre de cas, une seule base d'évaluation pourra être considérée.

Lorsque plusieurs bases d'évaluation sont requises, le scénario le plus contraignant avec le minimum de paramétrisation devra être envisagé en priorité. Ceci permettra en effet s'assurer que les mesures de sécurité qui seront consignées dans le CCS sont bien requises et suffisantes pour écarter la menace grave.

Dans d'autres cas, plusieurs études de risques pour la santé humaine devront être réalisées, en particulier lorsque le type d'usage du sol varie selon la base d'évaluation (par exemple, une station service en activité – type d'usage effectif V - en zone d'habitat – type d'usage planologique III).

1.4. Méthodologie générale de l'évaluation des risques pour la santé humaine

La démarche d'évaluation des risques pour la santé humaine comprend 4 étapes :

1. **Identification des dangers** : Etape qui dresse un état de la situation. Les sources de pollution susceptibles de porter atteinte à la santé humaine sont identifiées et décrites. Le transfert potentiel des polluants vers la population est documenté, les voies d'exposition et les effets sanitaires associés aux polluants sont identifiés. Une description du terrain et des populations susceptibles d'être exposées, *a priori*, aux pollutions font partie de cette première étape. La mise en œuvre du GREO et du GREC doivent permettre d'obtenir ces informations.
2. **Définition des relations dose-réponse** : La relation dose-réponse établit un lien entre la dose d'une substance à laquelle une personne pourrait être exposée et la probabilité d'apparition d'un effet sanitaire et sa gravité (la réponse). La dose-réponse est spécifique au type de substance (substance à effets « à seuil » ou à effets « sans seuil »), à la voie d'exposition concernée (orale, cutanée, respiratoire) et à une durée d'exposition définie (aigüe, subchronique, chronique). Elle s'exprime sous la forme d'une valeur toxicologique de référence (VTR).
3. **Evaluation de l'exposition** : l'estimation de l'exposition consiste à calculer les concentrations en polluants auxquelles les populations sont exposées, compte tenu de chaque voie d'exposition. Deux aspects déterminent l'exposition : d'une part, les concentrations présentes dans les différents vecteurs d'exposition (eau, légumes, air,…) suite au transfert des polluants à partir du sol et, d'autre part, les conditions d'exposition, en termes de durée et de fréquence. Dans cette étape, des scénarios d'exposition seront proposés. Cette étape peut être réalisée par des mesures dans les milieux ou par un modèle d'exposition multimédia.
4. **Caractérisation des risques** : Lors de cette étape, les doses auxquelles les populations pourraient être exposées (étape 3) sont mises en relation avec les données de l'évaluation de la toxicité des polluants (étape 2). Cette analyse permet une estimation qualitative et quantitative des risques, au niveau individuel. L'évaluateur distingue les risques qui découlent de l'exposition aux polluants à effets « à seuil » de ceux engendrés par les polluants à effets « sans seuil ».

Pour une bonne compréhension de la démarche, les 4 étapes théoriques de l'évaluation des risques sont détaillées ci-dessous (Delmelle, 2004).

1.4.1 Identification des dangers

L'étape d'identification des dangers aborde 4 points : (i) caractérisation de la source de dangers ; (ii) sélection des substances d'intérêt et reconnaissance de leur potentiel dangereux ; (iii) identification des populations exposées à ces substances ; et (iv) établissement d'un modèle conceptuel de site.

(i) Caractérisation de la source des dangers

Le terrain étudié et son environnement doivent être caractérisés, tant d'un point de vue physique que chimique, afin de définir au mieux les sources de dangers. Les informations à collecter sont diverses et visent notamment à obtenir :

- une description du terrain étudié (superficie concernée, aménagements particuliers, …) ;
- un inventaire qualitatif et quantitatif des substances chimiques présentes ;
- une description de l'environnement du terrain (topographie, hydrogéologie, occupation du territoire, présence de captages, etc.) ;
- un relevé des aménagements dans la zone d'influence du terrain ;
- un premier aperçu des dangers potentiels posés.

L'EO et les premières phases de l'EC (étude préparatoire et caractérisation des pollutions) constituent les sources principales de données initiales pour l'ER-SH. En cas de manque de données sur les zones suspectes, les polluants, les cibles potentielles, …, l'expert devra réaliser un examen complémentaire du terrain.

(ii) Sélection des substances à retenir

Le terrain qui fait l'objet d'une ER-SH est généralement pollué par une variété de substances potentiellement dangereuses pour la santé humaine. Les substances analysées, quantifiées et identifiées comme pertinentes au stade de l'EC seront retenues pour une ER-SH. Plus précisément, pour sélectionner les substances à retenir lors d'une ESR-SH et d'une EDR-SH, l'expert se réfèrera aux champs d'application repris aux sections 2.4.2 et 2.5.2, respectivement.

(iii) Identification des populations potentiellement exposées

Deux types de populations sont susceptibles d'être exposées aux polluants : (i) les populations localisées au droit du terrain : elles peuvent être en contact avec les polluants (ingestion, contact cutané, et/ou inhalation) et (ii) les populations présentes sur le site dans la zone d'impact potentiel lié à la pollution du terrain : elles peuvent également être en contact avec les polluants via des matrices polluées au sein du site (ex. ingestion d'eau pompée dans une nappe polluée à la suite du transfert des substances).

Les populations ainsi identifiées seront localisées au niveau du MCS. Les populations sensibles (enfants, personnes âgées, malades, femmes enceintes,…) devront également être localisées.

(iv) Etablissement du modèle conceptuel de site (MCS)

Le MCS est le cadre de référence qui synthétise tous les éléments essentiels et nécessaires pour l'évaluation des risques. Il a pour objet de schématiser et de décrire <u>spécifiquement pour le site étudié</u> les relations sources > voies de transfert > récepteur (cibles).

L'identification des sources et des cibles sont repris aux points précédents.

Le terme de transfert décrit les phénomènes de migration des substances de la source vers les populations cibles. Les substances peuvent transiter par les différents compartiments environnementaux. La chaîne de transfert d'une substance depuis la source jusqu'à l'homme peut être décomposée en trois phases :

- mobilisation des substances présentes dans le sol (ou les eaux souterraines) vers les autres compartiments environnementaux ;

- migration d'un compartiment à un autre ;
- transfert à l'intérieur d'un compartiment jusqu'à la cible finale (via ingestion, inhalation, ou contact cutané).

Le Modèle conceptuel du site (MCS) se construit dès l'EO, s'étaye dans le cadre général de l'étude de caractérisation (EC) et sera complété à l'issue de l'évaluation finale (EF). Il constitue la trame indispensable sur laquelle l'évaluation quantitative de l'exposition s'appuiera.

Au stade de l'étude de caractérisation, il est donc important que l'expert vérifie si le MCS est suffisamment complet et précis. Plus le modèle conceptuel du site sera bien documenté et précis au terme de l'EO et au début de l'EC, moins l'expert devra rechercher des données complémentaires au stade de l'ER-SH.

Un MCS doit être réalisé pour chacune des différentes bases d'évaluation considérées. Il permet de repérer les lacunes dans les données et également de mettre en évidence si des procédures particulières doivent être considérées (par exemple, une évaluation des risques liés à l'amiante, une évaluation des risques pour la baignade ou la consommation de poissons d'un lac ou d'un étang situé sur le terrain ou contaminé par la pollution présente sur le terrain).

Un texte ou un tableau ainsi qu'une représentation schématique (dessin ou figure) synthétisant les données sous-jacentes et/ou manquantes seront nécessaires pour bien présenter le MCS.

Les paramètres et données spécifiques au terrain que l'expert devrait pouvoir inclure dans le MCS sont :

- **Paramètres qui conditionnent le transfert des polluants dans l'environnement et dans les vecteurs d'exposition des populations:**
  - le profil de sol;
  - la profondeur à laquelle se situent les pollutions ;
  - la profondeur de l'eau souterraine, la conductivité hydraulique et l'épaisseur de la nappe ;
  - la profondeur et les caractéristiques des canalisations d'eau de distribution ;
  - les paramètres des bâtiments (cave, vide-ventilé, volume de l'espace intérieur, perméabilité, ventilation, état du revêtement de sol, épaisseur,…) ;
  - la présence de produit en phase libre ;
  - …
- **Paramètres qui conditionnent le calcul de l'exposition**
  - les scénarios et les voies d'exposition <u>spécifiquement</u> rencontrés sur le terrain ;
  - la fraction de denrée locale consommée ;
  - la quantité de sol ingéré ;
  - l'utilisation d'un puits (préciser l'usage de l'eau) ;
  - …
- **Données environnementales ambiantes qui prévalent sur le site** : recherche des données disponibles concernant l'air ambiant (cf. réseau air), les eaux de surface (cf. réseau de surveillance de la qualité des eaux de surface), l'eau potable, les légumes et autres denrées.

- Au niveau des zones suspectes, **les concentrations représentatives définies sur base de mesures dans les vecteurs d'exposition** (air intérieur et extérieur, légumes, sol de surface, eau de distribution,…) permettront de caractériser les risques sur base de données plus proches de la réalité. Elles pourront, en outre, être comparées aux données modélisées.

1.4.2 Définition des relations dose-réponse

La définition des relations dose-réponse fait appel aux propriétés toxicologiques des substances. La relation dose/réponse est un concept qui fait un lien entre d'une part, une dose et d'autre part, l'incidence et la gravité de(s) effet(s) sur l'organisme. Cette relation est quantitative et généralement basée sur des données d'observation issues d'études sur l'homme et l'animal. Lorsqu'il s'agit de caractériser la toxicité d'une substance, deux types d'effets peuvent être distingués : **effet « à seuil »** et **effet « sans seuil »**[2] :

- Un effet « à seuil » se réfère à un effet qui survient au-delà d'une dose de substance administrée, pour une durée d'exposition déterminée à une substance isolée. L'intensité de l'effet croît avec l'augmentation de la dose administrée. Ce sont principalement les effets liés aux substances non cancérogènes. Certains agents cancérogènes non génotoxiques (qui n'agissent pas sur le génome) sont aussi classés dans cette famille.
- Un effet « sans seuil » se réfère à un effet qui apparaît quelle que soit la dose de substance reçue. La probabilité de survenue croît avec la dose et la durée d'exposition, mais l'intensité de l'effet n'en dépend pas. Cette famille concerne principalement les effets cancérogènes, mutagènes ou tératogènes.

La relation dose/réponse est spécifique au type de substance, ainsi qu'à la voie d'exposition concernée (orale, cutanée, respiratoire). Elle est exprimée à l'aide d'une valeur toxicologique de référence (VTR). Les types de VTR classiquement utilisées dans les ER-SH ainsi que les organismes sources sont repris au Tableau 1.

Pour les effets « à seuil », les VTR sont communément exprimées en [mg/($kg_{p.c.}$.j)] pour la voie orale et en [mg/m^3] pour la voie respiratoire (inhalation).

Pour les effets « sans seuil », les VTR sont communément exprimées en [(mg/($kg_{p.c.}$.j))$^{-1}$] pour la voie orale et en [(mg/m^3)$^{-1}$] pour la voie respiratoire (inhalation).

Tableau 1. Types de VTR et organismes sources

Effet	Sources	Voie orale (o) ou cutanée (c)	Voie respiratoire
effet « à seuil »	U.S. EPA	RfD : Reference Dose	RfC : Reference Concentration
	WHO	DJT : Dose Journalière Tolérable	CAA : Concentration Admissible dans l'Air
	ATSDR	MRL : Minimal Risk Level	MRL : Minimal Risk Level
	OEHHA	REL : Reference Exposure Level	REL : Reference Exposure Level

[2] L'existence d'un seuil de toxicité fait aujourd'hui l'objet de débats. Certains pays européens ont ainsi défini des seuils d'effet pour un certain nombre de substances, pour lesquelles l'U.S. EPA considère les effets comme « sans seuil ».

	RIVM Santé Canada EFSA	MPR: Maximum Permissible Risk DJT: Dose Journalière Tolérable BMDL : Benchmark Dose Level	TCA : Tolerable Concentration in Air CT : Concentration Tolérable
effet « sans seuil »	U.S. EPA IARC-WHO OEHHA Santé Canada	ERU_{or} ou ERU_c : Excès de Risque Unitaire par voie d'exposition orale ou contact cutané ou Oral Slope factor Coefficient de cancérogénicité (CC) par voie orale	ERU_i : Excès de Risque Unitaire par inhalation ou Inhalation unit risk factor Risque Unitaire (RU) par inhalation

L'Excès de Risque Unitaire (ERU) se traduit par la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu a de développer l'effet s'il est exposé à une unité de dose ou de concentration de la substance considérée pendant sa vie entière.

Exemple : Si l'ERU d'un polluant A, pour un cancer donné, est de 5.10^{-6} $(\mu g/m^3)^{-1}$, cela veut dire que le risque de développer ce cancer du fait de A est de 5.10^{-6} pour une personne exposée continuellement et durant toute sa vie à une concentration de A de $1\mu g/m^3$. Autrement dit, sur une population de 1 million (10^6) de personnes exposées continuellement et durant toute leur vie à $1\mu g/m^3$ de A, en moyenne 5 cas de ce cancer en relation avec cette exposition seront observés.

Etant donné l'absence de VTR pour la voie d'exposition par contact cutané, les VTR définies pour la voie orale seront utilisées par défaut (à l'exception de quelques métaux pour lesquels un facteur d'absorption est appliqué à la VTR_{orale}).

Les VTR sélectionnées pour les **polluants normés** sont fournies dans les « pollutant data sheets » publiées sur le site *https://www.s-risk.be/documents*. Afin de permettre la consultation rapide des données de base, à l'origine des valeurs de référence, l'organisme émetteur de la valeur de référence sélectionnée est mentionné (Annexe B2). Toutes les valeurs toxicologiques de référence ont été sélectionnées pour un contexte d'évaluation des risques chroniques.

Pour les **polluants non normés**, les VTR les plus pertinentes à retenir auront été proposées au stade de l'EO sur avis de l'ISSeP et de la SPAQuE (Art. 9 du décret sols) et sont reprises dans la base de données (BD) PNN mise à disposition par l'administration.

1.4.3 Evaluation de l'exposition

L'évaluation de l'exposition consiste à déterminer les voies d'exposition, la fréquence et la durée d'exposition des cibles, et à quantifier l'exposition des populations sur la base du modèle conceptuel du site (Figure 1).

Pour ce faire, les concentrations en polluants dans les différents compartiments environnementaux devront être déterminées soit via la modélisation soit en ayant recourt à la métrologie[3]. Dans un premier temps, l'exposition est souvent déterminée par modélisation. Celle-ci permet de calculer les concentrations en polluants dans les milieux de contact (eau, air, denrées…) au départ des concentrations mesurées dans le sol (et les eaux souterraines) en utilisant des équations de transfert.

L'estimation quantitative de la concentration en polluants dans les milieux de contact sera suivie du calcul des doses auxquelles les personnes pourraient être exposées.

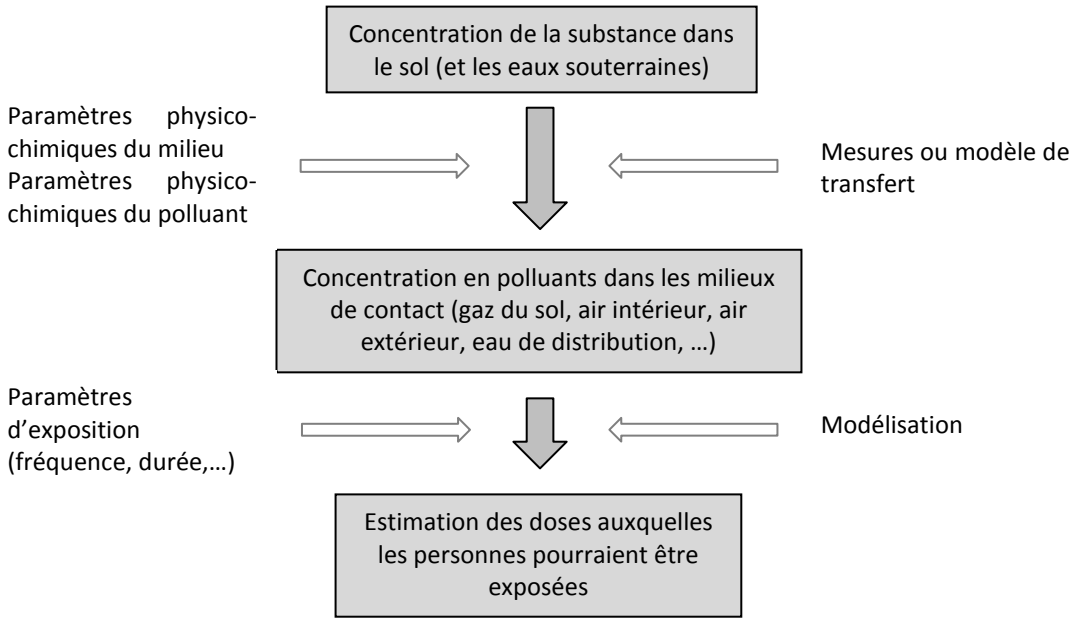


Figure 1. Etapes de la quantification de l'exposition

Les paramètres physico-chimiques du milieu (porosité du sol, …) ainsi que les paramètres physico-chimiques du polluant (solubilité dans l'eau, constante de Henry,…) sont autant de facteurs influençant la migration des polluants du sol vers les milieux de contact. De plus, les phénomènes physiques, chimiques et biologiques qui interviennent dans les mécanismes de transfert des substances doivent également être caractérisés (BCF, …), puisque ceux-ci peuvent modifier la nature et la concentration de la substance étudiée.

Une fois la concentration en polluants dans les milieux de contact déterminée, l'expert pourra calculer les doses auxquelles les personnes pourraient être exposées via la modélisation. Celles-ci seront estimées pour les différentes cibles (enfants – adultes) et pour chaque voie d'exposition en tenant compte de la pollution dans les différents milieux et des paramètres d'exposition (fréquence, durée…).

[3] Métrologie et modélisation constituent deux outils complémentaires, présentant chacun des avantages et des inconvénients. La mesure directe aux points d'exposition permet d'obtenir des données réelles qui intègrent la complexité de tous les phénomènes physiques, chimiques et biologiques. La mesure peut s'accompagner de prélèvements d'échantillons dans les différents compartiments environnementaux concernés (eau, air, sol). Cette approche sera souvent privilégiée au niveau de l'évaluation détaillée des risques. Les désavantages de la métrologie sont liés aux limites de détection, à l'extraction, à la représentativité de l'échantillonnage et à l'incertitude. En outre, le caractère ponctuel des mesures ne permet pas de connaître l'évolution temporelle des niveaux d'exposition. Enfin, la mesure directe fournit une indication globale qui intègre la pollution historique du site et les apports éventuels d'autres sources de pollution.

1.4.4 Caractérisation des risques

La caractérisation du risque constitue la dernière phase d'une ER-SH. Elle représente une estimation de l'incidence et de la gravité des effets indésirables susceptibles de se produire dans une population humaine en raison de l'exposition, réelle ou prévisible, à chaque substance émise par le terrain étudié. Dans cette étape, les informations obtenues lors de l'évaluation de l'exposition des populations (étape 3) et de l'évaluation de la toxicité des substances (étape 2) sont synthétisées et intégrées sous la forme d'une expression quantitative du risque. L'évaluateur distinguera les risques engendrés par les substances à effets « à seuil », de ceux liés aux substances à effets « sans seuil ».

La validité d'une ER-SH est liée à la validité de toutes les informations introduites à chaque étape de l'analyse. Les incertitudes relatives à ces informations doivent être clairement explicitées. L'évaluation des incertitudes vise à apprécier la validité des valeurs attribuées aux différents paramètres nécessaires à la quantification de l'exposition, ainsi qu'à estimer les domaines de variation des paramètres qui affectent le plus les résultats. L'analyse de l'incertitude fait partie intégrante de la caractérisation des risques sanitaires.

Estimation du risque pour les substances à « <u>effets à seuil »</u>

Pour les effets « à seuil », l'expression déterministe de la survenue d'un effet toxique dépend du dépassement d'une valeur. La caractérisation du risque s'exprime par un indice de risque (IR) qui est défini comme étant la dose d'exposition totale (en distinguant, d'une part, la voie d'exposition par inhalation – concentration inhalée ou C_i - et, d'autre part, la voie d'exposition par ingestion et par contact cutané – Dose Journalière d'Exposition ou DJE) rapportée à la valeur toxicologique de référence (VTR) correspondante, soit

- pour la voie orale (y compris contact cutané) :

$$IR_{or/c} = \frac{DJE}{VTR_{or/c}} \qquad [eq.1]$$

- pour la voie respiratoire (inhalation) :

$$IR_{inh} = \frac{C_i}{VTR_{inh}} \qquad [eq.2]$$

Un indice de risque est ainsi calculé pour chaque substance et chaque voie d'exposition.

Estimation du risque pour les substances à <u>effets « sans seuil »</u>

L'expression du risque est donnée par un excès de risque individuel (ERI). Pour les effets « sans seuil », il est supposé qu'à toute dose non nulle en une substance toxique correspond une probabilité non nulle (même si elle est infinitésimale) de développer un effet. L'Excès de Risque Individuel (ERI) correspond à la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu développe, pendant sa vie, l'effet associé à la substance du fait de l'exposition considérée. L'ERI est calculé pour chaque substance et chaque voie d'exposition à partir de la DJE (ou C_i) et de l'ERU (ou slope factor) correspondant.

- pour la voie orale (y compris contact cutané) :

$$ERI_{or/c} = DJE * ERU_{or/c} \qquad [eq.3]$$

- pour la voie respiratoire (inhalation) :

$$ERI_{inh} = C_i * ERU_{inh} \qquad [eq.4]$$

Additivité des risques pour les effets systémiques associés à un polluant

Les substances chimiques peuvent avoir un effet local ou systémique :

- Un effet est local, s'il se produit au point de contact entre l'organisme et la substance (par exemple, au niveau du nez ou des poumons, pour la voie d'exposition par inhalation).
- Un effet systémique se produit sur un ou plusieurs organes distants du point de contact (effet sur le foie, le rein,…) après diffusion de la substance dans le corps, quelle que soit la voie d'exposition.

Si l' (les) effet(s) associé(s) à une voie d'exposition est (sont) local (aux), alors les risques sont calculés par voie d'exposition. En revanche, pour les effets systémiques, le(s) risque(s) d'effet(s) via les différentes voies d'exposition sont additionnés afin d'obtenir un indice de risque (ou ERI) global quels que soient les organes cibles ou les modes d'action.

Les risques sont caractérisés selon une **approche mono-polluant**. Les interactions entre polluants ne sont donc, actuellement, pas prises en compte.

Évaluation des incertitudes

L'étape de caractérisation du risque sera complétée en spécifiant les hypothèses et les facteurs d'incertitude associés à l'ER-SH. Cette démarche critique de validation prend en compte chacune des étapes de l'ER-SH (c'est-à-dire : caractérisation de la source, transfert des substances, cibles et exposition, toxicité des substances). Le MCS constitue un bon support pour identifier les paramètres susceptibles d'affecter significativement la caractérisation du risque.

Le minimum requis est d'expliquer et de justifier les choix des paramètres intervenant dans la détermination du risque et d'apprécier si les choix conduisent à une surestimation ou une sous-estimation des risques (analyse qualitative).

1.5. Menace grave du point de vue de la santé humaine et critères de décision

Le concept de « **menace grave** » a été présenté dans la partie A du guide.

Dans le cadre de l'application des méthodes de l'Evaluation Simplifiée des Risques pour la santé humaine (ESR-SH, présentée au point 2.4), il sera considéré que les critères d'**hypothèse de menace grave** sont rencontrés lorsque les concentrations représentatives en polluants dépassent les valeurs limites (VS_H, VS_{nappe} et $VS_{nappe[volatilisation]}$) reprises en **Annexe B1**.

Dans le cadre d'une Evaluation Détaillée des Risques pour la santé humaine (EDR-SH, présentée au point 2.5), les critères de décision qui permettent de conclure ou non sur la présence d'une **menace grave** pour la santé humaine sont repris ci-dessous.

Critère 1	**Pour les polluants à effets « à seuil » :** **Indice de risque (IR) ≤ 1**

	ou **Pour les polluants à effets « sans seuil » :** **Excès de Risque Individuel (ERI) ≤ 10^{-5}**
Critère 2	Concentration dans l'environnement (mesurée ou modélisée) ≤ norme légale ?

Si l'ensemble de ces critères sont respectés, l'expert conclura à l'**absence de menace grave**. Si le critère 2 n'est pas rencontré et que le critère 1 permet de conclure à l'absence de menace grave, l'expert pourra conclure à l'absence de menace grave pour autant qu'il argumente le non respect du critère 2 (ex : présence d'une autre source de pollution dans l'air ambiant).

Ces critères doivent être appliqués par polluant. Dans le cas où un polluant présente des effets « à seuil » et « sans seuil », l'expert conclura à l'absence de menace grave uniquement si IR ≤ 1 **ET** ERI ≤ 10^{-5}.

Signification des critères

Indice de risque (IR) ≤ 1 ?

Pour les polluants à effets « à seuil », les doses auxquelles les personnes pourraient être exposées doivent être ≤ à une VTR de type TDI (tolerable daily intake), représentant la dose en-dessous de laquelle il n'y aura pas d'effet néfaste.

Excès de Risque Individuel (ERI) ≤ 10^{-5} ?

Pour les polluants à effets « sans seuil », les doses auxquelles les personnes pourraient être exposées doivent être ≤ à la dose correspondant à un risque de cancer supplémentaire pour 100.000 personnes exposées durant la vie entière.

Remarque :

Les effets additifs, synergiques ou antagonistes des polluants étant peu documentés, ils ne sont actuellement pas pris en compte. Néanmoins, l'expert peut proposer une prise en compte des interactions entre polluants pour autant qu'il le justifie et le documente. Dans ce cas, les résultats obtenus par polluant devront toujours également apparaître dans le rapport.

Critère 2 : *Concentration dans l'environnement ≤ norme légale ?*

Les concentrations calculées ou mesurées dans l'environnement doivent être comparées aux normes en vigueur. Les normes légales[4] doivent être respectées dans l'environnement.

Remarque :

[4] Les niveaux à respecter dans l'environnement sont repris, par polluant, dans les « substances data sheets »

Actuellement, ce critère doit être respecté

- pour l'air ambiant : les directives 2008/50/CE et 2004/107/CE ainsi que l'AGW du 15/07/2010 reprennent les niveaux à respecter (valeur limite et valeur cible) dans l'air ambiant uniquement pour le benzène, le plomb, l'arsenic, le cadmium, le nickel et le benzo(a)pyrène.
- pour les eaux destinées à la consommation humaine : les valeurs paramétriques applicables (et paramètres indicateurs) sont reprises dans le Code de l'Eau[5] qui est une transposition en droit wallon de la directive européenne 98/83/CE.

[5] Avec prise en compte de l'AGW du 25/02/2016 modifiant le Livre II du Code de l'Environnement, contenant le Code de l'Eau.

CHAPITRE 2. METHODOLOGIE D'ÉVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTÉ HUMAINE – EN PRATIQUE

2.1. Outils à utiliser pour réaliser les Evaluations de Risques pour la santé humaine en Wallonie

2.1.1 L'outil informatique ESR.xlsm

Cet outil est mis à disposition des bureaux d'études via le lien https://dps.environnement.wallonie.be/home/sols/sols-pollues/code-wallon-de-bonnes-pratiques--cwbp-/etude-de-risque.html.

Il permet de comparer des concentrations en polluants, introduites par l'utilisateur, aux valeurs limites. Il est utilisé dans le cadre des **évaluations simplifiées des risques** (ESR) pour la santé humaine mais également pour les eaux souterraines (cf. GRER partie C) et les écosystèmes (cf. GRER partie D).

2.1.2 Logiciel S-Risk© version wallonne

Le logiciel d'évaluation des risques préconisé en Wallonie est le **logiciel S-Risk© version wallonne**.

Le logiciel S-Risk© a été développé par le VITO pour remplacer le logiciel Vlier-Humaan©. En Wallonie, c'est la version wallonne qui devra être utilisée. Celle-ci comprend une série d'adaptations pour une application en Wallonie. Ces adaptations sont présentées au Tableau 2.

Tableau 2. Adaptations apportées à la version wallonne du logiciel S-Risk© comparé à la version flamande

Paramètres	S-Risk© - Version wallonne	S-Risk© - Version flamande
Sols / horizons	1 sol générique pour le calcul des VS_H 8 horizons standards : - *Limon ;* - *Argile ;* - *Limon sableux ;* - *Limon sableux léger ;* - *Argile lourde ;* - *Sable limoneux ;* - *Sable ;* - ***Limon caillouteux*** 1 remblai standard ➔ Adaptation de toutes les propriétés physico-chimiques des horizons sur base de données wallonnes	1 sol générique pour le calcul des VS_H 7 horizons standards - *Limon ;* - *Argile ;* - *Limon sableux ;* - *Limon sableux léger ;* - *Argile lourde ;* - *Sable limoneux ;* - *Sable* Propriétés physico-chimiques des horizons définies sur base de données flamandes
Scénarios standards	Suppression du scénario récréatif « vacances » (REC-stay). Ajout du scénario récréatif intérieur (REC-dayin) dans l'application 1 → Application 1 : 6 scénarios standards → Application 2 et 3 : 8 scénarios standards	Application 1 : 6 scénarios standards (AGR, RES-vg, REC-dayout, REC-stay, IND-l et IND-h) Application 2 et 3 : 9 scénarios standards
Liste des polluants	Ajout de polluants spécifiques: - *Phénols ;* - *TPH aliphatique (EC > 21-35) ;* - *TPH aromatique (EC > 6-7) ;* - *TPH aromatique (EC > 7-8)*	/
Polluants - VTR	Actualisation des VTR[6] et harmonisation en Wallonie (**Annexe B2**).	Non révisées

[6] Il est à souligner que des recherches dans le domaine toxicologique se poursuivent et que la sélection des VTR doit donc périodiquement être mise à jour dans le cadre d'une veille scientifique en raison de la parution de nouvelles VTR.

Paramètres	S-Risk© - Version wallonne	S-Risk© - Version flamande
Polluants – teneurs ambiantes	Teneurs ambiantes dans l'air intérieur/extérieur, l'eau de boisson et les denrées mises à « 0 »	Teneurs ambiantes dans l'air intérieur/extérieur, l'eau de boisson et les denrées définies sur base de données flamandes et autres références bibliographiques (1998 à 2006)
Polluants – valeurs normatives (« concentrations limites »)	Valeurs légales utilisées pour - Air ambiant : directives 2008/50/CE et 2004/107/CE - Eau de boisson : Code de l'eau et AGW 25/02/2016	Concentrations limites utilisées pour l'eau de boisson, l'air extérieur (= air intérieur), les aliments quand données disponibles. Données utilisées issues de normes légales ou valeurs guide de l'OMS ou calculées à partir de VTR.

Ce logiciel propose trois applications.

- **Application 1** : Calcul des Valeurs Seuil pour la Santé Humaine (VS_H)

  Cette application permet de calculer, sur base du sol générique wallon pour un scénario standard défini, la concentration dans le sol en un polluant correspondant à un niveau de risque fixé (IR=1 ou ERI=10^{-5}) pour lequel il n'y a pas de menace grave, soit une VS_H. Dans cette application, les paramètres-, voies- et durées d'exposition ainsi que le sol générique ne peuvent être modifiés et correspondent donc aux données par défaut proposées par le logiciel. Cette application est utilisée par l'administration (en collaboration avec l'ISSeP et la SPAQuE selon l'Art. 9 du décret sols) pour calculer les VS_H pour chacun des 5 usages du décret sols pour les polluants normés (**Annexe B1**) et pour les polluants non normés, sur demande de l'expert préalablement à la réalisation de l'EO.

  L'utilisation de l'application 1 par les experts n'est pas préconisée par le présent guide.

- **Application 2** : Réalisation d'une EDR-SH

  Cette application permet, sur base d'une concentration mesurée en un polluant dans le sol (et/ou l'eau souterraine) de calculer la concentration théorique de ce polluant dans d'autres milieux (ex : air ambiant) à l'aide d'équations de transferts entre les différents compartiments environnementaux (sol, eau, air, aliments) et ensuite d'estimer une quantité de polluant inhalée, ingérée ou absorbée par une personne. Les risques pour la santé humaine liés à ce polluant seront ensuite estimés. L'expert peut soit se baser sur les scénarios standards soit, dans des cas très particuliers, encoder des données spécifiques au site pour réaliser son évaluation détaillée des risques. Dans cette application, l'expert a la possibilité de dresser un profil de sol.

- **Application 3** : Définition des objectifs minimum d'assainissement

  Cette application permet, pour un indice de risque de 1 ou un ERI de 10^{-5} de définir une concentration dans le sol. Contrairement à l'application 1, l'expert a la possibilité d'introduire des données plus spécifiques au cas d'étude pour obtenir un objectif d'assainissement pour le terrain. Cette concentration en polluant ainsi obtenue correspond à l'**objectif minimum d'assainissement** à atteindre permettant de supprimer la menace grave dans le cas d'une pollution historique (Art. 57 du décret sols). L'expert a la possibilité de dresser un profil de

sol et de préciser la couche pour laquelle l'objectif d'assainissement doit être calculé. De même, un objectif d'assainissement peut être calculé pour l'eau souterraine.

Le logiciel S-Risk© propose plusieurs scénarios d'exposition standards. Le Tableau 3 reprend pour chacun des 5 usages du décret sols (naturel, agricole, résidentiel, récréatif/commercial et industriel), les scénarios d'exposition à utiliser avec le logiciel S-Risk©.

Tableau 3. Type d'usages repris dans le décret sols et correspondance avec les scénarios standards proposés par le logiciel S-Risk©

Type d'usages décret sols	Scénarios standards S-Risk© version wallonne
Type I- Naturel	**Récréatif sport extérieur** (REC-dayout)
Type II - Agricole	**Agricole** (AGR)
Type III - Résidentiel	**Résidentiel avec jardin potager** (RES-veg) *Variantes possibles :* *Résidentiel avec jardin (d'agrément - RES)*[7] *Résidentiel sans jardin*[8] *(RES-ng)*
Type IV – Récréatif et commercial	**Récréatif sport intérieur** (REC-dayin) **Récréatif sport extérieur** (REC-dayout) **Industriel léger** (activités intérieures, IND-l)
Type V - Industriel	**Industriel léger** (IND-l) **Industriel lourd** (avec activités extérieures, IND-h)

Le scénario standard le plus contraignant pour l'usage résidentiel est le résidentiel avec jardin potager. Pour les usages de type IV (récréatif et commercial) et de type V (industriel), plusieurs scénarios sont possibles, le plus contraignant étant fonction du type de polluant. L'Annexe B1 reprend le scénario le plus contraignant pour l'usage de type IV et de type V pour chaque polluant repris dans le décret sols.

Une remarque importante concernant l'usage commercial est reprise dans l'encadré ci-dessous.

	L'**usage commercial** est repris dans le décret sols en usage de type IV au même titre que l'usage récréatif. Le logiciel S-Risk© reprend cet usage sous le terme « industriel léger ». Dans le cas d'un usage commercial, l'expert doit sélectionner dans S-Risk© : - Le scénario « industriel léger » pour évaluer l'exposition des travailleurs ;

[7] Sans jardin potager

[8] Sans jardin potager et sans jardin d'agrément

	- Le scénario « récréatif intérieur » pour évaluer l'exposition de la population (adulte/enfant). L'utilisation du scénario « récréatif intérieur » pour évaluer l'exposition de travailleurs dans un commerce n'est pas conservatoire.

Les voies d'exposition retenues pour les différents scénarios standards dans le logiciel S-Risk© sont reprises dans le Tableau 4.

Tableau 4. Voies d'exposition par défaut associées à chaque scénario dans le logiciel S-Risk© *(source : Technical Guidelines Document – TGD - de S-Risk© chapitre 9)*

	AGR	RES-veg	RES	RES-ng	REC-dayout	REC-dayin	IND-I	IND-h
Oral								
Ingestion of soil	X	X	X	X	X		X	X
Ingestion of indoor settled dust	X	X	X	X		X	X	X
Intake of vegetables from local production	X	X						
Intake of meat and milk from local production	X							
Intake of eggs from local origin								
Intake of water (drinking-water or groundwater)	X	X	X	X			X	X
Dermal								
Absorption from soil	X	X	X	X	X		X	X
absorption from indoor settled dust	X	X	X	X		X	X	X
Absorption from water during showering and bathing	X	X	X	X				
Inhalation								
Inhalation of outdoor air (gas-phase + particles)	X	X	X	X	X		X	X
Inhalation of indoor air (gas-phase + particles)	X	X	X	X		X	X	X
Inhalation during showering (gas-phase)	X	X	X	X				

La Figure 2 synthétise les voies de transfert et les voies d'exposition auxquelles les différentes cibles peuvent être soumises.

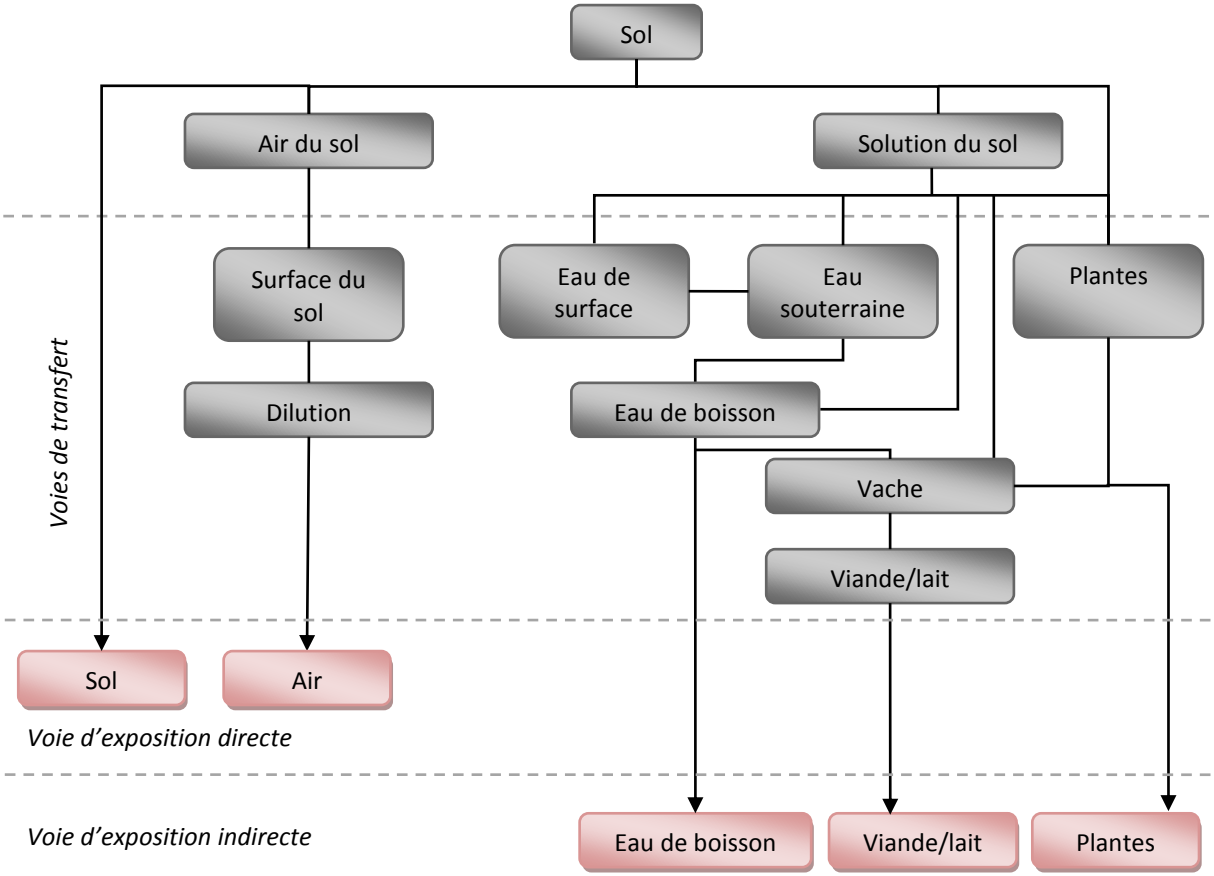


Figure 2. Voies de transfert et voies d'exposition prises en compte dans le logiciel d'évaluation des risques sanitaires S-Risk©

Un guide technique (« Technical Guidance Document ») explique l'ensemble de la démarche, des algorithmes, des scénarios standards et des paramètres utilisés dans le logiciel S-Risk©. Un autre guide explique l'utilisation pratique de l'outil et ses différentes fonctions. L'ensemble des données relatives aux polluants inclus dans ce logiciel figurent dans les « substances data sheets ». Ces documents sont disponibles sur le site *https://www.s-risk.be/documents*. Un helpdesk permet de répondre aux questions de l'utilisateur.

	Le domaine de l'évaluation des risques est en évolution permanente et la **veille scientifique** tant au niveau de la méthodologie, de la toxicologie qu'au niveau des modèles utilisés (principalement les modèles de transfert) est un élément à ne pas négliger. Le logiciel d'évaluation des risques S-Risk© a notamment été choisi car c'est une application web. Tous les experts auront ainsi toujours accès aux dernières mises à jour du logiciel.

2.2. Les bases d'évaluation à considérer dans une ER-SH, en pratique

L'ER, y compris le volet santé humaine, sera réalisée pour tous les polluants dont la concentration représentative présente un dépassement de la valeur seuil et sur les bases d'évaluation menant aux conclusions opérationnelle « nécessisté d'assainissement », selon le cas rencontré, conformément aux dispositions reprises dans la partie A (cf. GRER partie A, tableau 1, section 3.3.2).

Ces différentes simulations vont permettre d'apporter les **conclusions opérationnelles** (nécessité et urgence d'assainir) et des **conclusions additionnelles** (mesures de sécurité en ce compris les restrictions d'usage…) en fonction de la base d'évaluation considérée.

Les mesures de suivi seront définies en attente de l'assainissement et les mesures de sécurité, de manière pérenne et consignées dans le CCS.

2.3. Les deux niveaux de l'évaluation des risques pour la santé humaine

Pour rappel, avant d'aborder les différents niveaux de l'évaluation des risques pour la santé humaine, l'expert réalisera une **analyse préliminaire** (cf. GRER partie A). Ainsi, l'expert choisira le scénario correspondant à la base d'évaluation considérée (générique, actuelle et/ou projetée). Ensuite, il vérifiera/complétera le MCS, vérifiera si le scénario standard est suffisamment sécuritaire et définira les concentrations représentatives en polluants à retenir.

En pratique, deux niveaux d'approche séquentiels sont proposés pour déterminer les risques pour la santé humaine (Figure 3). Ces deux niveaux sont détaillés aux points 2.4 et 2.5.

En résumé, dans un premier temps, une évaluation simplifiée, basée sur une comparaison des concentrations représentatives en polluants dans le sol et les eaux souterraines à des valeurs limites pour la santé humaine, sera réalisée. En cas d'hypothèse de menace grave, une évaluation détaillée des risques sera conduit ou l'expert décidera de considérer la menace grave et passera à l'interprétation en termes de conclusions opérationnelles et/ou additionnelles selon la base d'évaluation considérée.

Evaluation Simplifiée des Risques pour la santé humaine (ESR-SH),

Ce premier niveau aboutit à déterminer, sur base d'un type d'usage standard, les polluants qui doivent faire l'objet d'un assainissement ou d'une EDR-SH (hypothèse de menace grave) et ceux qui peuvent être écartés (absence de menace grave).

Etapes de la réalisation d'une ESR-SH :

Etape 1 : Comparaison des concentrations représentatives aux VS_H, VS_{nappe} et $VS_{nappe[volatilisation]}$

Etape 2 : Interprétation des résultats avec détermination de l'absence de menace grave ou hypothèse de menace grave et détermination des besoins de mesures de sécurité et/ou de suivi.

En cas d'**hypothèse de menace grave,** il y a lieu :

- soit de passer à l'évaluation détaillée des risques ;

- soit de considérer une menace grave et de passer à l'interprétation en termes de conclusions opérationnelles et/ou additionnelles en fonction de la base d'évaluation considérée.

En cas d'**absence de menace grave**, il y a lieu de de passer à l'interprétation en termes de conclusions opérationnelles et/ou additionnelles en fonction de la base d'évaluation considérée.

Evaluation Détaillée des Risques pour la santé humaine (EDR-SH)

Ce second niveau aboutit à définir la présence ou non d'une menace grave sur base de données plus spécifiques au site. Lors de l'interprétation des résultats, les hypothèses utilisées, dont le paramétrage du modèle S-Risk et le type d'usage considéré, sont interprétées en termes de mesures de sécurité (restriction d'usage ou d'utilisation) ou de suivi en fonction de la base d'évaluation considérée. Le chapitre 4 de la partie A présente les principes généraux de cette interprétation.

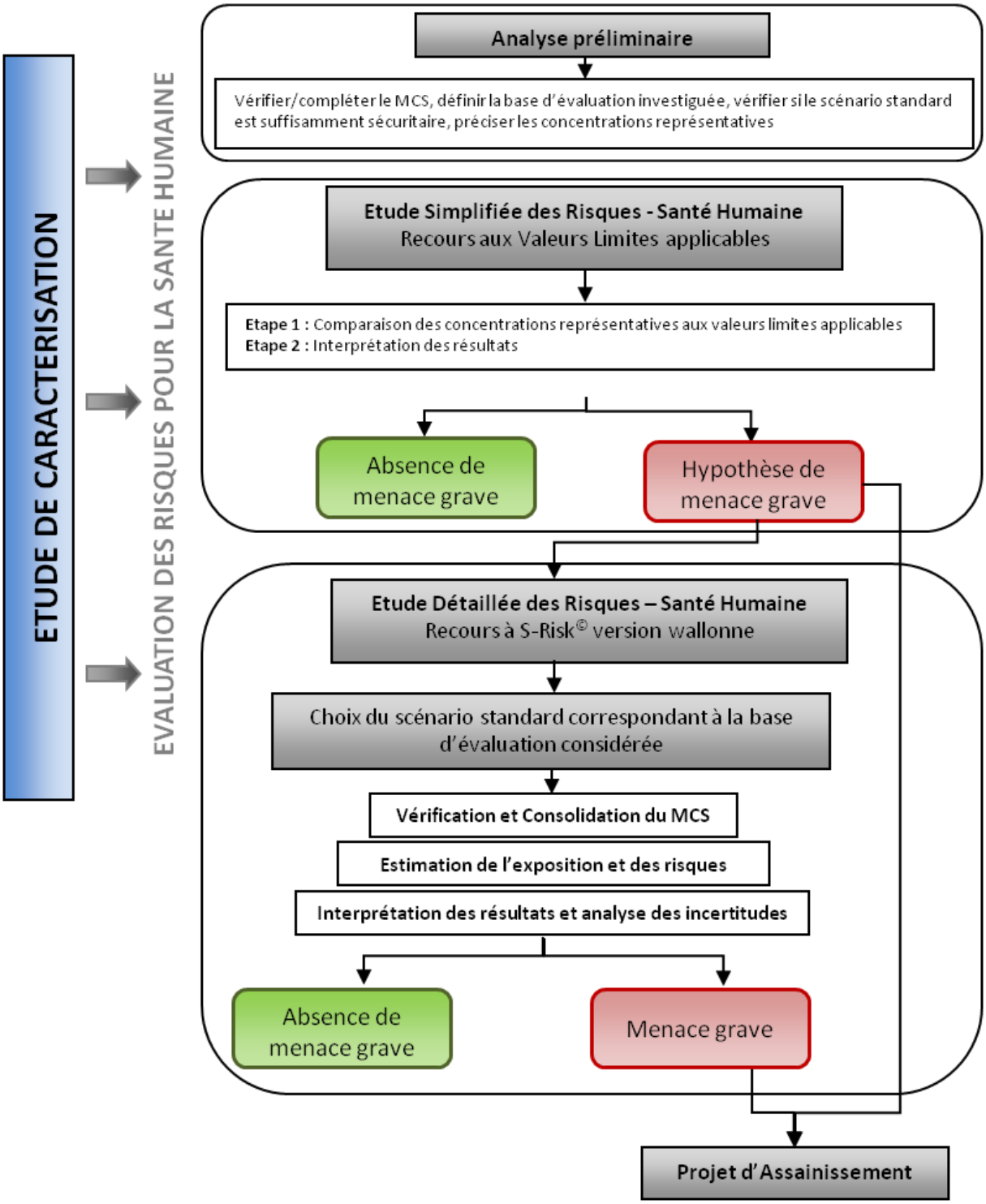


Figure 3. Schématisation générale d'une évaluation des risques pour la santé humaine : l'ESR-SH et l'EDR-SH

2.4. Evaluation Simplifiée des Risques pour la Santé Humaine (ESR-SH)

2.4.1 Objectifs et principes de l'ESR-SH

L'ESR-SH s'apparente à une étape de screening. Celle-ci permet, au niveau d'un terrain, d'identifier les pollutions et les scénarios qui ne nécessitent aucune investigation supplémentaire. Le principe est relativement simple : au niveau d'une pollution, lorsque les concentrations représentatives en polluants se situent en-dessous des valeurs limites (VS_H, VS_{nappe} et $VS_{nappe[volatilisation]}$) correspondantes à un usage sélectionné, aucune action n'est nécessaire pour un usage du terrain conforme à l'usage sélectionné.

Cette étape de screening permet, selon une démarche raisonnablement conservatoire, d'écarter de la suite des investigations certains polluants, certains scénarios d'exposition et/ou certaines zones.

2.4.2 Champs d'application de l'ESR-SH

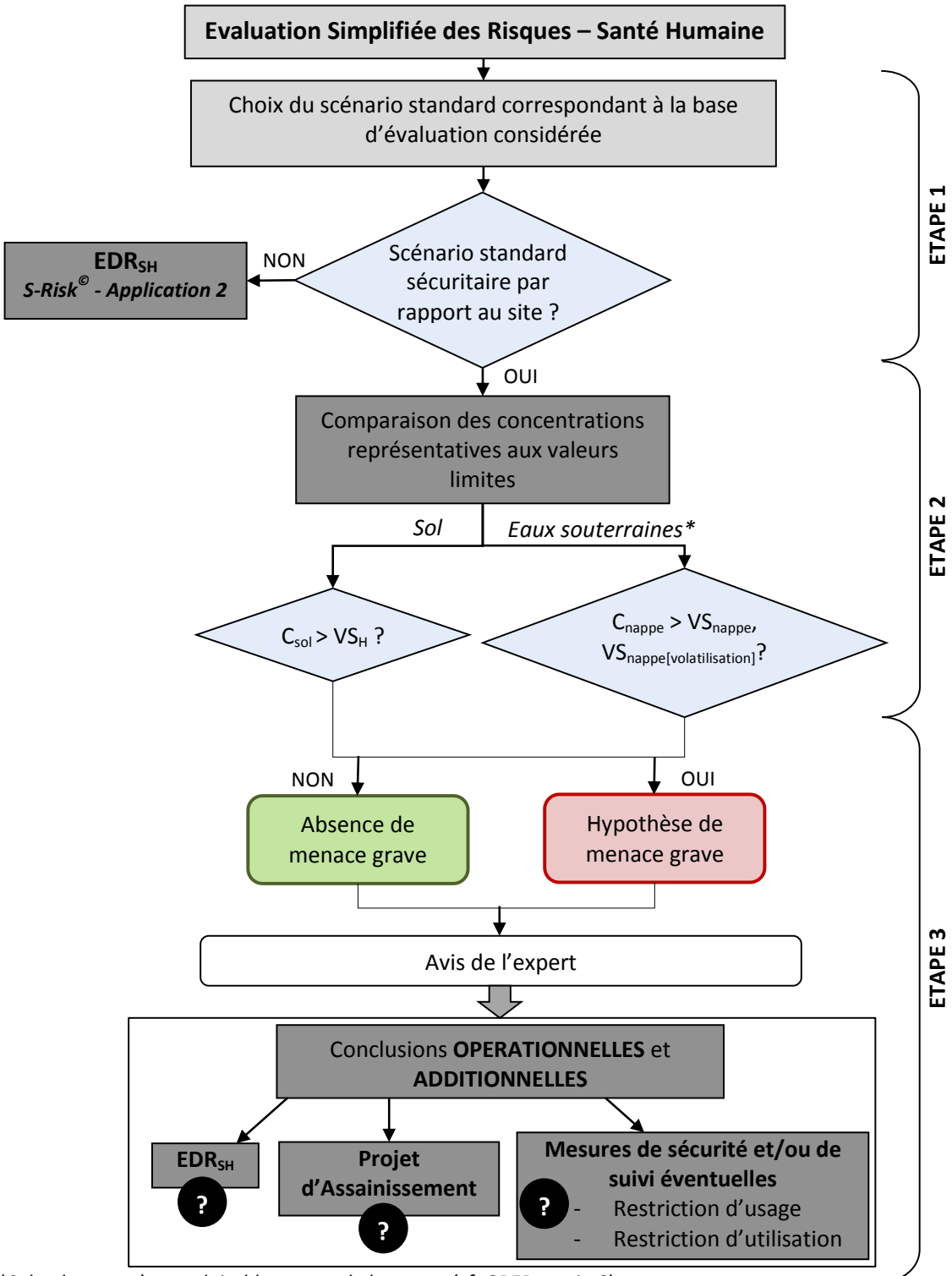
L'ESR-SH sera appliquée pour :

- les **polluants normés** (cf. Annexe 1 du décret sols) dont les concentrations représentatives dépassent les Valeurs Seuil (VS) du décret sols (Sol et Eaux souterraines) ;
- les **polluants non normés** qui ont été analysés au stade de l'EC et dont les concentrations représentatives dépassent une des valeurs limites (VS_H, VS_{nappe} et VS_N) établies par l'administration sur base des avis de l'ISSeP et de la SPAQuE (Art. 9 du décret sols).

L'évaluation simplifiée des risques pour la santé humaine n'est pas applicable aux échantillons de sol ou d'eau affectés par la présence d'une **phase libre** (cf. GRER partie A) dans le sol ou dans les eaux souterraines.

2.4.3 Etapes de l'ESR-SH

Les étapes de l'ESR-SH ainsi que le processus décisionnel sont présentés à la Figure 4 et explicitées ci-dessous.



Selon le caractère exploitable ou non de la nappe (cf. GRER partie C)

Figure 4. Schématisation des différentes étapes de l'Evaluation Simplifiée des Risques pour la Santé Humaine (ESR-SH) et processus décisionnel.

2.4.3.1 Etape 1 : Vérification du MCS et de l'applicabilité du scénario standard, identification des concentrations en polluants à retenir

La première étape consiste à vérifier si le MCS est suffisamment complet, à choisir le type d'usage correspondant à la base d'évaluation considérée, à vérifier si le scénario standard correspondant au type d'usage choisi est suffisamment sécuritaire et à définir les concentrations représentatives en polluants à utiliser dans l'étape 2.

- *Vérification du MCS :*

  Cette étape consiste à vérifier si le MCS établi au stade de l'EC est bien complet (cf. section 1.4.1) et, le cas échéant, à le compléter.

- *Choisir le type d'usage et vérifier si le scénario standard est suffisamment sécuritaire*

  Au stade de l'ESR-SH, les seuls scénarios standards possibles sont ceux correspondant aux 5 usages du sol tels que repris dans le décret sols (Tableau 3 – correspondance avec S-Risk©).

  A partir du MCS établi pour le terrain à l'étude, l'expert évaluera dans quelle mesure les scénarios standards correspondant aux bases d'évaluation définies conformément à la partie A sont suffisamment **précautionneux** par rapport à la situation décrite dans le MCS.

  En pratique, au stade de l'ESR-SH, un scénario standard sera considéré comme non applicable ou pas suffisamment précautionneux dans les cas suivants :

  - des voies d'exposition particulières (non prises en compte dans les scénarios standards) doivent être considérées (cas de l'ingestion de poisson, le contact cutané avec l'eau de baignade, …) ;
  - présence d'un produit en phase libre (passage à l'EDR-SH) ;
  - une voie d'exposition qui d'emblée est insuffisamment prise en compte via les scénarios standards (ex. la présence de personnes se nourrissant presqu'exclusivement des denrées / légumes autoproduits) ;
  - en présence de certains horizons limon sableux léger, sable limoneux et sable. Ils sont décrits à l'**Annexe B3**.

- *Préciser les concentrations représentatives en polluants à retenir pour l'étape 2 de l'ESR-SH*

  L'expert suit les recommandations générales de détermination des concentrations représentatives détaillées dans le GREC. Des règles particulières sont reprises à l'annexe A1 de la partie A du GRER pour certains polluants, à savoir les hydrocarbures pétroliers (approche par fraction), le mercure (prise en compte des formes présentes dans l'environnement) ainsi que le xylène et 1,2-dichloroéthène (prise en compte des différents isomères).

2.4.3.2 Etape 2 : Comparaison des concentrations représentatives en polluants aux valeurs limites

En Wallonie, les valeurs limites à utiliser dans le cadre de l'ESR-SH sont les VS_H pour le sol et les VS_{nappe} et $VS_{nappe[volatilisation]}$ pour l'eau souterraine.

- *Cas des polluants normés (repris dans l'annexe 1 du décret sols)*

  Les données des concentrations représentatives en polluants dans les sols (zone non saturée) seront comparées aux VS_H de l'usage considéré.

  Les données des concentrations représentatives en polluants dans l'eau souterraine feront également l'objet d'une comparaison aux valeurs limites suivantes :

  - aux VS_{nappe}, telles que figurant à l'Annexe 1 du décret sols et à l'**Annexe B1** du présent guide afin de prévenir les risques associés à l'usage de l'eau souterraine (notamment à des fins de production alimentaire), uniquement dans le cas des nappes exploitables [9], et
  - aux $VS_{nappe\ [volatilisation]}$ qui visent à prévenir les risques qui pourraient être générés par la volatilisation des polluants depuis la nappe, que la nappe soit exploitable ou non.

  L'ensemble de ces valeurs limites sont reprises à l'**Annexe B1**. Le principe d'établissement des VS_H et $VS_{nappe\ [volatilisation]}$ est repris à l'**Annexe B1** et des VS_{nappe} à l'Annexe C1 (GRER partie C).

- *Cas des polluants non normés (PNN)*

  L'expert vérifiera si des valeurs limites sont disponibles pour le polluant dans la base de données PNN mise à sa disposition via le site https://dps.environnement.wallonie.be/home/liens--documents/le-coin-des-specialistes-experts-laboratoires/polluants-non-normes-pnn.html. A défaut, les VL_H, VL_{nappe} et $VL_{nappe[volatilisation]}$ seront sollicitées conformément aux modalités fixées par l'administration pour les PNN (cf. GREO).

2.4.3.3 Etape 3 : Interprétation des résultats et conclusions au stade de l'ESR-SH

En fonction des résultats des tests de comparaison aux valeurs limites, l'expert pourra tirer des conclusions en termes d'absence ou de présence d'hypothèse de menace grave et les interpréter pour la suite de la procédure:

- *Dans le sol* :
  - soit, pour une zone donnée ou pour le terrain considéré dans son entièreté, les concentrations représentatives en polluants sont inférieures aux valeurs limites sur la base d'évaluation menant aux conclusions opérationnelles en termes de nécessité d'assainissement. L'expert pourra alors conclure que, conformément aux critères de décision, il y a **absence de menace grave**

[9] La comparaison aux valeurs seuils dans l'eau souterraine est pertinente dans le cadre de l'évaluation des risques pour la santé humaine, étant donné que les valeurs de VS_{nappe} ont entre autres été élaborées sur la base d'un critère visant à prévenir les risques pour la santé humaine. Cette comparaison se fera indépendamment de la présence ou non d'une prise d'eau. Dans la mesure où cette comparaison a déjà été réalisée au stade de l'EC, il suffira dès lors à l'expert de récupérer les résultats à l'issue de l'EC.

En fonction des résultats de l'ESR sur la (les) base(s) d'évaluation menant aux conclusions additionnelles, l'expert précisera alors ces conclusions en termes de mesures de sécurité.).

- soit les concentrations représentatives en polluants sont supérieures aux valeurs limites sur la base d'évaluation menant aux conclusions opérationnelles en termes de nécessité d'assainissement, la **menace grave** ne peut dès lors être écartée et doit être maintenue **à titre d'hypothèse**. Deux options se présentent alors :
  - soit de passer à l'évaluation détaillée des risques (cf. 2.5) : Dans ce cas, il synthétisera, pour chacune des zones, les polluants (normés et non normés) qui doivent être retenus dans le cadre de l'EDR-SH et il définira les besoins en mesures de suivi pour la protection de la santé humaine au terme de l'ESR-SH dans l'attente de l'EDR-SH.
  - soit de considérer la menace grave et passer à l'interprétation en termes de conclusions opérationnelles et additionnelles.

- *Dans les eaux souterraines* :

  Si, dans une zone récepteur, toutes les concentrations représentatives, mesurées ou estimées suite à la dispersion de la pollution (partie C), sont inférieures ou égales aux VS_{nappe} et/ou $VS_{nappe[volatilisaton]}$, l'évaluation simplifiée des risques conclut à l'**absence de menace grave** pour la santé humaine causée par les pollutions identifiées dans les eaux souterraines au droit de cette zone récepteur. Dans le cas contraire, il y a **hypothèse de menace grave** et sur base de l'avis de l'expert, il faut passer à l'EDR-SH ou considérer la menace grave et passer à l'interprétation en termes de conclusions opérationnelles et additionnelles.

Hypothèse de menace grave - Cas de la non-réalisation d'une EDR-SH

Dans les cas où les conclusions amènent l'expert à recommander de procéder directement aux travaux d'assainissement, des objectifs d'assainissement minimum peuvent être formulés.

Dans la mesure où il peut être conclu à l'adéquation entre le MCS et le scénario standard retenu pour le calcul des valeurs seuil pour la santé humaine, les objectifs minimum d'assainissement permettant de couvrir les risques pour la santé humaine[10] peuvent être fixés pour chaque polluant identifié individuellement :

- pour le sol d'après les VS_H correspondant à l'usage retenu. Ainsi,
  - pour les couches de surface, les objectifs minimum d'assainissement permettant de couvrir les risques pour la santé humaine peuvent être fixés aux VS_H ;
- pour les eaux souterraines, soit :
  - à la valeur la plus contraignante de VS_{nappe} ou $VS_{nappe[volatilisation]}$ dans le cas des nappes exploitables ;
  - à la valeur $VS_{nappe[volatilisation]}$ dans le cas des nappes non exploitables.

[10] Les objectifs minimum d'assainissement pour couvrir les risques santé humaine doivent être combinés aux objectifs minimum d'assainissement établis pour la protection des eaux souterraines et, si pertinent, pour la protection des écosystèmes (cfr. Partie A).

Dans le cas particulier des hydrocarbures pétroliers, les objectifs minimum d'assainissement permettant de couvrir les risques pour la santé humaine seront fixés :

- en l'absence d'un split aromatique/aliphatique, aux valeurs limites précisées pour les fractions globales EC_i (**Annexe B1**) ;
- en présence d'un split aromatique/aliphatique, aux valeurs limites précisées pour les fractions aromatiques et aliphatiques (**Annexe B1**).

L'expert veillera enfin à définir l'urgence de l'assainissement ainsi que les mesures de suivi.

2.5. Evaluation Détaillée des Risques pour la Santé Humaine (EDR-SH)

2.5.1 Objectifs et principes de l'EDR-SH

L'évaluation détaillée des risques pour la santé humaine (EDR-SH) constitue le second niveau de l'évaluation des risques. Elle vise à quantifier les risques sanitaires sur base de données plus représentatives de la situation étudiée.

La comparaison des résultats de l'EDR-SH aux critères de décision permet de se prononcer sur l'éventuelle présence d'une menace grave pour la santé humaine.

2.5.2 Champs d'application d'une EDR-SH

L'évaluation détaillée des risques pour la santé humaine sera réalisée pour :

- les polluants normés dont les concentrations représentatives dans le sol dépassent la VS_H au stade de l'ESR-SH ;
- les polluants normés dont les concentrations représentatives dans l'eau souterraine dépassent la VS_{nappe} (cas des nappes exploitables) et/ou la $VS_{nappe[volatilisation]}$ (cas des nappes exploitables ou non) au stade de l'ESR-SH ;
- les polluants non normés dont les concentrations représentatives dans le sol et/ou les eaux souterraines dépassent les valeurs limites établies par l'administration (art 9 du décret sols) ;
- les situations où les valeurs limites ne peuvent être appliquées (cf. 2.4.3.1) :
    - présence de certains horizons limons sableux légers, sables limoneux ou sables (**Annexe B3**) ;
    - voie d'exposition complémentaire non prise en compte dans les scénarios standards ;
    - voie d'exposition ou voie de transfert sous-estimée via les scénarios standards ;
    - présence d'une phase libre (cf. GRER partie C) dans le sol ou les eaux souterraines ;

Considération des produits de dégradation

L'expert devra juger au cas par cas si la dégradation des polluants présents, tenant compte des conditions du site, pourrait conduire à la formation de produits toxiques dont il faudrait tenir compte dans l'évaluation des risques.

Ainsi la présence de composés organiques chlorés tels le tétrachloroéthylène et le trichloréthylène dans les eaux souterraines peuvent conduire à une production de chlorure de vinyle, plus toxique, si les conditions ne sont pas favorables à une minéralisation complète. Dans ce cas, l'expert devra tenir compte des risques éventuels pour la santé humaine dans une situation future en estimant les concentrations attendues.

Des outils existent pour mener cette évaluation de la biodégradation non prise en compte dans le logiciel S-RISK© : le guide EPA (U.S. EPA, 1998), le rapport USGS (Lawrence, 2006), les équations de cinétique de premier ordre ou l'utilisation du logiciel BIOCHLOR (U.S. EPA, 2000).

2.5.3 Etapes de l'EDR-SH

En pratique, l'expert :

(1) utilisera l'Application 2 du logiciel S-Risk© version wallonne ;
(2) sélectionnera le scénario correspondant au type d'usage à considérer pour son cas d'étude (cf.Tableau 3) ;
(3) choisira les polluants et/ou encodera les données relatives aux PNN ;
(4) choisira les horizons standards adéquats et encodera les données spécifiques à l'horizon étudié (pH_{KCl}, teneur en matières organiques et contenu en argile) ;
(5) encodera les concentrations représentatives en polluants dans le sol (et les eaux souterraines) en fonction de la profondeur ;
(6) introduira des données spécifiques au site (autres que le profil de sol – ex : mesures directes en polluants dans les gaz du sol, caractéristiques des bâtiments,…) dans le cas de la situation actuelle et/ou projetée. L'**Annexe B4** reprend les paramètres du logiciel S-Risk© qui peuvent être modifiés par l'expert ainsi que les valeurs par défaut.

Sur base de ces informations, le logiciel évaluera les transferts entre les milieux, estimera des quantités de polluants inhalées, ingérées et/ou absorbées par la peau et calculera les risques.

Les différentes étapes de l'EDR-SH que l'expert devra suivre pour chacune des situations sont reprises à la Figure 5. Les recommandations pour les aborder sont explicitées ci-dessous.

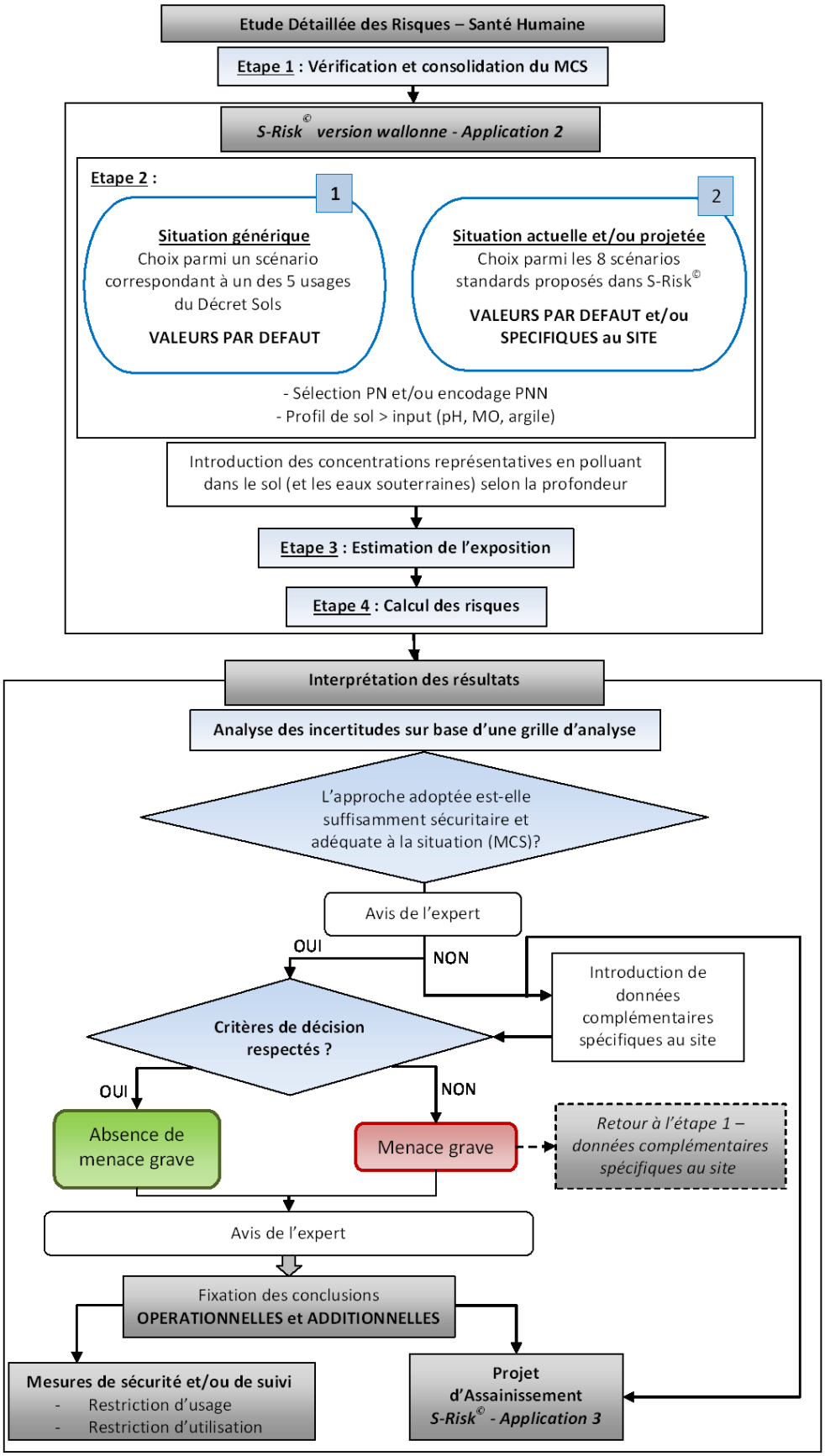


Figure 5. Etapes générales de l'évaluation détaillée des risques pour la santé humaine et processus décisionnel

2.5.3.1 Etape 1 : Vérification et consolidation du MCS

A l'issue de l'évaluation simplifiée des risques, si une évaluation détaillée des risques s'avère nécessaire, l'expert veillera à vérifier et consolider le MCS. Celui-ci doit toujours être mis à jour lorsque de nouvelles informations sont obtenues notamment suite à une visite de site.

2.5.3.2 Etape 2 : Identification des dangers – définition des relations dose/réponse

L'expert encodera dans l'Application 2 du logiciel S-Risk© version wallonne les données reprises ci-dessous.

a. Sélection des scénarios et voies d'exposition

Pour la réalisation d'une EDR-SH sur **base générique**, l'expert sélectionnera, pour chaque zone considérée (cf. MCS) le scénario correspondant à un des 5 usages du décret sols **sans recourir aux variantes** et en tenant compte de l'ensemble des voies d'exposition du scénario standard et en utilisant le Tableau 5 qui reprend les correspondances d'usages entre le décret sols et le logiciel S-Risk© version wallonne. Les voies d'exposition retenues par défaut pour chaque scénario devront toutes être prises en compte de même que tous les paramètres de transfert et d'exposition proposés par défaut par le logiciel. Néanmoins, l'expert pourra définir le profil du sol du terrain et précisera la profondeur des pollutions

La base d'évaluation générique doit être réalisée dans toutes les cas, quelque soit la situation rencontrée (AEC/FSP/FAP – cfr GRER Partie A)

Dans l'application 2, le logiciel S-Risk© propose certaines variantes pour différents scénarios. L'expert a la possibilité de choisir une de ces variantes pour réaliser une EDR-SH **sur base actuelle et/ou projetée**. Il pourra ainsi sélectionner un des 8 scénarios proposés par S-Risk©. Ces variantes vont cependant **impliquer des restrictions d'utilisation** (Tableau 5). Des voies d'exposition sont proposées par défaut pour chaque scénario et variante. Si l'expert le juge pertinent, il peut supprimer ou ajouter des voies d'exposition. A titre d'exemples :

- si l'exposition via l'eau de douche s'avère pertinente pour l'usage industriel, l'expert devra cocher les voies d'exposition « inhalation pendant la douche » et « contact cutané avec l'eau de la douche » ;
- si, pour une évaluation des risques humains actuels, les scénarios standards n'étaient pas suffisamment précautionneux.

  Par exemple :
  - *Une voie d'exposition particulière ne serait pas prise en compte dans le scénario standard (ex : ingestion d'eau de baignade) ;*
  - *Une voie d'exposition qui est insuffisamment prise en compte dans le scénario standard (ex : la présence de personnes se nourrissant exclusivement des denrées / légumes autoproduits).*

Tableau 5. Scénario à considérer, en rapport avec le décret sols, lors d'une EDR-SH avec le logiciel S-Risk© selon la situation considérée et restriction d'utilisation y afférente

Usage décret sols	Scénario S-Risk© - Base GENERIQUE	Scénario S-Risk© - Base ACTUELLE et/ou PROJETEE	Restrictions liées aux scénarios
Type I- Naturel	Récréatif extérieur	Récréatif extérieur	/
Type II - Agricole	Agricole	Agricole	/
Type III - Résidentiel	Résidentiel avec jardin potager	Résidentiel avec jardin potager	/
		Résidentiel avec jardin (d'agrément, sans potager)	pas de jardin potager
		Résidentiel sans jardin	Pas de jardin ni de jardin potager
Type IV – Récréatif et commercial	Récréatif sport intérieur, Récréatif sport extérieur **et** Industriel léger	Récréatif sport intérieur	Usage type IV limité au récréatif
		Récréatif sport extérieur	Pas de bâtiment / Usage type IV limité au récréatif
		Industriel léger (commercial)	Usage type IV limité au commercial
Type V - Industriel	Industriel léger **et** Industriel lourd	Industriel léger (activités intérieures)	Usage de type V limité aux activités industrielles intérieures
		Industriel lourd (avec activités extérieures)	Usage de type V limité aux activités industrielles extérieures

b. Sélection des polluants

L'expert sélectionnera les polluants pour lesquels un calcul des risques doit être réalisé (cf. champs d'application, section 2.5.2).

- Cas de polluants normés :

  L'expert se réfèrera aux paramètres physico-chimiques, facteurs de transfert et VTR proposés dans le logiciel S-Risk© version wallonne et repris dans les « substances data sheets » disponibles sur le site https://www.s-risk.be/documents.

- Cas de polluants non normés :

  Pour les substances non normées, l'expert encodera dans le logiciel S-Risk© les paramètres physico-chimiques et VTR repris dans la base de données PNN.

  Si le polluant est présent dans le logiciel S-Risk©, l'expert utilisera les paramètres physico-chimiques et VTR proposés par défaut par le logiciel S-Risk© version wallonne.

c. Caractéristiques du sol

Les caractéristiques du sol ont un impact important sur le transfert des polluants. Les propriétés des sols les plus importantes à considérer sont le taux de matière organique, le pH_{KCl}, la perméabilité du sol à l'air et la porosité.

Le logiciel S-Risk©, version wallonne, propose 8 horizons standards et un remblai standard caractérisés par des propriétés physico-chimiques par défaut. Les valeurs par défaut retenues pour

ces horizons et remblai ont été définies sur base de données wallonnes et sont présentées à l'**Annexe B3**.

Dans le logiciel S-Risk©, l'expert a la possibilité d'établir un profil de sol et donc de choisir différents horizons selon la profondeur (Figure 6), notamment sur base d'une analyse de granulométrie du sol. L'outil mis à disposition des bureaux d'étude via le site *https://dps.environnement.wallonie.be/home/sols/sols-pollues/code-wallon-de-bonnes-pratiques--cwbp-/etude-de-risque.html* aidera l'expert à définir les différents horizons sur base de la proportion de sable/argile/limon de son échantillon. Cet outil est un triangle des textures reprenant 7 horizons standards du logiciel S-Risk© version wallonne (les limons caillouteux et remblais ne sont pas repris).

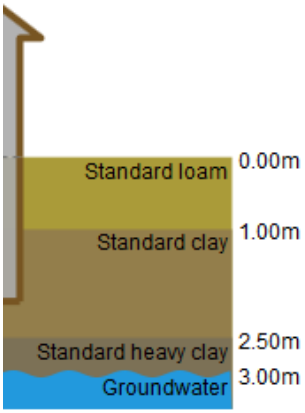


Figure 6. Exemple de profil de sol à encoder dans S-Risk©

Les paramètres pH_{KCl}, teneur en carbone organique et teneur en argile (paramètres repris dans le Paquet Standard d'Analyse tel que mentionné à l'Annexe 1 du GREO v.04) seront mesurés suivant les méthodes décrites dans le Compendium Wallon des méthodes d'Echantillonnage et d'Analyses (CWEA). L'expert devra juger de la représentativité des valeurs qu'il retiendra notamment pour le taux de matière organique mesuré. L'expert pourra encoder ces valeurs dans le logiciel S-Risk©.

D'autres mesures de terrain (perméabilité du sol à l'air, porosité, densité apparente…) peuvent être utilisées si elles sont représentatives de la couche lithologique.

S'agissant de la nappe, l'expert veillera à préciser la profondeur à laquelle se situe le toit de la nappe, paramètre indispensable pour le calcul des risques associés à la volatilisation des polluants depuis celle-ci.

d. Concentrations en polluants

Une fois l'usage du terrain défini, les polluants identifiés et les caractéristiques des sols précisées, l'expert encodera les concentrations représentatives (cf. GREC pour la méthodologie de calcul) en polluants dans le sol et les eaux souterraines ainsi que les éventuelles mesures dans les gaz du sol dans le logiciel S-Risk©.

L'expert a la possibilité de définir une concentration représentative en polluant pour chaque horizon constituant le profil du sol. Dans ce cas, il conviendra de garder cette approche jusqu'à la délivrance du CCS et, le cas échéant, de consigner des valeurs particulières par horizon.

Quelques recommandations quant au choix des données à retenir pour cette étape sont précisées dans les paragraphes suivants.

1) Concentrations à prendre en compte dans le sol et les eaux souterraines

S'agissant des concentrations à prendre en compte dans le sol, l'expert devra juger de la profondeur pertinente à retenir pour la zone non saturée tenant compte des fluctuations éventuelles du niveau de la nappe. Les analyses de sol réalisées dans la zone de battement de la nappe sont généralement reprises dans la zone non saturée, de manière précautionneuse, particulièrement en ce qui concerne les risques d'inhalation de polluants volatils. Pour rappel, le logiciel S-Risk© permet d'encoder une concentration en polluant pour chaque horizon constituant le profil de sol.

S'agissant des concentrations à prendre en compte pour les eaux souterraines, les concentrations retenues sont celles mesurées dans la ou les nappes en fonction des voies d'exposition et des cibles:

- si la seule voie d'exposition pertinente est celle de l'inhalation de polluants volatils[11] issus de la nappe, seules les concentrations dans la première nappe (i.e. la moins profonde) seront utilisées ;
- si un captage exploitant une nappe profonde a été répertorié sur le site, les concentrations dans cette nappe profonde pourront aussi s'avérer pertinentes dans le cadre de l'évaluation des risques via ingestion d'eau.

Dans la mesure où des polluants volatils sont présents dans le sol et les eaux souterraines, les concentrations dans l'eau aussi bien que celles dans les sols non saturés sont retenues pour l'évaluation de l'exposition via inhalation. Ainsi la concentration en polluant dans l'air intérieur sera calculée par le modèle S-Risk© à partir des concentrations en polluants mesurées dans chaque horizon du sol et/ou l'eau souterraine[12].

2) Concentrations à prendre en compte dans les gaz du sol

Dans le cadre d'une EDR-SH, des mesures de concentration dans les gaz du sol peuvent avoir été collectées pour mieux préciser l'importance de cette voie d'exposition. La collecte de ces données suit, jusqu'à intégration dans le CWEA, les recommandations figurant en **Annexe B5**. Les mesures sont à privilégier sur la modélisation sous réserve d'avoir respecté ce protocole.

L'utilisation des concentrations mesurées dans le gaz du sol dépend de la fiabilité respective des mesures dans le sol et les gaz du sol et, à fiabilité égale, de la précision des deux types de mesure. Les mesures de

[11] La liste des polluants volatils est reprise dans l'Annexe B1.
[12] En dehors de la zone de sol pollué, des mesures de gaz du sol peuvent également servir à évaluer la volatilisation issue d'un panache d'eau polluée qui a migré en aval (cf. GREC).

	concentrations dans les gaz du sol sont typiquement plus variables que celles des concentrations dans le sol, car elles sont influencées par la teneur en eau du sol, la température et la pression barométrique. La réalisation de plusieurs campagnes est à conseiller. Il est recommandé que l'expert évalue l'exposition en utilisant les trois données : sol, gaz du sol et eaux souterraines en retenant, dans un premier temps, les concentrations maximales calculées pour les différentes voies d'exposition. Il pourra ensuite argumenter la prise en compte de telle ou telle concentration. ***3) Cas particulier des phases libres*** Pour évaluer les risques sanitaires liés à la présence de produit en phase libre, l'expert devra réaliser des prélèvements d'air du sol en suivant le protocole repris à **l'Annexe B5**. Ensuite, il injectera les **concentrations en polluants dans les gaz du sol** dans le logiciel S-Risk©. ***4) Émission des polluants volatils du sol vers l'air extérieur*** Le modèle S-Risk présente des incohérences dans l'émission de polluants volatils du sol vers l'air extérieur. Dans certaines circonstances, les résultats obtenus, en fonction de la profondeur à laquelle se situe la pollution, peuvent ne pas être cohérents. Cette incohérence est expliquée dans la FAQ du site internet du logiciel S-Risk : https://s-risk.be/faq-page#t2n27.

e. Utilisation de données spécifiques au terrain étudié

Dans le cas d'une EDR-SH réalisée sur base d'une **situation actuelle et/ou projetée**, l'expert peut utiliser des données plus spécifiques à la situation étudiée. Il collectera des données supplémentaires essentiellement pour les voies de transfert ou les voies d'exposition qui ont déclenché une menace grave en utilisant les scénarios standards (base générique) et dont l'expert sait que les incertitudes ou le conservatisme sont assez grands (ex : absorption par les plantes, la volatilisation à partir de la phase solide et aqueuse du sol, le lessivage, le panache de propagation via les eaux souterraines,…).

L'affinement peut se faire de plusieurs manières : (i) par l'acquisition de données complémentaires plus représentatives des pollutions dans le sol et l'eau souterraine, (ii) par la mise en œuvre de mesures directes dans l'air, l'eau, les légumes, etc., (iii) en ajustant certains paramètres standards du modèle.

Ces différents points sont explicités ci-après :

(i) Campagnes de prélèvements et analyses supplémentaires dans le sol et l'eau souterraine

Ces campagnes supplémentaires vont permettre d'augmenter la représentativité et la précision des mesures de concentrations en polluants.

(ii) Mesures directes

L'expert pourra réaliser des mesures directes dans les milieux suivants :

- les plantes ;
- les caves et l'air intérieur ;
- les gaz du sol ;
- l'eau du robinet.

L'expert pourra introduire ces données dans le logiciel S-Risk© qui calculera ainsi un risque sur base de données plus réalistes.

La réalisation de plusieurs campagnes de prélèvements et des analyses sur des périodes suffisamment longues sont recommandées pour améliorer la représentativité des mesures (p. ex., l'influence des conditions atmosphériques sur les analyses d'air ambiant implique de réaliser des campagnes en été et en hiver).

	L'expert a ici un rôle important, car il doit non seulement définir la pertinence de réaliser des mesures dans d'autres milieux, s'assurer de la représentativité de ces données, mais également vérifier qu'il n'y a pas d'autre source que le sol qui pourrait influencer sa mesure. Par exemple, certains polluants peuvent avoir d'autres sources que le sous-sol : benzène produit par la fumée de cigarette, tétrachloroéthylène provenant de vêtements de retour de nettoyage à sec, …
	
	Les techniques de mesure doivent être adéquatement choisies selon le milieu. A noter que les mesures réalisées dans l'eau au robinet doivent également être réalisées après une période de stagnation (nuit). En ce qui concerne les mesures des concentrations en polluants dans les denrées alimentaires, il est nécessaire de prendre en compte la technique d'analyse et de préparation appropriée ainsi que la représentativité des légumes par rapport au bol alimentaire ou, à défaut, utiliser une espèce végétale qui bioaccumule.
	
	<u>Différentes guidelines peuvent être utilisées à ce sujet</u> :
	- Mesure d'air intérieur
	  o Guideline ISSeP : **Annexe B5**
	- Analyse et échantillonnage des légumes
	  o Des recommandations sont présentées dans le « guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre de diagnostics environnementaux » (ADEME, 2014)
	- Prélèvements et analyses dans les eaux souterraines
	  o Suivre les protocoles repris dans le CWEA (ISSeP, 2014)
	- Echantillonnage de l'air du sol
	  o Guideline ISSeP : **Annexe B5**

(iii) Ajustement des paramètres d'exposition et/ou de transfert

Certains paramètres d'exposition et/ou de transfert proposés par défaut peuvent être modifiés par l'expert s'il le juge pertinent. Cependant, le scénario envisagé deviendra généralement moins

sécuritaire que le scénario standard. Il ne pourra pas être la base des conclusions opérationnelles quant à la nécessité d'assainissement.

L'**Annexe B4** reprend les paramètres du scenario qui peuvent être modifiés. Dans un grand nombre de situations, la modification de ces paramètres visera uniquement à évaluer l'**urgence d'un assainissement** en **situation actuelle**. En effet, la modification de ces paramètres impliquera des mesures de sécurité complémentaires en ce compris des restrictions d'utilisation. Ces mesures de sécurité doivent pouvoir être respectées et consignées de manière durable dans le CCS. Pour exemple, une modification des paramètres de fréquentation d'un terrain affecté en commerce qui supprimerait la présence d'enfants, ne pourra être consignée dans le certificat de contrôle du sol. Ce scenario ne pourra donc être accepté par l'administration en vue de conclure à la nécessité ou non d'un assainissement. Néanmoins, cette simulation pourrait être pertinente afin d'évaluer les risques à court terme, l'urgence d'un assainissement et les mesures de suivi à prendre en attente de cet assainissement.

Voici quelques exemples :

- Certains **paramètres d'exposition** pourraient être ajustés par des données plus spécifiques au site (taux d'ingestion de légumes si par exemple la cible ne consomme que des légumes de son jardin → *Restriction d'utilisation possible*[13] *: interdiction de potager sur le terrain*) ;
- Si les paramètres de **configuration du terrain** diffèrent de ceux proposés dans les scénarios standards, ils peuvent être modifiés. Ainsi les données constructives (dimensions des bâtiments, présence d'une cave ou d'un vide ventilé, bâtiment construit sur une dalle en béton, taux de renouvellement d'air, épaisseur de la dalle en béton ...) pourront être utilisées comme données d'entrée dans la modélisation moyennant justification par l'expert) → *Exemple de restriction d'utilisation possible*[14] *: obligation de maintenir le bâtiment dans sa configuration actuelle.*

	Tout paramètre modifié dans le logiciel doit être dûment justifié par l'expert. Ces modifications seront automatiquement mises en évidence dans le rapport généré par le logiciel S-Risk©. Tous les choix réalisés par l'expert afin d'affiner son évaluation détaillée des risques doivent être argumentés. Pour rappel, l'expert doit vérifier et consolider le MCS avec toute précision qu'il aura apportée dans son EDR-SH.

2.5.3.3 Etape 3 : Evaluation de l'exposition

Une fois les données introduites, les quantités de polluants entrant en contact avec la cible vont être calculées par le logiciel S-Risk© version wallonne pour chaque voie d'exposition pertinente auxquelles sont ou seraient soumises les cibles identifiées au droit du terrain pour le scénario choisi sur base du modèle conceptuel du site.

[13] Si l'expert conclut à la présence de menace grave pour cette voie d'exposition

2.5.3.4 Etape 4 : Caractérisation des risques

Pour rappel, les risques sont caractérisés selon une approche mono-polluant. La procédure est reprise dans la méthodologie générale (section 1.4.4) et détaillée dans Cornelis & al (2016).

Dans l'outil S-Risk©, les risques associés à chaque polluant sont calculés pour chaque type d'effet (« à seuil » et « sans seuil ») et pour chaque voie d'exposition (voie orale (et contact cutané) et par inhalation).

Pour les effets « à seuil », un indice de risque (IR) est estimé pour chacun des 3 groupes d'âge (1 à < 6 ans, 6 à < 15 ans et > 15 ans).

Pour les effets cancérogènes (« sans seuil »), un excès de risque individuel (ERI) est calculé sur 70 ans (vie entière). Si une cible n'est pas retenue pour un scénario (p.ex. l'enfant pour un scénario industriel), les IR et/ou ERI relatifs aux effets « à seuil » et « sans seuil » ne seront calculés que pour la cible retenue (ex : adulte).

Le calcul des risques pour les cas particuliers du mercure et des hydrocarbures pétroliers sont détaillés à l'annexe A1.

2.5.4 Interprétation des résultats

Les résultats de l'évaluation des risques seront analysés en regard des incertitudes et interprétés sur base des critères de décision.

2.5.4.1 Analyse des incertitudes

Dans le cas où les résultats obtenus sont entachés de beaucoup d'incertitudes, des informations complémentaires, davantage spécifiques au site, devront être recueillies pour affiner les calculs de risques.

Au terme de l'exécution de l'EDR-SH, l'expert devra répondre à la question suivante « L'approche adoptée est-elle suffisamment sécuritaire et adéquate à la situation étudiée (MCS) ? » à l'aide d'une analyse des incertitudes.

L'analyse des incertitudes permettra de mettre en évidence les points de l'EDR-SH où un effort supplémentaire dans l'acquisition de données et/ou dans la modélisation pourrait réduire de façon substantielle l'incertitude entourant le résultat.

L'expert évaluera la robustesse de ses résultats via, au minimum, une **analyse qualitative** des incertitudes en utilisant la grille d'analyse (Tableau 6) qui liste les incertitudes associées aux différentes étapes de l'évaluation détaillée des risques. La réalisation d'une **analyse quantitative** des incertitudes est laissée à l'appréciation de l'expert en fonction des enjeux de l'étude de risque.

Tableau 6. Incertitudes liées aux évaluations des risques pour la santé humaine (grille d'analyse des incertitudes)

ETAPE	Donnée concernée	Type d'incertitude

ETAPE	Donnée concernée	Type d'incertitude
Identification des dangers	**Analyses des polluants, des sols, des eaux souterraines et autres milieux**	Incertitude liée au plan d'échantillonnage, à la méthode de prélèvement et d'analyse. Par exemple, nombre d'échantillons insuffisant, échantillons prélevés à la mauvaise profondeur, échantillon remanié ou non conduisant à une perte plus ou moins élevée des composés volatils, … ⇨ Evaluer la rigueur et la précision avec laquelle le terrain a été caractérisé au niveau de la phase de caractérisation conformément au GREC
Estimation de l'exposition	**Paramètres d'exposition**	Paramètres retenus pour la modélisation selon une approche précautionneuse (paramètres du sol, quantité de sol et de légumes ingérés, temps passé à l'intérieur/extérieur...) : ⇨ Evaluer les choix du sol ⇨ Passer en revue les différents paramètres du modèle et vérifier l'adéquation avec le MCS ⇨ Voir si le modèle permet d'analyser tous les aspects du MCS
	Bases d'évaluation	Les différentes bases d'évaluation doivent permettre de définir les restrictions d'usages et d'utilisation et d'en évaluer la pertinence. ⇨ Passer en revue les différentes bases d'évaluation considérées, s'assurer qu'elles sont suffisantes et évaluer la pertinence des restrictions envisagées.
	Equations de transfert	Les équations utilisées pour estimer les doses se basent sur des représentations plus ou moins simplifiées des mécanismes de transfert qui ne représentent pas toujours les phénomènes réels, ajoutant une incertitude supplémentaire sur les estimations de risques. ⇨ Passer en revue les paramètres du modèle et vérifier l'adéquation avec le MCS ⇨ Voir si le modèle permet d'analyser tous les aspects du MCS

ETAPE	Donnée concernée	Type d'incertitude
Caractérisation des risques	**Caractérisation des risques**	Calcul basé sur les données sélectionnées dans l'étape 1, sur la base des équations de l'étape 3 et en comparant les résultats aux valeurs sélectionnées dans l'étape 2 ⇨ Incertitudes cumulées lors de ces trois étapes.

L'évaluation semi-quantitative des incertitudes peut prendre la forme d'un tableau dans lequel les hypothèses prises tout au long de l'évaluation des risques sont rappelées. Le minimum requis est d'expliquer et de justifier les choix des hypothèses et des paramètres intervenant lors des différentes étapes de la détermination du risque et d'indiquer si ces choix conduisent à une surestimation ou une sous-estimation des risques ou si l'hypothèse est réaliste.

Si l'expert s'oriente vers une évaluation semi-quantitative des incertitudes, il identifiera au cours de cette évaluation les paramètres incertains et les paramètres potentiellement sensibles :

- un paramètre sensible est un paramètre dont la variation conduit à une forte fluctuation du risque calculé ;
- un paramètre incertain a généralement fait l'objet d'une réflexion puis d'une décision sans certitude, selon le principe de précaution.

Quelques exemples impliquant des paramètres sensibles et/ou typiquement incertains sont fournis à titre d'illustration ci-dessous (voir encadré).

Quelques exemples impliquant des paramètres sensibles et/ou typiquement incertains

Exemple 1 :

Les paramètres de teneur en eau et de teneur en air ont été sélectionnés dans le modèle de transfert en fonction du type de sol observé lors de campagnes de prélèvements mais ces observations ne sont pas représentatives de l'ensemble du site. Il est intéressant de faire varier ces paramètres pour un autre type de sol également observé sur le site afin d'évaluer l'impact sur le risque calculé.

Exemple 2 (inhalation d'air intérieur) :

Le taux de renouvellement d'air du sous-sol a été choisi par défaut dans l'étude initiale. Cependant, le projet d'aménagement prévoit un parking souterrain. Il serait donc pertinent de recalculer le risque en considérant la ventilation mécanique forcée du parking, obligatoire en Belgique.

Exemple 3 (ingestion de légumes) :

Le BCF est un paramètre sensible dans la modélisation des transferts dans les légumes. S'il a été retenu par défaut dans l'étude initiale, l'expert pourrait examiner son impact sur les résultats et décider s'il est utile de réaliser une étude bibliographique détaillée ou des tests sur site en vue de préciser la valeur de ce paramètre.

Exemple 4

Les paramètres d'exposition par défaut utilisés sont-ils suffisamment sécuritaires en regard de la situation étudiée ? Les durées d'exposition sont-elles adéquates, les quantités de denrées locales et d'eau souterraine consommées sont-elles suffisamment sécuritaires en regard de la réalité, ... Il faut tenir compte de la situation actuelle mais également projetée. Il se peut par exemple, que dans une zone résidentielle, il n'y ait pas actuellement de potager, en raison du caractère récent des habitations mais, que dans quelques années, des potagers pourraient être présents sur le site.

Existe-t-il des expositions particulières exceptionnelles qui n'ont pas été prises en compte via le modèle ?

Quelle est l'incertitude sur les concentrations (P50, P75, P95 ?) en polluants du sol et des eaux souterraines

Suite à l'analyse des incertitudes, deux cas de figure peuvent se présenter :

1. soit, les hypothèses utilisées pour réaliser l'évaluation des risques sont jugées suffisamment conservatoires et adéquates au modèle conceptuel de site et l'expert interprétera les résultats sur base des critères de décision ;
2. soit, les incertitudes sont nombreuses et l'expert juge qu'elles ne sont pas assez sécuritaires et/ou adéquates à la situation (MCS) alors :
    - soit, il complétera son analyse par des données plus spécifiques de la situation étudiée. Ainsi, l'expert pourra réduire les incertitudes et tendre vers une évaluation du risque sanitaire plus spécifique à son cas d'étude[14]. Ensuite, il appliquera les critères de décision pour interpréter les résultats.
    - soit, un assainissement sera requis.

2.5.4.2 Comparaison des résultats aux critères de décision

L'expert va analyser, à l'aide des critères de décision (décrits à la section 1.5), après analyse des incertitudes, les résultats obtenus au terme de l'EDR-SH réalisée pour la base d'évaluation considérée.

Pour rappel, les **critères de décision** par polluant sont les suivants :

- **Critère 1 :**
    - **Effets « à seuil »** (non cancérogènes ou cancérogènes non génotoxiques) : l'indice de risque (IR) associé à chacune des voies d'exposition est inférieur ou égal à 1 et l'indice de risque global[15] pour les effets systémiques est inférieur ou égal à 1 ;
    - **Effets « sans seuil »** (cancérogènes génotoxiques) : l'excès de risque individuel (ERI) associé à chacune des voies d'exposition est inférieur ou égal à 10^{-5} et l'ERI global pour les effets systémiques est inférieur ou égal à 10^{-5}.
- **Critère 2 :**
    - Concentration dans l'environnement ≤ norme légale

[14] L'expert pourrait également se diriger vers un scénario plus contraignant.

[15] L'indice de risque global (ou ERI global) correspond à la somme des IR (ou ERI) estimés pour chaque voie d'exposition

Les concentrations dans les milieux environnementaux doivent respecter les normes légales.

Si les **critères de décision** ne sont **pas respectés,** il y a **menace grave** et l'expert peut décider d'approfondir certains paramètres du MCS en utilisant plus de données spécifiques à la situation étudiée et éventuellement des mesures complémentaires. Dans ce cas, l'expert sera attentif aux mesures de sécurité (en ce compris les restrictions d'utilisation) qui pourront résulter des scénarios et hypothèses qu'il considérera. Il exécutera à nouveau les étapes 1 à 4 reprises au point 2.5.3. (démarche itérative) et pourra ainsi ajuster ou non son avis quant à l'absence ou la présence de menace grave.

Sur base des critères de décision, l'expert pourra tirer ses conclusions telles que présentées au point suivant (2.5.5).

2.6. Conclusions de l'étude de risque volet santé humaine

En intégrant les résultats de l'ESR-SH et de l'EDR-SH, le volet santé humaine de l'étude de risques se conclue, pour la base d'évaluation considérée :

- soit en absence de menace grave.
- soit en présence de menace grave.

La conclusion de l'étude de risques volet santé humaine s'interprète en termes de conclusions opérationnelles et additionnelles pour le volet santé humaine tel que présenté au chapitre 4 de la partie A. L'expert rappel les hypothèses de la base d'évaluation : type d'usage considéré, éventuel paramètres modifiés dans S-Risk et leurs conséquances.

Références bibliographiques

ADEME (2014). *Guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre de diagnostics environnementaux*. 67p. Disponible sur http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_echantillonnage-avril_2014.pdf.

AGW du 15 juillet 2010. Arrêté du Gouvernement Wallon relatif à l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant. Disponible sur http://environnement.wallonie.be/legis/air/air063.htm.

AGW du 25 février 2016. Arrêté du Gouvernement Wallon modifiant le Livre II du Code de l'Environnement, contenant le Code de l'Eau, et relatif aux valeurs seuils appliquées pour l'évaluation de la qualité des masses d'eau souterraine. Disponible sur http://environnement.wallonie.be/legis/Codeenvironnement/codeR062.html.

Code de l'Environnement. Livre II. Code de l'Eau. Disponible sur http://environnement.wallonie.be/legis/menucode.htm

Cornelis C., Bierkens J. & Standaert A. (VITO). *S-Risk stoffenfiches (metalen en arseen ; BTEX, styreen en trimethylbenzenen ; chlooralifaten, chloorbenzenen en chloorfenolen ; polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's) ; hexaan, heptaan, octaan, MTBE en cyaniden ; oliefracties)*. Disponible sur https://www.s-risk.be/documents.

Cornelis C., Standaert A. & Willems H. (VITO). Février 2016. *S-Risk – Technical guidance document*. Rapport final. 174p. Disponible sur https://www.s-risk.be/documents.

Cornelis C., Standaert A., Daniels B. & Fierens T. (VITO). Novembre 2015. *S-Risk user manual*. 79p. Disponible sur https://www.s-risk.be/documents.

Delmelle P. (2004). *Cadre méthodologique pour l'évaluation des risques sanitaires liés à la présence de substances chimiques dans l'environnement*. Plate-forme scientifique Environnement – Santé (PEnSa). Institut Scientifique de Service Public (ISSeP). 23p.

ISSeP (2014). *Compendium Wallon des Méthodes d'Echantillonnage et d'Analyse* (CWEA). https://dps.environnement.wallonie.be/home/sols/sols-pollues/compendium-wallon-des-methodes-dechantillonnage-et-danalyse--cwea-.html

Lawrence, S.J. (2006). *Description, properties and degradation of selected volatile organic compounds detected in ground water- a review of selected literature : Atlanta, Georgia, U.S. Geological Survey*, Open-file report 2006-1338, 62 p., a web-only publication at http://pubs.usgs.gov/ofr/2006/1338/.

SPAQuE (2010). *Guide pour l'évaluation des risques santé humaine – eaux souterraines – écosystèmes*. Cahier de bonnes pratiques n°5. 250p.

U.S. EPA. (1998). *Technical protocol for evaluating natural attenuation of chlorinated solvents in groundwater*. Report EPA/600/R-98/128, 248 p.

U.S. EPA. (2000). *BIOCHLOR : Natural attenuation decision support system* – User's manual – version 1.0. Report EPA/600/R-00/008, 54 p.

Union Européenne (1998). Directive 98/84/CE du Conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. 23p. Disponible sur http://eur-lex.europa.eu/.

Union Européenne (2004). Directive 2004/107/CE du Parlement Européen et du Conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant. Disponible sur http://eur-lex.europa.eu/.

Union Européenne (2008). Directive 2008/50/CE du Parlement Européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. 44p. Disponible sur http://eur-lex.europa.eu/.

Annexes