

Annexe D2 : Procédure de calcul des VS_E pour les hydrocarbures aromatiques non halogénés, les hydrocarbures chlorés, les cyanures et les hydrocarbures pétroliers

Annexe D3 : Procédure de calcul des VSE pour les métaux lourds et les hydrocarbures aromatiques polycycliques

Version 05

Explicatif des sigles adoptés, acronymes et autres conventions de langage

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

ACR	Acute-to-Chronic Ratio
BCF	<i>Bio-Concentration Factor</i>
BMF	<i>Bio-Magnification Factor</i>
Cb	concentration de fond
CBP	Code de Bonnes Pratiques
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment
CEAEQ	Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec
CEC	Capacité d'Echange Cationique
CMA	Concentration Maximum Admissible
DMJP	Dose Maximale Journalière assimilable par ingestion
EC	Effect Concentration
eCEC	Capacité d'Echange Cationique Effective
ECHA	European Chemical Bureau
ECO-SSL	Ecological Soil Screening Levels
EFSA	European Food Safety Authority
EPA	Environmental Protection Agency
FPA	Fraction Potentiellement Affectée
HC	<i>Hazardous Concentration</i>
ICMM	International Council on Mining and Metals
LOEC	Lowest Observed Effect Concentration
MATC	Maximal Acceptable Toxicant Concentration
MAR	Maximum Acceptable Risk Level
MPC	Maximum Permissible Concentration
MPO	Micro-Polluants Organiques
NOEC	<i>No Observed Effect Concentration</i>
PNEC	Predicted No-Effect Concentration
QSAR	Quantitative Structure Activity Relationship
RAR	Risk Assessment Reports
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (Pays-Bas)
SC	Score de Confiance
SR _{Ceco}	Serious Risk Concentration
SSD	<i>Species Sensitivity Distribution</i> (courbe de distribution de sensibilité des espèces)
TGD	Technical Guidance Document
TNC	(Seuil limite pour) Terres Non Contaminées (AGW 14/06/2001)
TP	Taux de Protection
UCL	Université catholique de Louvain

Table des matières

Explicatif des sigles adoptés, acronymes et autres conventions de langage.....	2
Table des matières.....	3
Liste des figures.....	6
Liste des tableaux.....	7
Annexe D2 : Procédure de calcul des VSE pour les hydrocarbures aromatiques non halogénés, les hydrocarbures chlorés, les cyanures et les hydrocarbures pétroliers.....	8
1. Introduction.....	9
2. VSE pour les espèces et les processus biologiques du sol.....	10
2.1. Collecte et sélection des données d'écotoxicité.....	10
2.1.1. Données d'écotoxicité pour les espèces et les processus biologiques du sol.....	11
2.1.2. Données d'écotoxicité aquatiques.....	13
2.1.3. QSAR.....	13
2.1.4. Cas des hydrocarbures pétroliers.....	15
2.2. Ajustement des données d'écotoxicité pour les propriétés des sols.....	15
2.2.1. Cas des métaux.....	16
2.2.2. Cas des polluants organiques.....	18
2.3. VSE pour les espèces et les processus biologiques du sol.....	19
2.3.1. Présentation des méthodes d'extrapolation utilisées.....	19
2.3.1.1. Extrapolation statistique.....	19
2.3.1.2. Extrapolation par application de facteurs.....	21
2.3.1.3. Théorie de la partition à l'équilibre.....	21
2.3.2. Traitement des données avant extrapolation.....	22
2.3.3. Détermination des VSE pour les espèces et les processus biologiques du sol.....	22
2.3.3.1. Règle 1 – Traiter les données « espèces du sol » et « processus biologiques du sol » séparément.....	23
2.3.3.2. Règle 2 – Traitement des données lorsque $n_{\text{chronique-terrestre}} \geq 4$	23
2.3.3.3. Règle 3 - Traitement des données lorsque $n_{\text{chronique-terrestre}} < 4$	24
2.3.3.4. Règle 4 – Utilisation des QSAR.....	25
2.4. Correction pour les concentrations de fond dans le cas des métaux.....	26
3. VSE pour les espèces des niveaux trophiques supérieurs.....	27
3.1. Détermination des VSE.....	27
3.1.1. Oiseaux et mammifères.....	27
3.1.2. Herbivores pâturant.....	28
3.1.2.1. Dose Maximale Journalière Tolérable, DMJT (mg/j).....	28
3.1.2.2. Dose Maximale Journalière assimilable par Ingestion, DMJP (mg/j).....	29
3.1.2.3. Dose Journalière assimilable par ingestion de particules de Sol, DJS (mg/j).....	29
3.1.2.4. Dose journalière assimilable par ingestion de plantes, DPJ (mg/j).....	30
3.1.2.5. VSE : Concentration dans le sol associée à la DMJP (mg/kg m.s.).....	30
4. VSE pour la protection de l'écosystème.....	30
4.1. Détermination des VSE.....	31
4.1.1. Usages de types I et II.....	31
4.1.2. Usages de types III.....	31
5. Contaminants particuliers.....	31
5.1. Hydrocarbures pétroliers.....	31
5.2. Cyanures libres.....	32
6. Exemples d'application de la procédure de calcul des VSE à un polluant.....	34
6.1. Phénol.....	34

6.1.1.	Risques pour les espèces/processus terrestres.....	34
6.1.2.	Risques pour les processus biologiques du sol	34
6.1.3.	Traitement des données d'écotoxicité aquatique	34
6.1.4.	Risques pour les niveaux trophiques supérieurs	35
6.1.5.	Tableaux de calcul	35
7.	Données relatives aux calculs des VSE	37
	Annexe D3 : Procédure de calcul des VSE pour les métaux lourds et les hydrocarbures aromatiques polycycliques.....	75
1.	Développement détaillé de la méthodologie	76
1.1.	La méthode a ses origines dans les travaux et références suivantes :	76
1.2.	Principe général	77
1.3.	Étapes générales de la procédure	77
1.4.	Principale limitation	80
1.5.	Détail de l'étape 1 - Recherche et sélection des données écotoxicologiques pertinentes.....	81
1.5.1.	Recherche des données pertinentes.....	81
1.5.2.	Sélection des données.....	83
1.6.	Détail de l'étape 2 - Correction des données sélectionnées pour les effets de lessivage- vieillessement (Aging/Leaching Effect)	83
1.7.	Détail de l'étape 3 - Normalisation des données aux propriétés retenues pour le sol générique.	86
1.7.1.	Propriétés du sol générique prises comme référence	87
1.7.2.	Normalisation des données dans le cas des polluants organiques	88
1.7.3.	Normalisation des données dans le cas des polluants inorganiques	88
1.8.	Détail de l'étape 4 : Extrapolation à l'écosystème et recherche des valeurs de concentration critiques assurant un impact négligeable sur l'écosystème	89
1.8.1.	Procédure générale de traitement des données écotoxicologiques ajustées	89
1.8.2.	Détail de la procédure	91
1.8.3.	Non correction des HC _x pour les facteurs d'évaluation (« assessment factor » selon les recommandations méthodologiques du TGD).....	98
1.8.4.	Détermination des HC _x pour les espèces des niveaux trophiques supérieurs (empoisonnement secondaire)	98
1.8.5.	Considération générale des HC _x et des valeurs CMA issues des calculs de l'empoisonnement secondaire dans l'élaboration des propositions finales de VSE révisées.....	100
1.9.	Attribution d'un score de confiance (SC) sur les valeurs HC _x finales	101
1.10.	Justification des choix portés à propos des valeurs des paramètres sensibles à caractère stratégique et conventionnels : HC _(100-TP%) , Cb et ϕ	102
2.	Résultats	104
2.1.	Résultats pour les métaux lourds	104
2.1.1.	Cuivre.....	104
2.1.2.	Nickel	105
2.1.3.	Plomb	106
2.1.4.	Zinc.....	107
2.1.5.	Arsenic	108
2.1.6.	Cadmium	109
2.1.7.	Chrome	110
2.1.8.	Mercure.....	111
2.2.	Résultats pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques	112
2.2.1.	Benzo(a)pyrène	112
2.2.2.	Benzo(b)fluoranthène	113
2.2.3.	Chrysène	114

2.2.4.	Fluoranthène	115
2.2.5.	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	116
2.2.6.	Phénanthrène	117
2.2.7.	Acénaphène.....	118
2.2.8.	Acénaphylène	119
2.2.9.	Anthracène	120
2.2.10.	Benzo(a)anthracène.....	121
2.2.11.	Benzo(g,h,i)pérylène.....	122
2.2.12.	Benzo(k)fluoranthène.....	123
2.2.13.	Dibenzo(a,h)anthracène	124
2.2.14.	Fluorène	125
2.2.15.	Naphtalène	126
2.2.16.	Pyrène	127

Liste des figures

FigTableauure 1 : Démarche d'élaboration des VSE pour les espèces et les processus biologiques du sol.....	10
Figure 2 : Étape 1 : Le nombre de données chronique terrestre est-il supérieur à 4 ?	23
Figure 3 : Étape 2 : Comment traiter les données lorsque le nombre de données chronique terrestre est supérieur à 4 ?	25
Figure 4 : Représentation graphique d'une courbe « concentration – réponse » issue d'un test écotoxicologique avec report de quelques points-limites : NOEC (No Observed Effect Concentration) : la concentration sans effet observé correspondant à la plus forte des concentrations testées (dans un essai concentrations-réponses) à laquelle aucun effet sur l'organisme vivant n'a été observé ; ECx (Effect Concentration x %) correspondant à la concentration en polluant qui engendre un effet sur x % de la population par rapport aux échantillons témoins non soumis au polluant. (Source : Payetr, J. & Hugonnot, AiiDA, guide méthodologique version 1.1.).....	78
Figure 5 : Exemple d'une courbe SSD cumulative. L'axe X représente la concentration du point-limite écotoxicologique considéré (NOEC ou EC ₁₀) des différentes espèces constitutives d'un groupe taxonomique donné ; l'axe Y représente la fraction potentiellement affectée (FPA) des différentes espèces constitutives du groupe taxonomique considéré.	80
Figure 6 : Photo du dessus : croissance de l'orge mesurée sur un sol pollué en zinc dans les conditions de terrain : tests de concentrations croissantes obtenues en mélangeant (dans des rapports pondéraux décroissants de gauche à droite) le sol pollué avec du sol de nature équivalente non pollué. Photo du dessous : croissance de l'orge mesurée sur un sol pollué en zinc à des concentrations croissantes par l'ajout de ZnCl ₂ . La différence entre les deux photos montre la toxicité réduite du zinc existant dans les conditions de terrain relativement à celle du zinc introduit sous forme de sel. (Figure reprise de SNOWMAN (2014), cf. 2.1. (3) ci-dessus).	83
Figure 7 : Gammes de variation des valeurs empiriques des facteurs (A/L) Ageing/Leaching mesurés sur une série de 3 (Co, Zn, Ni, Pb) à 7 (Cu) sols sur lesquels ont été effectués entre 3 (Pb) et 9 (Co) tests écotoxicologiques différents. (Figure reprise de Smolders et al. (2009), cf. 2.1. (3) ci-dessus).....	84
Figure 8 : Exemple de classification taxonomique pour l'espèce Daphnia magna.	91

Liste des tableaux

Tableau 1 – QSAR proposés par van Leeuwen et al. (1992) pour les contaminants au mode d'action par narcose, non spécifique.....	14
Tableau 2 – Valeurs des VS_E pour les espèces et les processus du sol selon les types d'usages.	24
Tableau 3 – Extrapolation par application de facteurs en fonction du niveau de protection souhaité.	24
Tableau 4 – VS_E pour les fractions aliphatiques et aromatiques des hydrocarbures pétroliers, exprimées en mg/kg m.s.	32
Tableau 5 – VS_E pour les cyanures libres en mg/kg m.s.	32
Tableau 6 : Valeurs du paramètre (A/L) proposées pour la correction des données brutes (Valeurs issues).....	85
Tableau 7 : Propriétés du sol générique (valeurs reprises du GRER v03 – partie B).....	87
Tableau 8 : Propriétés utilisées pour la correction des données pour la biodisponibilité (repris du rapport MERAG (cf. 2.1.1 (3)) ainsi que de l'outil « Metal_PNECsoil_calculator_v4_1.xlsm »)....	88
Tableau 9 : Facteurs à appliquer aux données d'écotoxicité distingués en fonction des niveaux de protection souhaités de 80 %, 60 % (et à titre orientatif (en gris) : 95 %, 90 % et 50 %) et des espèces potentiellement présentes et des processus microbiens normalement attendus dans le sol générique.	93
Tableau 10 : Valeurs empiriques des facteurs estimateurs des valeurs des percentiles 50, 40, 20, 10, et 5 déduites des courbes SSD relatives au Pb (processus) et au Zn (processus). Les valeurs correspondent au quotient entre la moyenne géométrique et la valeur du percentile – X déduit du traitement statistique de la courbe SSD. Les facteurs estimateurs finaux sont déduits de la moyenne des valeurs empiriques, après arrondi. Il s'agit des valeurs par lesquelles il faut diviser la moyenne géométrique pour avoir une estimation du percentile - X.....	94
Tableau 11 : Valeurs moyennes et percentiles-90 (en mg/kg _{sol sec}) déduites des teneurs moyennes en métaux dans les 163 profils échantillonnés dans le cadre de la convention POLLUSOL. Les teneurs moyennes dans les profils échantillonnés correspondent aux concentrations mesurées dans les différents horizons pondérées par la hauteur de ceux-ci (SPAQuE, 2004). .	96
Tableau 12 : Critères pour l'attribution d'un score SC qualifiant le degré de confiance à accorder aux valeurs calculées des paramètres HC_x d'après l'état des données écotoxicologiques disponibles dans la littérature.....	101

Annexe D2 : Procédure de calcul des VSE pour les hydrocarbures aromatiques non halogénés, les hydrocarbures chlorés, les cyanures et les hydrocarbures pétroliers

1. Introduction

L'interprétation des concentrations en contaminants dans les sols repose sur l'utilisation de valeurs seuil (VS). Les valeurs seuil VS_E sont spécifiques à la protection des écosystèmes et sont utilisées dans les évaluations des risques à l'écosystème, pour s'assurer de l'absence d'un stress significatif pour les récepteurs biologiques.

La VS_E est définie comme la concentration en polluant dans le sol au-delà de laquelle les risques pour les espèces et les processus biologiques du sol sont susceptibles d'être inacceptables.

Les VS_E correspondent à des niveaux de protection des espèces et des processus biologiques qui diffèrent selon le type d'affectation ou d'usage du sol :

Type I, naturel : protection de 80 % des récepteurs biologiques;

Type II, agricole : protection de 80 % des récepteurs biologiques;

Type III, résidentiel : protection de 60 % des récepteurs biologiques;

Plusieurs méthodologies ont été développées pour établir des valeurs seuil ou des concentrations critiques en agents polluants dans les sols. La plupart consiste à estimer la sensibilité des écosystèmes à un agent polluant donné à partir de données d'écotoxicité monospécifiques ou relatives à des processus biologiques du sol (e.g., la respiration microbienne, la minéralisation de l'azote). Ces données, recensées dans la littérature, sont généralement issues d'études ayant permis de définir des relations « concentration – effet » pour différentes espèces présentes dans les écosystèmes terrestres. Pour la plupart, elles proviennent de tests pratiqués en laboratoire sur des échantillons de sol artificiellement enrichis en agents polluants. Ces données sont ensuite extrapolées à l'écosystème.

La procédure retenue par SPAQuE S.A. pour le calcul des VS_E est largement inspirée de l'approche développée par le RIVM¹ (Pays-Bas) pour le calcul des *Serious Risk Concentration for the ecosystem* (SR_{eco} ; RIVM, 1998; Traas, 2001; Verbruggen *et al.*, 2001). Le choix de l'approche néerlandaise se justifie d'une part par l'expérience acquise par le RIVM dans cette matière, et d'autre part, par les possibilités d'intégrer les options prises dans le cadre des travaux d'élaboration du Décret sols wallon, à savoir :

- la distinction entre cinq types d'usage du sol auxquels sont associés huit sols standards (plus un remblai standard) présentant des propriétés distinctes (**Annexe B3**, Partie B : Méthodologie pour l'évaluation des risques à la santé humaine -CWBPV01).

Contrairement aux SR_{eco} néerlandaises calculées pour un seul sol standard et un seul niveau de risque, les VS_E sont calculées pour trois types d'usage auxquels sont associés des propriétés du sol, des types et des niveaux de risque différents.

¹ Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, Pays-Bas.

La méthodologie utilisée pour établir les VS_E comprend trois étapes :

- détermination des VS_E pour les espèces et les processus biologiques du sol (section 2 de la présente annexe);
- détermination des VS_E pour les espèces des niveaux trophiques supérieurs (oiseaux, mammifères) (section 3 de la présente annexe);
- détermination des VS_E pour la protection de l'écosystème (section 4 de la présente annexe).

Chacune de ces étapes est décrite dans la suite de ce document.

2. VS_E pour les espèces et les processus biologiques du sol

La Figure 1 présente la démarche générale qui a été utilisée pour générer les valeurs des VS_E pour les espèces et les processus biologiques du sol. Chaque étape est détaillée dans les sections suivantes.

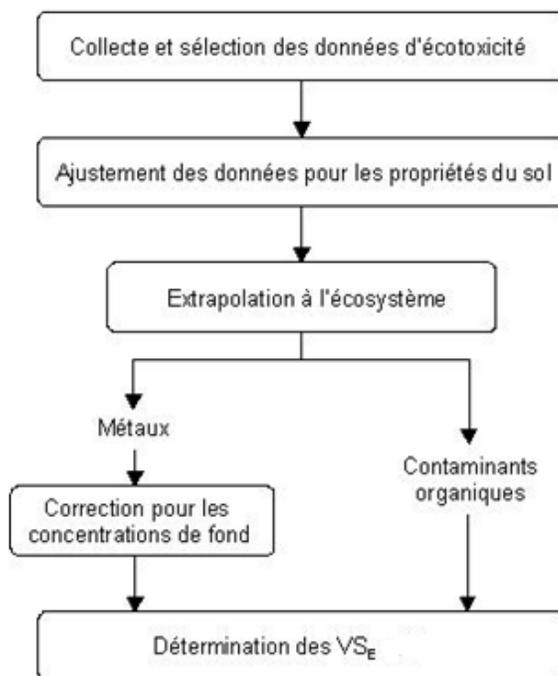


Figure 1 : Démarche d'élaboration des VS_E pour les espèces et les processus biologiques du sol.

2.1. Collecte et sélection des données d'écotoxicité

Cette étape consiste en la recherche et la sélection dans la littérature scientifique de données d'écotoxicité relatives au polluant considéré concernant, d'une part, les espèces du sol (plantes et invertébrés) et, d'autre part, les processus biologiques du sol.

2.1.1. Données d'écotoxicité pour les espèces et les processus biologiques du sol

Comme les effets d'un agent polluant sur les espèces et sur les processus biologiques du sol sont très différents, ces deux catégories de données sont traitées séparément pour donner une concentration critique qui servira à déterminer une VS_E pour les espèces et les processus biologiques du sol. Ainsi, les données d'écotoxicité recherchées sont les suivantes :

- (1) les données relatives à la sensibilité directe des espèces vivant dans le sol (plantes, invertébrés du sol), qui expriment l'effet d'un agent polluant sur une espèce particulière et sont essentiellement des données d'écotoxicité rapportées pour des tests écotoxicologiques monospécifique, avec une mono-contamination;
- (2) les données relatives aux processus biologiques du sol (nitrification, respiration, activité de l'ATPase, de la phosphatase, de l'uréase, etc.), qui traduisent l'effet d'un agent polluant sur les fonctions biologiques du sol.

Les données d'écotoxicité sont essentiellement recherchées dans les sources suivantes :

- travaux du RIVM, en particulier les rapports techniques de Denneman & Van Gestel, 1990; van de Meent *et al.*, 1990; Crommentuijn *et al.*, 1997; Verbruggen *et al.*, 2001;
- mise à jour des données du RIVM, réalisée par le VITO² pour les métaux (Goyvaerts & Cornelis, 1997);
- base de données ECOTOX de l'US EPA³, rassemblant les bases de données AQUIRE, PHYTOTOX et TERRETOX. Actuellement, la base de données ECOTOX ne contient que des données relatives aux effets sur les espèces et non sur les processus biologiques du sol;
- travaux du ORNL⁴ (Efroymsen *et al.*, 1997a; Efroymsen *et al.*, 1997b; Sample *et al.*, 1996);
- travaux de la Danish EPA (Scott-Fordsmand & Pedersen, 1995; Jensen & Folker-Hansen, 1995; Jensen *et al.*, 1997);
- fiches toxicologiques de l'INERIS⁵.

Les critères de sélection suivant s'appliquent lors de la recherche des données :

- (1) Pour les organismes, il est nécessaire de collecter des données de différents groupes taxonomiques. En effet, le choix de la méthode de détermination des VS_E dépend du nombre de groupes d'espèces pour lesquelles on dispose de données d'écotoxicité. En effet, on peut supposer que des espèces proches du point de vue anatomique et physiologique répondent de façon semblable à la présence d'un polluant. Pour exemple, Crommentuijn *et al.* (1994) et

² Vlaamse Instelling voor Technologische Onderzoek.

³ United States Environmental Protection Agency.

⁴ Oak Ridge National Laboratory, USA.

⁵ Institut National de l'Environnement industriel et des Risques, France.

Traas (2001) proposent la classification précisée dans l'encadré 1. Cette classification ne suit pas *stricto sensu* la classification taxonomique.

Encadré 1 – Groupes d'espèces selon Crommentuijn *et al.* (1994) et Traas (2001)

Bactéries	Annélides
Protozoaires	Arachnides
Macrophytes	Insectes
Fungi	Diplopodes
Platyhelminthes	Chilipodes
Nématodes	Isopodes

- (2) Pour les processus biologiques du sol, il convient de disposer de plus d'une donnée par processus.
- (3) Les données d'écotoxicité chronique⁶ telles que les NOEC (*No Observed Effect Concentration*) et les EC₁₀ (*Effect Concentration 10 %*) sont privilégiées par rapport aux données d'écotoxicité aiguë⁷ : EC₅₀ (*Effect Concentration 50 %*) et LC₅₀ (*Lethal Concentration 50 %*).
- (4) Lorsque l'on dispose de moins de 4 données d'écotoxicité chronique (NOEC et EC₁₀) pour des groupes d'espèces différents, les données d'écotoxicité aiguë (EC₅₀ et LC₅₀) sont recherchées.
- (5) Les études dont sont issues les données d'écotoxicité doivent fournir les caractéristiques physico-chimiques du sol pour permettre l'ajustement des données aux trois sols standards. Minimale pour les métaux : pH, contenu en argile (% A), teneur en matière organique (% M.O.), capacité d'échange cationique (CEC)⁸. Minimale pour les polluants

⁶ Issues de tests écotoxicologiques réalisés sur une longue période par rapport à la durée de vie des organismes et caractérisant l'effet potentiel à long terme des polluants.

⁷ Issues de tests écotoxicologiques réalisés sur une courte période par rapport à la durée de vie des organismes et caractérisant l'effet potentiel à court terme des polluants.

⁸ Si la CEC n'est pas disponible, elle peut être estimée par la relation empirique suivante (Halen, 1993) : $CEC = 1,8 + 1,6 * \%M.O. + 0,21 * \%A$ (%M.O. : % matière organique ; %A : % argiles).

organiques : pH (particulièrement pour les polluants organiques ionisants) et teneur en matière organique (% M.O.).

2.1.2. Données d'écotoxicité aquatiques

Les données d'écotoxicité chronique et aiguë relatives aux organismes aquatiques d'eau douce et d'eau de mer sont recherchées :

- si le nombre de données d'écotoxicité chronique relatives à des espèces ou des processus du sol, est inférieur à 4 :
- si les données d'écotoxicité terrestre ne sont pas disponibles.

Les recherches sont effectuées dans les sources identifiées pour les données d'écotoxicité pour les espèces du sol à l'aide des critères de sélection (1) et (3) (section 2.1.1).

2.1.3. QSAR

Pour les polluants organiques, lorsqu'aucune donnée d'écotoxicité n'est disponible ou lorsque le nombre de données d'écotoxicité aquatique est inférieur à 4 (chronique ou aiguë), les *Quantitative Structure-Activity Relationships* (QSAR) sont utilisés. Ceux-ci établissent des corrélations entre la toxicité chronique pour les espèces aquatiques d'un polluant particulier et un ou plusieurs paramètres caractérisant ce composé (e.g., le coefficient de partition octanol-eau K_{ow}). Ces relations sont établies pour des composés au mode d'action similaire.

Les QSAR qui sont utilisés sont ceux développés par van Leeuwen *et al.* (1992) pour les contaminants ayant un mode d'action non spécifique (appelé narcose), uniquement lié à leur hydrophobicité, dont le log K_{ow} est compris entre 0 et 5-6 (RIVM, 1998). Le Tableau 1 présente les 19 équations proposées pour prédire les effets chroniques (NOEC) de ce type de contaminants sur des espèces représentant différents niveaux trophiques.

Tableau 1 – QSAR proposés par van Leeuwen et al. (1992) pour les contaminants au mode d'action par narcose, non spécifique.

Espèces	QSAR
Bactéries	
Clostridium botulinum	$\log \text{NOEC} = - 0,82 \cdot \log \text{Kow} - 0,29$
Bacillus subtilis	$\log \text{NOEC} = - 0,64 \cdot \log \text{Kow} - 2,03$
Pseudomonas putida	$\log \text{NOEC} = - 0,64 \cdot \log \text{Kow} - 1,60$
Photobacterium phosphorum	$\log \text{NOEC} = - 0,68 \cdot \log \text{Kow} - 1,52$
Algues	
Skeletonema costacum	$\log \text{NOEC} = - 0,72 \cdot \log \text{Kow} - 1,42$
Scenedesmus subspicatus	$\log \text{NOEC} = - 0,86 \cdot \log \text{Kow} - 1,41$
Selenastrum capricornutum	$\log \text{NOEC} = - 1,00 \cdot \log \text{Kow} - 1,71$
Champignons	
Saccharomyces cerevisiae	$\log \text{NOEC} = - 0,78 \cdot \log \text{Kow} - 0,35$
Protozoaires	
Tetrahymena pyriformis	$\log \text{NOEC} = - 0,80 \cdot \log \text{Kow} - 1,28$
Coelentérés	
Hydra oligactis	$\log \text{NOEC} = - 0,86 \cdot \log \text{Kow} - 2,05$
Mollusques	
Lymnaea stagnalis	$\log \text{NOEC} = - 0,86 \cdot \log \text{Kow} - 2,08$
Arthropodes	
Nitocra spinipes	$\log \text{NOEC} = - 0,78 \cdot \log \text{Kow} - 2,14$
Daphnia magna	$\log \text{NOEC} = - 1,04 \cdot \log \text{Kow} - 1,70$
Aedes aegypti	$\log \text{NOEC} = - 1,09 \cdot \log \text{Kow} - 1,36$
Culex pipiens	$\log \text{NOEC} = - 0,86 \cdot \log \text{Kow} - 1,98$
Poissons	
Pimephales promelas / Brachydanio rerio	$\log \text{NOEC} = - 0,87 \cdot \log \text{Kow} - 2,35$
Amphibiens	
Ambystoma mexicanum	$\log \text{NOEC} = - 0,88 \cdot \log \text{Kow} - 1,89$
Rana temporaria	$\log \text{NOEC} = - 1,09 \cdot \log \text{Kow} - 1,47$
Xenopus laevis	$\log \text{NOEC} = - 0,90 \cdot \log \text{Kow} - 1,79$

2.1.4. Cas des hydrocarbures pétroliers

Dans le cas précis des fractions constitutives des hydrocarbures pétroliers, qu'elles soient considérées globalement (mélange des constituants aliphatiques et aromatiques sur base de leur Equivalence Carbone, EC⁹) ou spécifiquement (fractions aliphatiques ou aromatiques exprimées en EC), le manque de données d'écotoxicité propres à ces fractions, et donc l'impossibilité d'appliquer rigoureusement la présente méthodologie, a conduit à évaluer d'autres approches méthodologiques pour obtenir des valeurs réalistes de VS_E.

La section 5.1 de ce document présente l'approche qui a été utilisée pour déterminer des VS_E pour les hydrocarbures pétroliers.

2.2. Ajustement des données d'écotoxicité pour les propriétés des sols

Selon la nature et les propriétés du sol (le pH, la teneur et le type de matière organique et de minéraux argileux, la CEC, le contenu en oxy-hydroxydes de fer, etc..) et selon l'organisme considéré, la fraction biodisponible d'un contaminant varie. Cette fraction biodisponible peut être définie comme la fraction d'un contaminant présente dans un sol, qui peut être adsorbée par un organisme vivant, puis, potentiellement, induire un stress voir un effet toxique. Selon les caractéristiques des sols, le contaminant se répartira différemment entre les phases liquide, solide et gazeuse du sol. Cette répartition se fait suivant des réactions physico-chimiques (hydrolyse, complexation, précipitation, adsorption, volatilisation, etc.) de nature différente qui peuvent être réversibles ou non. Selon ces réactions, le contaminant peut devenir non accessible pour les organismes, c'est à dire non biodisponible.

Les données d'écotoxicité issues de la littérature sont obtenues dans des conditions expérimentales généralement très différentes et qui ne correspondent pas nécessairement aux propriétés des sols pour lesquels sont déterminées les VS_E. Ces données sont donc difficilement comparables entre elles du fait des différences de biodisponibilité des contaminants. Ce problème peut être contourné en ajustant les données d'écotoxicité «brutes» pour tenir compte de l'influence des propriétés du sol sur la biodisponibilité des polluants dans le sol.

⁹ Le nombre d'équivalent carbone (EC) d'un composé organique donné fournit le nombre d'atomes de carbone d'un n-alcane hypothétique qui aurait le même point d'ébullition et le même temps de rétention dans une colonne chromatographique que celui dudit composé organique.

2.2.1. Cas des métaux

L'ajustement des données d'écotoxicité pour les métaux¹⁰ est réalisé en utilisant l'égalité suivante :

$$data_{aj} = data_{exp} \times \frac{Kd_{aj}}{Kd_{exp}}$$

avec :

- data_{aj} [mg/kg_{sol}] : la donnée d'écotoxicité ajustée aux conditions du sol pour lequel se fait le calcul de VSE;
- data_{exp} [mg/kg_{sol}] : la donnée d'écotoxicité « brute » (résultat expérimental);
- K_{daj} [L/kg_{sol}] : la valeur estimée du coefficient de distribution correspondant aux conditions du sol pour lequel se fait le calcul de VSE;
- K_{dexp} [L/kg_{sol}] : la valeur estimée du coefficient de distribution correspondant aux conditions expérimentales.

L'estimation du coefficient de distribution (K_d) se fait à partir des propriétés du sol à l'aide d'équations de régression établies via des résultats d'analyse de sols pollués. A partir des valeurs de paramètres, tels que le pH, les teneurs en matière organique et en argile ainsi que la concentration en métal qui caractérisent les conditions expérimentales du test d'écotoxicité, ces équations de régression fournissent une estimation du K_{d_{exp}}, soit le K_d aux conditions expérimentales. De même, à partir des valeurs des paramètres qui caractérisent le sol pour lequel on recherche les valeurs de V_{SE}, les équations fournissent une estimation du K_{d_{aj}}, soit le K_d ajusté aux conditions du sol pour lequel on recherche les valeurs de V_{SE}. Les procédures permettant d'établir ces K_d sont précisées dans l'annexe C 3.1 de la Partie C : Méthodologie pour l'évaluation des risques à l'eau souterraine.

Lors de l'utilisation des équations de régression, il est vérifié que les valeurs des inputs (pH, % A, % M.O., CEC, etc.) sont comprises dans la gamme de validité de ces équations (annexe C 3.1 de la Partie C : Méthodologie pour l'évaluation des risques à l'eau souterraine). Dans le cas contraire, les données corrigées sur base de K_d estimés devront être considérées avec circonspection et seront au besoin écartées.

¹⁰ La justification de la méthode d'ajustement retenue est disponible dans l'encadré 2.

Encadré 2 – Quelle méthode d'ajustement utiliser pour les données d'écotoxicité relatives aux métaux ?

Plusieurs approches d'ajustement des données d'écotoxicité pour les métaux ont été évaluées pour répondre aux besoins des VS_E .

L'approche néerlandaise d'ajustement des données relatives aux métaux fait appel à des relations empiriques obtenues par analyse des corrélations entre les concentrations de fond en métaux et les teneurs en matière organique et en argile dans les sols (Edelman, 1984, cité par Traas, 2001). Cette approche n'a pas été retenue. En effet, cette méthode se base sur des relations établies à partir de données concernant des sols non-pollués, ce qui pose la question de son bien fondé dans le cas des sols utilisés lors des tests d'écotoxicité, qui sont généralement artificiellement enrichis à des concentrations dépassant largement les concentrations de fond. D'autre part, les seuls paramètres pris en compte dans les formules de correction sont les teneurs en matière organique et en argile. Or ces paramètres sont insuffisants pour rendre compte de la disponibilité des métaux présents dans les sols. Le pH notamment est un paramètre majeur non considéré. Divers travaux du RIVM concernant des essais de validation des seuils écotoxicologiques considérés aux Pays-Bas soulignent l'importance d'améliorer les formules d'ajustement des données utilisées actuellement pour mieux prendre en compte la biodisponibilité des métaux, que ce soit en faisant intervenir le pH (Posthuma *et al.*, 1998) ou un K_d estimé à partir des propriétés du sol (van den Hoop, 1995). Cependant, même dans les travaux récents de mise à jour de l'approche néerlandaise (Traas, 2001), aucune alternative n'est proposée.

Ainsi, deux autres approches d'ajustement des données d'écotoxicité « brutes » ont été évaluées afin de tenir compte de l'influence des propriétés du sol sur la biodisponibilité des métaux pour déterminer les valeurs de VS_E :

- ajustement des données d'écotoxicité en utilisant le coefficient de distribution (K_d) du métal entre les phases solide et liquide ;
- ajustement des données d'écotoxicité en utilisant la fraction de métal extractible par une solution de chlorure de calcium $CaCl_2$ diluée.

Dans les deux cas, l'ajustement repose sur des relations empiriques entre les propriétés du sol (pH, teneurs en matière organique et argile, etc.) et le K_d ou la fraction extractible par une solution diluée de $CaCl_2$. Cette approche repose sur l'hypothèse que les propriétés du sol influencent les niveaux de réponse des organismes comme elles influencent le K_d ou la fraction extractible par $CaCl_2$. Il ressort de ces comparaisons (document SPAQuE S.A. non publié), une efficacité supérieure de la formule d'ajustement basée sur le coefficient de distribution du métal entre les phases solide et liquide (K_d). C'est donc cette méthode qui a été retenue pour ajuster les données d'écotoxicité pour la détermination des VS_E .

2.2.2. Cas des polluants organiques

L'approche néerlandaise a été utilisée pour l'ajustement des données d'écotoxicité relatives aux polluants organiques. Cette méthode est basée sur les teneurs en matière organique des sols expérimentaux et standards et utilise l'égalité suivante :

$$data_{aj} = data_{exp} \times \frac{MO_{aj}}{MO_{exp}}$$

avec :

$data_{aj}$ [mg/kg_{sol}] : la donnée d'écotoxicité ajustée aux conditions du sol pour lequel se fait le calcul de VS_E ;

$data_{exp}$ [mg/kg_{sol}] : la donnée d'écotoxicité (résultat expérimental);

MO_{aj} [%] : la teneur en matière organique dans le sol standard pour lequel se fait le calcul de VS_E ;

MO_{exp} [%] : la teneur en matière organique dans le sol utilisé lors de la mesure expérimentale.

Cette formule d'ajustement est similaire à celle proposée pour les métaux. En effet, le coefficient de distribution (K_p ¹¹) des polluants organiques entre les phases solide et liquide est fonction de l'affinité du polluant pour la matière organique (hydrophobicité plus ou moins marquée, mesurée par le coefficient de partition carbone organique-eau K_{oc}), de la fraction de carbone organique présent dans le sol (f_{oc}) et de la fraction dissociée du polluant au pH du sol dans le cas des polluants organiques ionisants :

$$K_p = K_{oc} \times f_{oc} \times f_{nd}$$

avec :

K_p [L/kg_{sol}] : coefficient de partition entre les phases solide et liquide;

K_{oc} [L/kg_{carbone}] : coefficient de partition carbone organique-eau;

f_{oc} [-] : fraction de carbone organique dans le sol;

f_{nd} [-] : fraction non-dissociée qui prend la valeur de « 1 » pour les composés non-ionisants et la valeur de « $1 / (1 + 10^{(pH-pK_a)})$ » dans le cas des composés ionisants.

¹¹ Par convention, le coefficient de distribution entre les phases solide et liquide est symbolisé par K_d dans le cas des métaux et K_p dans le cas des polluants organiques.

Le rapport Kp_{aj}/Kp_{exp} est donc équivalent au rapport des teneurs en matière organique, qu'elles soient exprimées sous forme de f_{oc} ou de % M.O¹².

2.3. VS_E pour les espèces et les processus biologiques du sol

Pour estimer les VS_E pour les espèces et les processus biologiques du sol, il est nécessaire d'utiliser des méthodes d'extrapolation des données d'écotoxicité à l'écosystème. Trois méthodes d'extrapolation ont été retenues : l'extrapolation statistique, l'extrapolation par application de facteurs et la théorie de la partition à l'équilibre. Ces méthodes sont présentées à la section 2.3.1.

Afin d'harmoniser la procédure utilisée entre les différents polluants, les données d'écotoxicité sont transformées selon les règles présentées à la section 2.3.2, avant l'application des méthodes d'extrapolation. Le choix de la méthode d'extrapolation à appliquer pour déterminer les VS_E dépend du nombre et du type de données d'écotoxicité disponibles tel que précisées à la section 2.3.3.

2.3.1. **Présentation des méthodes d'extrapolation utilisées**

2.3.1.1. Extrapolation statistique

La méthode d'extrapolation statistique retenue (Denneman et Van Gestel, 1990; van de Meent *et al.*, 1990; Aldenberg & Slob, 1993) repose sur le principe suivant : en utilisant au minimum 4 données d'écotoxicité chronique qui concernent des groupes d'espèces différents (au sens précisé au point 2.1.1) ou des processus biologiques du sol différents, il est possible de prédire, pour une concentration, la proportion des espèces normalement présentes dans le sol qui ne sera pas affectée par un polluant donné.

Le traitement statistique des données repose donc sur l'hypothèse que les espèces analysées représentent un échantillon sans biais des populations d'organismes susceptibles d'être présentes dans n'importe quel écosystème terrestre. Ce traitement statistique utilise le modèle de Aldenberg et Slob (1993) supposant une distribution log-logistique des données d'écotoxicité (et non celui de

¹² Pour la conversion entre ces valeurs, on considère que la matière organique est constituée de 58% de C. Se référer au Compendium wallon des méthodes d'échantillonnage et d'analyse (CWEA) pour la méthodologie analytique en vigueur en Région wallonne.

Aldenberg et Jaworska (2000) supposant une distribution log-normale, actuellement utilisé aux Pays-Bas¹³).

Le pourcentage (p) des espèces non protégées à une concentration donnée (Cs) est ainsi calculé au moyen de la relation suivante (Aldenberg et Slob, 1993; Aldenberg, 1993) :

$$p(Cs) = \frac{100}{1 + e^{\left(\frac{\alpha - \log Cs}{\beta}\right)}}$$

avec :

α = la moyenne des valeurs de log NOEC;

$$\beta = \frac{\sigma\sqrt{3}}{\pi} ;$$

σ = la déviation standard des log NOEC.

De façon pratique, l'équation ci-dessus a été transposée dans le programme ETX 1.3, développé par Aldenberg (1993). Ce programme fournit à partir des données NOEC et avec un intervalle de confiance de 50 % :

- les concentrations dans le sol correspondant à des niveaux fixés de protection des espèces ou des processus biologiques du sol. Ces concentrations sont notées HCx¹⁴ où x est le pourcentage d'espèces non protégées;
- les niveaux de protection des espèces ou des processus biologiques du sol attendus pour des concentrations en polluant dans le sol définies par l'utilisateur.

L'avantage du programme ETX 1.3 est de pouvoir adapter le niveau de protection des espèces et des processus biologiques au type d'usage du sol, ainsi qu'en fonction de la finalité du seuil de concentration calculé. Les détails sur la mise en œuvre de la méthode pour le calcul de VS_E sont exposés au point 2.3.2. et 2.3.3.

¹³ Les différences entre ces deux distributions sont marginales (Verbruggen *et al.*, 2001). De plus, pour des échantillons de petite taille, ce qui est généralement le cas dans la problématique qui nous occupe, il n'y a pas de justification statistique ou théorique au choix d'une distribution normale plutôt que logistique (Traas, 2001).

¹⁴ Hazardous concentration.

2.3.1.2. Extrapolation par application de facteurs

La méthode d'extrapolation par application de facteurs consiste à appliquer un facteur de sécurité aux données d'écotoxicité disponibles¹⁵. Ce facteur est appliqué soit à la moyenne géométrique des données, soit à la valeur la plus faible, selon le nombre et le type de données disponibles. La valeur du facteur dépend du nombre et du type de données (écotoxicité aiguë ou chronique).

Cette méthode est basée sur l'hypothèse qu'il y a une différence constante et identique entre toxicité aiguë et chronique et entre la sensibilité d'une espèce (laboratoire) et celle de l'écosystème. On peut donc faire l'extrapolation d'une donnée de toxicité aiguë (EC, LC) à une donnée de toxicité chronique (NOEC) et de la plus faible valeur de toxicité chronique (NOEC) à la situation de terrain en appliquant un même facteur pour chaque extrapolation.

Encadré 3 – Extrapolation par application de facteurs aux Pays-Bas

Aux Pays-Bas, la méthode a été simplifiée pour la détermination des Serious Risk Concentration for the ecosystem SRCeco (Traas, 2001). Elle consiste à diviser par un facteur 10 (acute-to-chronic ratio ou ACR) la moyenne géométrique des données d'écotoxicité aiguë de type EC50 et LC50. C'est cette méthode simplifiée qui a été adaptée pour déterminer les VSE en tenant compte de niveaux de protection des espèces et des processus biologiques différents selon le type d'affectation du sol (section 2.3.3.3).

2.3.1.3. Théorie de la partition à l'équilibre

Lorsqu'aucune donnée d'écotoxicité relative à des espèces ou des processus biologiques du sol n'est disponible, la procédure prévoit le recours à la théorie de la partition à l'équilibre qui consiste à estimer les concentrations critiques dans le sol à partir de données d'écotoxicité relatives à des organismes aquatiques.

Cette méthode se fonde sur les hypothèses suivantes :

- (1) la biodisponibilité, la bioaccumulation et la toxicité sont étroitement associées aux concentrations en polluants dans l'eau poreuse;

¹⁵ Méthode utilisée, aux Pays-Bas, pour déterminer les *Maximum Permissible Concentrations* (MPC) : concentrations correspondant à un objectif de protection de 95 % des espèces et des processus du sol. Aux Pays-Bas, les MPC sont divisés par 100 pour donner les *Negligible Concentrations* (NC) à partir desquelles sont dérivées les *Target Values*.

- (2) la sensibilité des organismes aquatiques est comparable à celle des organismes terrestres;
- (3) un équilibre existe entre les concentrations en polluant adsorbé sur la phase solide et présent en solution, et ces concentrations sont reliées par un coefficient de partition.

Les concentrations critiques établies pour l'eau à partir de données d'écotoxicité aquatique sont multipliées par le coefficient de partition du polluant entre les phases solide et liquide (cf sections 2.2 et 2.3.3).

2.3.2. Traitement des données avant extrapolation

Avant extrapolation à l'écosystème, les données d'écotoxicité doivent être transformées. La liste ci-dessous précise les règles à suivre pour ce faire :

- (1) Les données d'écotoxicité relatives à une même espèce (plantes ou invertébrés du sol), à un même paramètre d'effet et à une même durée d'exposition sont regroupées en calculant la moyenne géométrique, de sorte que pour une espèce, un paramètre d'effet et une durée d'exposition, une seule valeur intervient lors de l'extrapolation des données à l'écosystème.
- (2) Lorsque l'on dispose, pour une même espèce, de données équivalentes (soit des NOEC ou EC₁₀, soit des EC₅₀ ou des LC₅₀) concernant plusieurs paramètres d'effet (reproduction, croissance, etc.), la valeur correspondant au paramètre d'effet le plus sensible est retenu, c'est à dire donnant la valeur la plus faible.
- (3) Les données relatives à un même processus biologique du sol sont regroupées en calculant la moyenne géométrique, de sorte que pour un processus biologique donné, seule une valeur intervient lors de l'extrapolation statistique (cf encadré 4).

Encadré 4 – Regroupement des données relatives aux processus biologiques et méthode néerlandaise.

Dans les dernières modifications (Crommentuijn *et al.*, 1997; Verbruggen *et al.*, 2001), la méthode néerlandaise ne procède au regroupement des données relatives à un même processus biologique du sol que lorsqu'elles ont été obtenues dans un même sol. La justification en est que les NOEC relatives à un même processus mais obtenues dans des sols différents sont très probablement des NOEC relatives à des populations différentes de bactéries et/ou de microorganismes. Dans la pratique cependant, l'absence de regroupement des données par processus conduit pour certains polluants à accorder un poids excessif à certains processus par rapport à d'autres. C'est ce qui explique que cette règle n'a pas été retenue ici.

2.3.3. Détermination des VSE pour les espèces et les processus biologiques du sol

Les méthodes d'extrapolation des données d'écotoxicité présentées à la section 2.3.1 sont utilisées pour estimer les valeurs VSE. Tel que précisé en introduction, ces seuils de concentration diffèrent par le niveau de protection des espèces et processus biologiques qu'ils sont censés assurer. Selon le

nombre et le type de données d'écotoxicité disponibles, différentes règles sont appliquées pour déterminer les valeurs des VS_E .

2.3.3.1. Règle 1 – Traiter les données « espèces du sol » et « processus biologiques du sol » séparément

Les données d'écotoxicité relatives aux espèces du sol et les données d'écotoxicité relatives aux processus biologiques du sol sont traitées séparément afin de fournir deux valeurs distinctes de concentration critique.

2.3.3.2. Règle 2 – Traitement des données lorsque $n_{\text{chronique-terrestre}} \geq 4$

Si le **nombre de données d'écotoxicité chronique** (de type NOEC) relatives à des espèces ou à des processus biologiques du sol **est supérieur à 4**, le calcul des concentrations critiques dans le sol porte uniquement sur ces données. Les VS_E sont déterminées en utilisant la méthode d'extrapolation statistique à l'aide du modèle ETX 1.3 d'Aldenberg et Slob (1993). Cette méthode est appliquée aux données d'écotoxicité ajustées (section 2.2) aux propriétés des trois sols standards. Les valeurs de HC20, HC40 et HC50 calculées à l'aide du modèle ETX 1.3 donnent les valeurs de VS_E tel que précisé dans le Tableau 2.

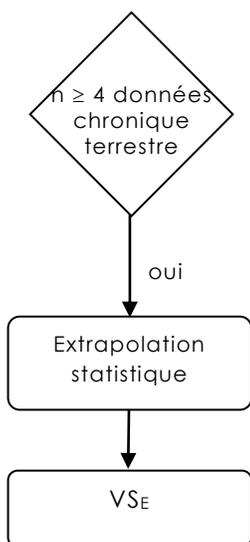


Figure 2 : Étape 1 : Le nombre de données chronique terrestre est-il supérieur à 4 ?

Tableau 2 – Valeurs des VS_E pour les espèces et les processus du sol selon les types d'usages.

	Type d'usage I	Types d'usage II, III
HC20	VS_E type I	VS_E type II
HC40	-	VS_E type III

2.3.3.3. Règle 3 - Traitement des données lorsque $n_{\text{chronique-terrestre}} < 4$

Lorsque **le nombre de données d'écotoxicité chronique** (de type NOEC) relatives à des espèces ou à des processus biologiques du sol **est inférieur à 4**, les données d'écotoxicité terrestre disponibles (chronique et aiguë) et les données d'écotoxicité aquatique sont traitées, séparément, pour donner deux valeurs de concentration critique. Les plus faibles valeurs sont retenues comme valeurs de VS_E .

➤ Données d'écotoxicité terrestre

Les données d'écotoxicité chronique et aiguë sont traitées séparément pour donner deux concentrations critiques. La concentration retenue est la plus faible.

Lorsque $n \geq 4$ données relatives à des groupes d'espèces du sol ou à des processus biologiques différents, l'extrapolation statistique à l'aide du modèle ETX 1.3 est utilisée. Dans ce cas, puisqu'il s'agit de données d'écotoxicité aiguë, les valeurs de HC20, HC40 et HC50 obtenues sont divisées par un facteur 10.

Lorsque $n < 4$ données relatives à des groupes d'espèces du sol ou à des processus biologiques différents, l'extrapolation par application de facteurs est utilisée. Les facteurs (Tableau 3) sont appliqués à la moyenne géométrique des données d'écotoxicité ajustées pour les propriétés du sol et dépendent de l'objectif de protection et du type de donnée (toxicité chronique ou aiguë).

Tableau 3 – Extrapolation par application de facteurs en fonction du niveau de protection souhaité.

Niveau de protection	NOEC et EC_{10}	$L(E)C_{50}$
80%	Moyenne géom./3	Moyenne géom./30
60%	Moyenne géom./1,5	Moyenne géom./15
50%	Moyenne géom.	Moyenne géom./10

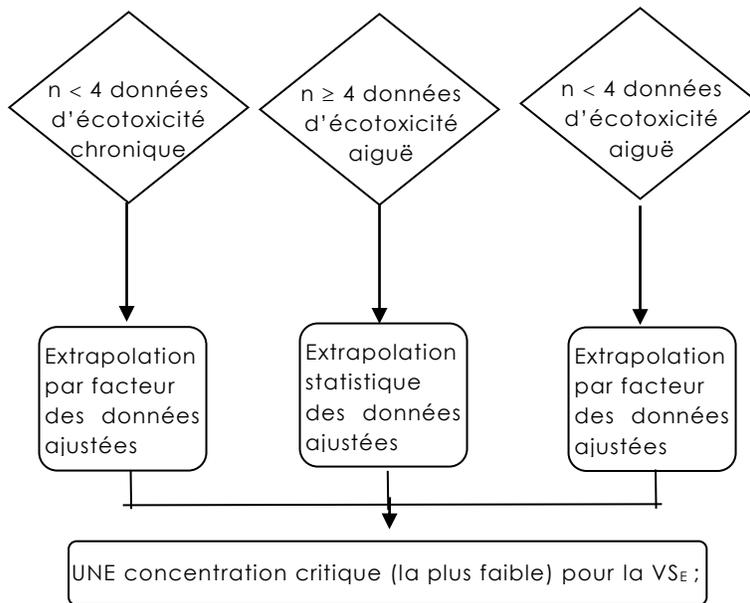


Figure 3 : Étape 2 : Comment traiter les données lorsque le nombre de données chronique terrestre est supérieur à 4 ?

➤ Données d'écotoxicité aquatique

Les données d'écotoxicité aquatique considérées sont :

- des données d'écotoxicité chronique seules s'il existe plus de 4 données de d'écotoxicité chronique relatives à des groupes taxonomiques différents;
- ou des données d'écotoxicité chronique et aiguë dans le cas contraire.

Pour les données aquatiques, la théorie de la partition à l'équilibre est appliquée : les résultats sont multipliés par les coefficients de partition du polluant entre les phases solide et liquide calculés pour les trois sols standards, en respectant les associations entre sols standards et objectifs de protection. Une concentration critique est déterminée pour chaque catégorie : chronique et aiguë. La concentration retenue est la plus faible des deux.

2.3.3.4. Règle 4 – Utilisation des QSAR

Dans le cas des polluants organiques, lorsqu'aucune donnée d'écotoxicité n'est disponible ou lorsque ces données sont peu nombreuses, on a recours aux *Quantitative Structure Activity Relationships* (QSAR).

Pour chaque polluant, la comparaison des valeurs obtenues par les QSAR aux quelques valeurs de NOEC expérimentales disponibles permet de confirmer/infirmer le mode d'action de type narcotique (*i.e.*, non spécifique) justifiant l'utilisation de ces QSAR. En l'absence totale de données expérimentales, le mode d'action narcotique peut être supposé comme « action toxique minimale ».

Les valeurs obtenues par extrapolation des NOEC estimées à l'aide des QSAR sont divisées par un facteur 10 pour donner les VSE.

2.4. Correction pour les concentrations de fond dans le cas des métaux

Pour les métaux, les concentrations critiques obtenues ont été majorées avec la fraction supposée biologiquement inactive (ϕ) des concentrations de fond (C_b) en utilisant l'égalité suivante (Peijnenburg *et al.*, 1996) :

$$V_{SE} = CC + (1 - \phi)C_b$$

avec :

- CC [mg/kg_{sol}] : concentration critique pour une protection de 80, 60 ou 50 % des espèces ou processus biologiques;
- ϕ : fraction biologiquement active ou biodisponible des concentrations de fond, déterminée sur base des données de la littérature;
- C_b [mg/kg_{sol}] : concentration de fond, fixée au percentile-90 des teneurs en métaux mesurées en surface dans les sols wallons, ce qui correspond, pour les métaux lourds, aux valeurs de référence du « Décret sols ».

Encadré 5 – Correction pour les concentrations de fond pour les métaux ?

Pour les métaux, il est possible de corriger les concentrations critiques obtenues en ajoutant les concentrations de fond dans les sols. Cette correction se justifie par le fait que les relations expérimentales de base « concentrations – effet » utilisées correspondent en fait à des relations « concentrations ajoutées – effet », qui ne sont en principe pas directement assimilables aux relations « concentration totale dans le sol – effet » recherchées. L'écart tient dans le fait que les concentrations de fond du sol se révèlent en général essentiellement non biodisponibles (conséquence de l'*ageing effect*), alors que les concentrations ajoutées seraient en majorité biodisponibles.

3. V_{SE} pour les espèces des niveaux trophiques supérieurs

Les risques pour les organismes des niveaux trophiques supérieurs sont considérés pour les polluants susceptibles de bioaccumulation/bioamplification, dans les cas d'usages sensibles, c'est-à-dire pour les sols appartenant aux types d'usages I (naturel) et II (agricole).

Dans le cas de l'usage de type naturel (I), c'est le risque d'empoisonnement secondaire des oiseaux et des mammifères qui est considéré. Dans le cas de l'usage de type agricole (II), c'est le risque d'empoisonnement secondaire des herbivores pâturant.

Ces types de risques sont considérés pour tous les métaux. Dans le cas des polluants organiques par contre, ils ne sont pris en compte que pour les substances dont le poids moléculaire est inférieur à 600 et la valeur de log K_{ow} supérieure à 3 (RIVM, 1998).

3.1. Détermination des VSE

3.1.1. Oiseaux et mammifères

La prise en compte des risques d'empoisonnement secondaire pour les oiseaux et mammifères s'effectue selon la méthode de Romijn *et al.* (1991, 1994), qui considère une chaîne trophique simplifiée : sol → vers de terre → oiseaux & mammifères consommant des vers de terre.

Cette méthode consiste à calculer un *Maximum Acceptable Risk Level (MAR)*, soit une concentration maximale admissible en polluant dans le sol (mg/kg) à l'aide de l'égalité suivante :

$$MAR = NOEC_{\text{oiseaux, mammifères}} / BCF_{\text{vers}}$$

avec :

MAR : concentration maximale admissible en polluant dans le sol, mg/kg;

NOEC [mg/kg] : No Observed Effect Concentration;

BCF_{vers} [-] : facteur de bioconcentration sol-vers.

L'application de cette méthode implique de disposer de données de type NOEC pour des oiseaux et des mammifères, données exprimées en mg de polluant/kg d'aliment.

Les valeurs de BCF_{vers} sont disponibles dans la littérature, notamment dans US EPA (2000), Romijn *et al.* (1991), van de Plassche (1994). Si possible, ces données doivent être accompagnées des propriétés du sol dans lequel elles ont été mesurées. L'ajustement des valeurs de BCF aux propriétés du sol pour lequel se fait le calcul de V_{SE} pourra s'effectuer à partir de régressions établies entre les valeurs de BCF et les propriétés du sol, pour autant que le nombre de données disponibles le permette ou si ce type de relation est disponible dans la littérature. Le plus souvent, cependant, l'ajustement aux propriétés du sol ne sera pas faisable.

Étant donné la vulnérabilité différente des oiseaux et des mammifères vis-à-vis de certains polluants, il convient de traiter les données d'écotoxicité séparément pour ces deux groupes d'espèces. Notons qu'il peut s'avérer nécessaire de considérer globalement les données des deux groupes d'espèces

(oiseaux + mammifères) si la valeur de MAR obtenue par le calcul utilisant la valeur la plus faible conduit à un résultat nettement inférieur à la valeur bruit de fond communément admise.

Si les données d'écotoxicité sont en nombre suffisant ($n \geq 4$), l'extrapolation statistique par la méthode d'Aldenberg & Slob (1993) est utilisée pour déterminer la $NOEC_{\text{oiseaux}}$ ou la $NOEC_{\text{mammifères}}$. Dans le cas contraire ($n < 4$), il convient d'utiliser la méthode par application de facteurs telle que décrite pour les espèces du sol et les processus biologiques du sol (section 2.3.3.3). La valeur retenue est celle qui assure un taux de protection de 80 % des espèces. La concentration critique finale retenue est la plus faible des deux valeurs obtenues pour les oiseaux et pour les mammifères.

Pour les métaux, les MAR obtenues sont corrigées tel que décrit à la section 2.4 pour tenir compte de la fraction biologiquement inactive ou non biodisponible des concentrations de fond lorsque les facteurs de bioconcentration sol-vers sont déterminés avec des échantillons de sol artificiellement contaminés en laboratoire.

3.1.2. Herbivores pâturant

Afin d'assurer la protection des herbivores communément rencontrés dans les pâturages wallons, une concentration critique en polluants dans les sols est déterminée par l'utilisation d'une procédure dérivée de la méthode proposée par le CCME (1996). Cette concentration critique permet de prendre en considération les risques d'empoisonnement secondaire pour les herbivores pâturant.

L'application de cette méthode implique la recherche de données de type NOEC pour des herbivores pâturant, données exprimées en mg de polluant/kg d'aliment. Les données relatives à l'espèce la plus sensible sont retenues pour le calcul. Pour les métaux, des données de ce type sont notamment reprises dans un ouvrage publié par la *National Academy of Sciences* américaine (National Academy of Sciences, 1980).

Les sections suivantes présentent l'ensemble des doses qu'il convient de déterminer pour estimer la concentration en polluant dans le sol associée à l'atteinte de la dose maximale journalière assimilable par ingestion T_{DMJP} , c'est-à-dire, la VS_E pour les herbivores pâturant.

3.1.2.1. Dose Maximale Journalière Tolérable, DMJT (mg/j)

En premier lieu, il convient de déterminer la Dose Maximale Journalière Tolérable (DMJT). Deux cas de figure :

- (1) Si des données d'écotoxicité sous forme de concentration maximale dans la diète sont disponibles :

$$DMJT \text{ (mg/j)} = CM_{\text{diète}} * QMSJ$$

avec :

DMJT : dose maximale journalière tolérable, en mg/j;

$CM_{\text{diète}}$: concentration maximale de polluant dans la diète en mg/kg m.s.;

QMSJ : quantité totale de matière sèche ingérée par jour, kg m.s./j, estimée par :

$QMSJ = 0,0687 * P$ 0,822 pour un mammifère;

$QMSJ = 0,0582 * P$ 0,651 pour un oiseau;

où P: Poids corporel de l'animal (kg m.c.).

- (2) Si des données d'écotoxicité sous forme de NOAEL sont disponibles :

$$DMJT \text{ (mg/j)} = \text{NOAEL} * P$$

avec :

DMJT : dose maximale journalière tolérable, en mg/j;

NOAEL : No observable adverse effect level, en mg/kg m.c. j

P : poids corporel de l'animal en kg.

3.1.2.2. Dose Maximale Journalière assimilable par Ingestion, DMJP (mg/j)

La Dose Maximale Journalière Assimilable par ingestion (DMJP) correspond à la consommation de plantes et l'ingestion directe de sol. Elle est déterminée en considérant que la consommation d'eau, l'absorption par la peau et l'inhalation représentent 25 % de l'exposition totale. La DMJP se détermine avec l'égalité suivante :

$$DMJP \text{ (mg/j)} = 0,75 * DMJT$$

avec :

DMJ : dose maximale journalière assimilable par ingestion, mg/j;

DMJT : dose maximale journalière tolérable, en mg/j.

3.1.2.3. Dose Journalière assimilable par ingestion de particules de Sol, DJS (mg/j)

L'estimation de la dose journalière de polluant assimilée par ingestion directe de particules de sol se fait à l'aide de l'égalité suivante :

$$DJS = T * QSJ$$

avec :

DJS : dose journalière assimilable par ingestion de particules de sol, mg/j;

T : teneur en polluant dans le sol, mg/kg;

QSJ : quantité de sol ingérée par jour [kg m.s./j], estimée par :

$QSJ = 0,083 * QMSJ$ pour les espèces domestiques;

$QSJ = 0,077 * QMSJ$ pour les espèces sauvages;

où QMSJ (quantité totale de matière sèche ingérée par jour, kg m.s./j) est estimée selon les relations données.

3.1.2.4. Dose journalière assimilable par ingestion de plantes, DPJ (mg/j)

L'estimation de la dose journalière de polluant assimilée par ingestion de plantes se fait à l'aide de l'égalité suivante :

$$DPJ = T * BCF_{\text{sol-plantes}} * QPJ$$

avec :

DPJ : dose journalière assimilable par ingestion de plantes, mg/j;

T : teneur en polluant dans le sol, mg/kg;

$BCF_{\text{sol-plantes}}$: facteur de bioconcentration sol-plante du polluant;

QPJ (kg m.s./j) : quantité de plante ingérée par jour, estimée par : $QPJ = QMSJ - QSJ$

3.1.2.5. VS_E : Concentration dans le sol associée à la DMJP (mg/kg m.s.)

Finalement, la concentration en polluant dans le sol théoriquement associée à l'atteinte de la dose maximale journalière assimilable par ingestion (T_{DMJP} , mg/kg), c'est-à-dire la VS_E pour les herbivores pâturant, est établie à partir de l'équation suivante :

$$VS_E = T_{DMJP} = \frac{DMJP}{QSJ + (BCF \times QPJ)}$$

avec :

$VS_E = T_{DMJP}$: concentration en polluant dans le sol théoriquement associée à l'atteinte de la dose maximale journalière assimilable par ingestion, exprimée en mg/kg m.s. ;

DMJP : dose maximale journalière assimilable par ingestion, mg/kg;

QSJ : quantité de sol ingérée par jour, kg m.s./j;

$BCF_{\text{sol-plantes}}$: facteur de bioconcentration sol-plante du polluant;

QPJ : quantité de plante ingérée quotidiennement, kg m.s./j.

La concentration critique obtenue n'est pas corrigée pour les concentrations de fond étant donné l'exposition aux polluants par ingestion de particules de sol.

4. VS_E pour la protection de l'écosystème

La procédure générale décrite dans les paragraphes qui précèdent aboutit au calcul de concentrations critiques en polluant dans le sol pour deux niveaux de risque (VS_E) pour les espèces du sol (faune, flore), les processus biologiques du sol et l'empoisonnement secondaire des organismes des niveaux trophiques supérieurs.

Ces concentrations critiques permettent de déduire les valeurs de VS_E pour la protection de l'écosystème.

4.1. Détermination des VS_E

4.1.1. **Usages de types I et II**

Dans le cas des usages de types I (naturel) et II (agricole), la valeur seuil VS_E tient compte des risques pour les espèces du sol (faune, flore), les processus biologiques du sol et les niveaux trophiques supérieurs.

C'est la plus faible des concentrations critiques calculées qui est retenue comme valeur de VS_E pour l'écosystème.

Il faut toutefois noter que des valeurs très faibles, largement inférieures au bruit de fond, sont souvent obtenues pour la concentration critique fondée sur la limitation des risques d'empoisonnement secondaire pour les oiseaux et mammifères, dans le cas des usages de type I. Étant donné les incertitudes liées à la méthode d'évaluation de ce type de risque, il sera préférable dans ces cas de ne pas tenir compte de ces valeurs dans le calcul de VS_E .

4.1.2. **Usages de types III**

Dans le cas des usages de type III (résidentiel) la VS_E tient compte des risques pour les espèces du sol (faune et flore) et les processus biologiques du sol. Des deux concentrations critiques estimées pour le calcul de VS_E et associées à ces deux types de risque, la plus faible est retenue comme valeur de VS_E .

5. Contaminants particuliers

5.1. Hydrocarbures pétroliers

Dans le cas précis des fractions constitutives des hydrocarbures pétroliers, qu'elles soient considérées globalement (mélange des constituants aliphatiques et aromatiques sur base de leur Equivalence Carbone, EC) ou spécifiquement (fractions aliphatiques ou aromatiques exprimées en EC), le manque de données d'écotoxicité propres à ces fractions ne permet pas d'appliquer rigoureusement la méthodologie présentée dans ce document.

Les VS_E pour les fractions aliphatiques et aromatiques des hydrocarbures pétroliers ont été déterminées en adaptant au contexte wallon les standards pancanadiens pour les hydrocarbures pétroliers développés par le Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME, 2008 ; Encadré 4). Les VS_E ont été extrapolées sur la base d'un sol à texture fine, en conservant l'optique « *worst case* », à l'ensemble des calculs à partir de ces standards pancanadiens en considérant :

- que les standards pancanadiens ne sont pas exprimés en fonction de sols standardisés;
- que les sols wallons sont comparables aux sols canadiens à texture fine.

Tableau 4 – VS_E pour les fractions aliphatiques et aromatiques des hydrocarbures pétroliers, exprimées en mg/kg m.s.

		Type I	Type II	Type III
EC 5-8	VS_E	105	105	105
EC 8-10	VS_E	105	105	105
EC 10-12	VS_E	75	75	75
EC 12-16	VS_E	75	75	75
EC 16-21	VS_E	650	650	650
EC 21-35	VS_E	650	650	650

5.2. Cyanures libres

Le calcul des VS_E pour les cyanures libres basé sur la procédure décrite précédemment donne des valeurs extrêmement faibles, non compatibles, à la fois avec la valeur bruit de fond naturelle des cyanures libres communément admise de 1 mg/kg_{sol} (Köster, 2001; Irwin, 1997) et la limite de quantification de la méthode analytique proposée dans le Compendium des analyses de l'ISseP (CWEA). Cette particularité est certainement à mettre en relation avec le fait que seules des données d'écotoxicité aquatiques étaient disponibles pour ces calculs et qu'elles ont été transposées au sol moyennant le recours à un coefficient de partition K_d conventionnellement fixé à 0,1 l/kg.

Compte tenu de la très large incertitude de ces calculs et du caractère non réaliste de l'utilisation d'une telle VS_E , il a été décidé d'aligner les VS_E sur des critères de qualité écologique convenus dans d'autres législations.

Le seuil de 1 mg/kg m.s. pour les cyanures libres a été adopté au Pays-Bas comme SRC_{eco} . Cette valeur est reprise comme VS_E . Elle équivaut également à la valeur des teneurs en cyanures libres dans un sol naturel mais aussi à la valeur de la limite de quantification analytique.

Tableau 5 – VS_E pour les cyanures libres en mg/kg m.s.

		Type I	Type II	Type III
Cyanures libres (mg/kg m.s.)	VS_E	1	1	1

Encadré 5 – Les standards pancanadiens du Conseil canadien des ministres de l'Environnement (2008).

Plusieurs approches méthodologiques ont été envisagées pour déterminer les VS_E pour les hydrocarbures pétroliers : la méthode d'évaluation axée sur les QSAR ainsi que la comparaison à d'autres systèmes normatifs. La SPAQuE S.A. a établi des valeurs à partir de QSAR mais ces données n'ont pas été validées par des mesures expérimentales. C'est la méthode utilisée pour déterminer les standards pancanadiens relatifs aux hydrocarbures pétroliers dans les sols, élaborés par le Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement (CCME, 2008), qui a été retenue pour déterminer les VS_E , avec quelques adaptations.

Les standards pancanadiens sont disponibles pour quatre grandes fractions physico-chimiques d'hydrocarbures pétroliers, définies selon le nombre équivalent carbone (tableau ci-dessous). Ces fractions ont été établies à partir des sous-fractions définies par le *Total petroleum hydrocarbon criteria working group* (TPHCWG, 1997), regroupement de chercheurs universitaires, industriels et gouvernementaux américains dont le mandat était de développer une approche permettant de gérer les sites contaminés par les hydrocarbures pétroliers. Les standards pancanadiens présentent l'avantage d'être issus de données expérimentales (non utilisables directement pour l'application de notre méthodologie) et calculées à partir d'une méthode axée sur le poids de la preuve pour décider de la valeur des différentes sources de données.

Les standards pancanadiens ont été définis pour 2 catégories d'usages (agricole/résidentiel et commercial/industriel) et deux types de sols (à texture fine et à texture grossière) tel que présentés dans le tableau ci-dessous.

Standards pancanadiens relatifs aux hydrocarbures pétroliers dans les sols, en mg/kg m.s.

Fraction	Atomes carbone	de	Agricole/	Commercial/	Agricole/	Commercial/
			résidentiel	industriel	résidentiel	industriel
			Sols à texture fine		Sols à texture grossière	
Fraction 1	C6 à C10		210	320	210	320
Fraction 2	>C10 à C16		150	260	150	260
Fraction 3	>C16 à C34		1300	2500	300	1700
Fraction 4	>C34		5600	6600	2800	3300

6. Exemples d'application de la procédure de calcul des VS_E à un polluant

6.1. Phénol

Seule une donnée d'écotoxicité chronique est disponible pour les espèces terrestres. Par conséquent, les données d'écotoxicité terrestre chronique et aiguë sont traitées parallèlement, et les résultats obtenus sont comparés aux résultats du traitement des données d'écotoxicité aquatique.

6.1.1. **Risques pour les espèces/processus terrestres**

Les données d'écotoxicité terrestre disponibles sont les suivantes : une NOEC relative à un groupe taxonomique (macrophytes) et quatre L(E)C₅₀ relatives à deux groupes taxonomiques (macrophytes et annélides). Ces données sont en nombre insuffisant pour permettre une extrapolation statistique. L'estimation des concentrations critiques se fait donc par application de facteurs (Tableau 3).

Données d'écotoxicité chronique

Les facteurs sont appliqués aux NOEC, ajustées à l'aide du coefficient de partition entre les phases solide et liquide (K_p) comme mentionné au point 2.2.2 de l'annexe 2.

Données d'écotoxicité aiguë

Les facteurs sont appliqués à la moyenne géométrique des L(E)C₅₀, ajustées à l'aide du coefficient de partition K_p , divisée par un ACR (*Acute to Chronic Ratio*) de 10.

6.1.2. **Risques pour les processus biologiques du sol**

Aucune donnée n'est disponible concernant les risques pour les processus biologiques du sol.

6.1.3. **Traitement des données d'écotoxicité aquatique**

On dispose des données d'écotoxicité chronique aquatique suivantes : douze NOEC pour des espèces d'eau douce appartenant à six groupes taxonomiques différents et une NOEC pour une espèce marine (algue). La NOEC pour l'algue marine s'intègre bien dans la distribution des NOEC pour toutes les espèces d'eau douce (Verbruggen *et al.*, 2001). Par conséquent, les données « eau douce » et « eau marine » sont combinées (Tableau 3).

L'extrapolation statistique par ETX 1.3 donne les résultats suivants :

- HC₂₀ = 0,94 mg/l;
- HC₄₀ = 3,89 mg/l;

Avec une valeur de K_{oc} de 33,1 l/kg et un pK_a de 10 pour le phénol (Lijzen *et al.*, 2001), les valeurs de K_p calculées pour les teneurs en matière organique des 3 sols standards sont :

- sol de type I : 0,5 l/kg ;
- sol de type II-III : 0,31 l/kg ;

Les concentrations critiques sont finalement obtenues en multipliant les valeurs de HC par les Kp comme suit :

- Pour le calcul de VS_E :
 - Type I: $HC_{20} * K_{p_{type I}} = 0,5 \text{ mg/kg}$
 - Type II: $HC_{20} * K_{p_{type II, III, IV}} = 0,3 \text{ mg/kg}$
 - Type III: $HC_{40} * K_{p_{type II, III, IV}} = 1,2 \text{ mg/kg}$

6.1.4. Risques pour les niveaux trophiques supérieurs

Avec une valeur de $\log K_{ow}$ inférieure à 5 ($\log K_{ow} = 1,47$), le phénol présente peu de risques de bioaccumulation/bioamplification dans la chaîne trophique.

6.1.5. Tableaux de calcul

Calcul de VS_E , O_E et VI_E		Phénol		
Type d'usage		I	II	III
Calcul de VS_E				
Valeurs de HC:	Espèces	0,50	0,30	1,20
	Processus	-	-	-
	QSAR/EP method	-	-	-
	Chaîne trophique	-	-	-
	VS_E	0,5	0,3	1,2

Tableau C : Traitement des données d'écotoxicité relatives aux espèces pour le phénol

Phénol - Seuils génériques

Ajustement par Kp

(Kp aj = Kp estimé pour propr. horizon A des sols standards)

Koc =	33,1	l/kg
pKa =	10	

Données	Source	pH exp	f _{nd}	%MO exp.	f _{oc}	Kp exp. (l/kg)	Kp std (l/kg)			Effet	Temps	Paramètre	Rés. exp. (mg/kg)	Données aj.			Données aj./esp.			Taxon	
							I	II, III, IV	V					I	II, III, IV	V	I	II, III, IV	V		
TERRESTRES Espèces (tox. chronique) <i>Lactuca sativa</i>	Adema & Henzen, 1990, cité par Denneman	7,8	0,99373	1,4	0,008	0,27	0,5	0,31	0,31	NOEC	7 j	croissance	32	59,76	37,05	37,05	59,76	37,05	37,05	Macroph.	
														geomean			59,76	37,05	37,05		
																	6,0	3,7	3,7		
																	I, II	19,9	12,4	12,4	
																	III, IV	39,8	24,7	24,7	
																	V	59,8	37,1	37,1	
Espèces (tox. aiguë) <i>Lactuca sativa</i>	Hulzebos et al., 1993, cité par ECOTOX on-	7,5	0,996848	1,8	0,010	0,35	0,5	0,31	0,31	EC50	14 j	croissance	79	114,39	70,92	70,92	189,15	117,27	117,27	Macroph.	
	Hulzebos et al., 1993, cité par ECOTOX on-	7,5	0,996848	1,4	0,008	0,27	0,5	0,31	0,31	EC50	14 j	croissance	168	312,77	193,92	193,92					
	Neuhauser et al., 1986, cité par Denneman	6	0,9999	10	0,058	1,92	0,5	0,31	0,31	LC50	14 j	mortalité	401	104,20	64,60	64,60	104,20	64,60	64,60	Ann.	
<i>Eisenia foetida</i>	Neuhauser et al., 1986, cité par Denneman	6	0,9999	10	0,058	1,92	0,5	0,31	0,31	LC50	14 j	mortalité	450	116,93	72,50	72,50	116,93	72,50	72,50	Ann.	
<i>Allolobophora tuberculata</i>																					
														geom./10			13,21	8,19	8,19		
														Facteur 10 puisque ce sont des données de toxicité aiguë			1,3	0,8	0,8		
																	I, II	4,4	2,7	2,7	
																	III, IV	8,8	5,5	5,5	
																	V	13,2	8,2	8,2	

Processus

Processus	Source	pH exp	f _{nd}	%MO exp.	f _{oc}	Kp exp. (l/kg)	Kp std (l/kg)			Effet	Temps	Paramètre	Rés. exp. (mg/l)
néant													
AQUATIQUES Eau douce													(mg/l)
prot	Verbruggen et al., 2001					0,5	0,31	0,31	NOEC		données combinées:	65	
prot	Verbruggen et al., 2001					0,5	0,31	0,31	NOEC			33	
prot	Verbruggen et al., 2001					0,5	0,31	0,31	NOEC			140	
bact	Verbruggen et al., 2001					0,5	0,31	0,31	NOEC			64	
bact	Verbruggen et al., 2001					0,5	0,31	0,31	NOEC			280	
cyan	Verbruggen et al., 2001					0,5	0,31	0,31	NOEC			4,6	
alg	Verbruggen et al., 2001					0,5	0,31	0,31	NOEC			7,5	
crus	Verbruggen et al., 2001					0,5	0,31	0,31	NOEC			0,84	
crus	Verbruggen et al., 2001					0,5	0,31	0,31	NOEC			0,28	
pisc	Verbruggen et al., 2001					0,5	0,31	0,31	NOEC			2,2	
pisc	Verbruggen et al., 2001					0,5	0,31	0,31	NOEC			0,1	
pisc	Verbruggen et al., 2001					0,5	0,31	0,31	NOEC			0,75	
Marines alg	Verbruggen et al., 2001					0,5	0,31	0,31	NOEC			13	

HC 5	0,10
HC 20	0,94
HC 40	3,89
HC 50	6,98

Kp std (l/kg)	
I	II, III, IV
0,5	0,31
	0,31

		0,05	0,03
I, II	III, IV	0,5	0,3
		1,9	1,2
V		3,5	2,2

7. Données relatives aux calculs des VS_E

Calcul de VS_E et VI_E

Benzène

Type d'usage	I	II	III	
Calcul de VS_E				
Valeurs de HC:				
Espèces	-	-	-	
Processus	-	-	-	
QSAR/EP method	10,67	6,44	14,40	
Chaîne trophique	-	-	-	
	VS_E	10,7	6,4	14,4

Benzene - Seuils génériques

Ajustement par Kp

(Kp aj = Kp estimé pour propr. horizon A des sols standards)

Koc =	74,13	l/kg
pKa =	/	

Données	Source	pH exp	f _{nd}	%MO exp.	f _{oc}	Kp exp. (l/kg)	Kp std (l/kg)			Effet	Temps	Paramètre	Rés. exp. (mg/kg)	Données aj.			Tax/proc
							I	II, III, IV	V					I	II, III, IV	V	
TERRESTRES																	
Espèces	néant																
Processus	néant																
AQUATIQUES												(mg/l)					
Eau douce	cfr Verbruggen et al., 2001																
Marines	cfr Verbruggen et al., 2001																
QSAR												(mg/l)					
bact	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			720					
bact	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			32					
bact	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			85					
bact	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			84					
alg	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			87					
alg	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			45					
alg	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			11					
fung	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			760					
prot	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			81					
coel	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			10					
moll	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			9,6					
crus	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			12					
crus	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			9,5					
ins	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			16					
ins	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			12					
pisc	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			4,9					
amph	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			13					
amph	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			13					
amph	Verbruggen et al., 2001					1,11	0,67	0,67	NOEC			15					

HC 5	2,67			
HC 20	9,61			
HC 40	21,49			
HC 50	29,97			

	Kp std (l/kg)					
	I	II, III, IV	V			
	1,11	0,67	0,67			

	3,0	1,8	
I, II	10,7	6,4	6,4
III, IV	23,9	14,4	14,4
V	33,3	20,1	20,1

(mg/kg) (mg/kg) (mg/kg)

Calcul de VS_E et VI_E

Toluène

Type d'usage		I	II	III
Calcul de VS_E				
Valeurs de HC:	Espèces	6,20	9,70	19,50
	Processus	-	-	-
	QSAR/EP method	6,00	3,60	8,50
	Chaîne trophique	-	-	-
	VS_E	6,0	3,6	8,5

Toluene - Seuils génériques

Ajustement par Kp

(Kp aj = Kp estimé pour propr. horizon A des sols standards)

Koc =	123	l/kg
pKa =	/	

Données	Source	pH exp	f _{nd}	%MO exp.	f _{oc}	Kp exp. (l/kg)	Kp std (l/kg)			Effet	Temps	Paramètre	Rés. exp. (mg/kg)	Données aj.			Tax/proc	
							I	II, III, IV	V					I	II, III, IV	V		
TERRESTRES																		
Espèces																		
<i>Lactuca sativa</i>	Adema & Henzen, 1990, cité par Denneman	7,8	1	1,4	0,008	1,00	1,85	1,11	1,11	NOEC	7 j	croissance	100	184,79	110,87	110,87	Macroph. Annélide	
<i>Eisenia foetida</i>	Vonk et al., 1986, cité par Denneman & van	6	1	10	0,058	7,15	1,85	1,11	1,11	NOEC	4 sem	prod. cocon	49,6	12,83	7,70	7,70		
													geomean	48,69	29,22	29,22		

	4,9	2,9	2,9
I, II	16,2	9,7	9,7
III, IV	32,5	19,5	19,5
V	48,7	29,2	29,2

AQUATIQUES																	
Eau douce	cfr Verbruggen et al., 2001																
Marines	cfr Verbruggen et al., 2001																
QSAR																	
bact	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				270				
bact	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				15				
bact	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				41				
bact	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				39				
alg	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				38				
alg	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				16				
alg	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				3,3				
fung	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				310				
prot	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				32				
coel	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				3,7				
moll	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				3,4				
crus	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				5				
crus	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				2,7				
ins	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				4,3				
ins	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				4,3				
pisc	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				1,7				
amph	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				4,7				
amph	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				3,3				
amph	Verbruggen et al., 2001					1,85	1,11	1,11	NOEC				5,2				

HC 5	0,83
HC 20	3,26
HC 40	7,68
HC 50	10,94

Kp std (l/kg)		
I	II, III, IV	V
1,85	1,11	1,11

	1,5	0,9	
I, II	6,0	3,6	3,6
III, IV	14,2	8,5	8,5
V	20,2	12,1	12,1

Calcul de VS_E

Xylènes

(à comparer à la somme des isomères o-, m- et p-)

Type d'usage		I	II	III
Calcul de VS_E				
Valeurs de HC:	Espèces	1,86	1,12	2,04
	Processus	-	-	-
	QSAR/EP method	-	-	-
	Chaîne trophique	-	-	-
	VS_E	1,9	1,1	2,0

Moyenne des xylènes			
p-Xylène			
	0,82	0,49	
I, II	2,68	1,61	1,60
III	5,64	3,38	3,40
o-Xylène			
	0,42	0,25	
I, II	1,05	0,63	0,60
III	1,86	1,12	1,10
m-Xylène			
	1,06	0,64	
I, II	2,30	1,37	1,40
III	3,74	2,24	2,20
Moyenne géométrique pour les trois isomères:			
	0,72	0,43	
I, II	1,86	1,12	1,10
III,	3,40	2,04	2,02

o-Xylène - Seuils génériques

Ajustement par Kp

(Kp aj = Kp estimé pour propr. horizon A des sols standards)

Koc =	151,4	l/kg
pKa =	/	

Données	Source	pH exp	f _{nd}	%MO exp.	f _{oc}	Kp exp. (l/kg)	Kp std (l/kg)			Effet	Temps	Paramètre	Rés. exp. (mg/kg)	Données aj.			Tax/proc
							I	II, III, IV	V					I	II, III, IV	V	
TERRESTRES																	
Espèces	néant																
Processus	néant																
AQUATIQUES												(mg/l)					
Eau douce (tox. chronique)	cf Verbruggen et al. (2001)																
Eau douce (tox. aiguë)																	
bact	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				9,2				
alg	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				4,7				
crus	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				6,7				
ins	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				1,6				
pisc	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				20				
pisc	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				19				
pisc	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				16				
pisc	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				35				
pisc	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				18				
pisc	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				21				
pisc	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				12				
pisc	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				7,8				
amph	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				73				
marines (tox. aiguë)																	
crus	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				24				
crus	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				6				
crus	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				1,3				
echi	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				4,1				
pisc	Verbruggen et al. (2001)					2,26	1,36	1,36	L(E)C50				11				

					(mg/kg)		
		(Facteur 10 puisque ce sont des données de toxicité aiguë (EC50))					
		Kp std (l/kg)					
		I	II, III, IV	V	I, II	III, IV	V
HC 5 /10	0,19				0,4	0,3	
HC 20 /10	0,46				1,0	0,6	0,6
HC 40 /10	0,82	2,26	1,36	1,36	1,9	1,1	1,1
HC 50 /10	1,04				2,4	1,4	1,4

m-Xylène - Seuils génériques

Ajustement par Kp

(Kp aj = Kp estimé pour propr. horizon A des sols standards)

Koc =	257	l/kg
pKa =	/	

Données	Source	pH exp	f _{nd}	%MO exp.	f _{oc}	Kp exp. (l/kg)	Kp std (l/kg)			Effet	Temps	Paramètre	Rés. exp. (mg/kg)	Données aj.			Tax/proc
							I	II, III, IV	V					I	II, III, IV	V	
TERRESTRES																	
Espèces	néant																
Processus	néant																
AQUATIQUES												(mg/l)					
Eau douce (tox. chronique)	cfr Verbruggen et al. (2001)																
Eau douce (tox. aiguë)																	
alg	Verbruggen et al. (2001)					3,86	2,31	2,31	L(E)C50			4,9					
crus	Verbruggen et al. (2001)					3,86	2,31	2,31	L(E)C50			18					
ins	Verbruggen et al. (2001)					3,86	2,31	2,31	L(E)C50			1,6					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					3,86	2,31	2,31	L(E)C50			20					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					3,86	2,31	2,31	L(E)C50			22					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					3,86	2,31	2,31	L(E)C50			35					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					3,86	2,31	2,31	L(E)C50			21					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					3,86	2,31	2,31	L(E)C50			27					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					3,86	2,31	2,31	L(E)C50			13					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					3,86	2,31	2,31	L(E)C50			8,4					
marines (tox. aiguë)																	
crus	Verbruggen et al. (2001)					3,86	2,31	2,31	L(E)C50			19					
crus	Verbruggen et al. (2001)					3,86	2,31	2,31	L(E)C50			12					
crus	Verbruggen et al. (2001)					3,86	2,31	2,31	L(E)C50			3,7					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					3,86	2,31	2,31	L(E)C50			9,2					

			(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
(Facteur 10 puisque ce sont des données de toxicité aiguë (EC50))					
HC 5 /10	0,28		Kp std (l/kg)	1,1	0,6
HC 20 /10	0,60	I	II, III, IV	V	I, II
HC 40 /10	0,97	3,86	2,31	2,31	2,3
HC 50 /10	1,18				1,4
					1,4
					2,2
					2,2
					2,7
					2,7

p-Xylène - Seuils génériques

Ajustement par Kp

(Kp aj = Kp estimé pour propr. horizon A des sols standards)

Koc =	457,1	l/kg
pKa =	/	

Données	Source	pH exp	f _{nd}	%MO exp.	f _{oc}	Kp exp. (l/kg)	Kp std (l/kg)			Effet	Temps	Paramètre	Rés. exp. (mg/kg)	Données aj.			Tax/proc
							I	II, III, IV	V					I	II, III, IV	V	
TERRESTRES																	
Espèces	néant																
Processus	néant																
AQUATIQUES																	
Eau douce (tox. chronique)	cf Verbruggen et al. (2001)											(mg/l)					
Eau douce (tox. aiguë)																	
alg	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11	L(E)C50			46					
alg	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11				110					
alg	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11				3,2					
crus	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11	L(E)C50			17					
ins	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11	L(E)C50			1,6					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11	L(E)C50			20					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11	L(E)C50			22					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11	L(E)C50			35					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11	L(E)C50			21					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11	L(E)C50			16					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11	L(E)C50			8,8					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11	L(E)C50			2,6					
marines (tox. aiguë)																	
crus	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11	L(E)C50			25					
crus	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11	L(E)C50			2					
pisc	Verbruggen et al. (2001)					6,86	4,11	4,11	L(E)C50			2					

					(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
(Facteur 10 puisque ce sont des données de toxicité aiguë (EC50))		Kp std (l/kg)					
HC 5 /10	0,12	I	II, III, IV	V	0,8	0,5	
HC 20 /10	0,39				I, II	2,7	1,6
HC 40 /10	0,82	6,86	4,11	4,11	III, IV	5,6	3,4
HC 50 /10	1,12				V	7,7	4,6

Calcul de VS_E et VI_E

Ethylbenzène

Type d'usage		I	II	III
Calcul de VS_E				
Valeurs de HC:	Espèces	-	-	-
	Processus	-	-	-
	QSAR/EP method	7,80	4,70	11,60
	Chaîne trophique	-	-	-
	VS_E	7,80	4,70	11,60

Ethylbenzène - Seuils génériques

Ajustement par Kp

(Kp aj = Kp estimé pour propr. horizon A des sols standards)

Koc =	338,8	l/kg
pKa =	/	

Données	Source	pH exp	f _{nd}	%MO exp.	f _{oc}	Kp exp. (l/kg)	Kp std (l/kg)			Effet	Temps	Paramètre	Rés. exp. (mg/kg)	Données aj.				Tax/proc
							I	II, III, IV	V					I	II, III, IV	V		
TERRESTRES																		
Espèces	néant																	
Processus	néant																	
AQUATIQUES												(mg/l)						
Eau douce	cfr Verbruggen et al., 2001																	
Marines	cfr Verbruggen et al., 2001																	
QSAR												(mg/l)						
bact	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			140						
bact	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			9,5						
bact	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			26						
bact	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			23						
alg	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			22						
alg	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			8,1						
alg	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			1,5						
fung	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			170						
prot	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			17						
coel	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			1,8						
moll	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			1,7						
crus	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			2,7						
crus	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			1,1						
ins	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			1,7						
ins	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			2,2						
pisc	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			0,86						
amph	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			2,3						
amph	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			1,3						
amph	Verbruggen et al., 2001					5,08	3,05	3,05	NOEC			2,5						

(mg/kg) (mg/kg) (mg/kg)

HC 5	0,37			
HC 20	1,54			
HC 40	3,81			
HC 50	5,54			

Kp std (l/kg)				
I	II, III, IV	V		
5,08	3,05	3,05		

	1,9	1,1	
I, II	7,8	4,7	4,7
III, IV	19,4	11,6	11,6
V	28,1	16,9	16,9

Calcul de VS_E

Styrène

Type d'usage	I	II	III
Calcul de VS_E			
Valeurs de HC:			
Espèces aqu.	7,33	4,52	9,04
Processus	-	-	-
QSAR/EP method	-	-	-
Chaîne trophique	-	-	-
VS_E	7,33	4,52	9,04

Calcul de VS_E et VI_E

Phénol

Type d'usage

I II III

Calcul de VS_E

Valeurs de HC:

Espèces	0,50	0,30	1,20
Processus	-	-	-
QSAR/EP method	-	-	-
Chaîne trophique	-	-	-

VS_E 0,5 0,3 1,2

Phénol - Seuils génériques

Ajustement par Kp

(Kp aj = Kp estimé pour propr. horizon A des sols standards)

Koc =	33,1	l/kg
pKa =	10	

Données	Source	pH exp	f _{nd}	f _{MO exp.}	f _{oc}	Kp exp. (l/kg)	Kp std (l/kg)			Effet	Temps	Paramètre	Rés. exp. (mg/kg)	Données aj.			Données aj./esp.			Taxon															
							I	II, III, IV	V					I	II, III, IV	V																			
TERRESTRES Espèces (tox. chronique) <i>Lactuca sativa</i>	Adema & Henzen, 1990, cité par Denneman	7,8	0,99373	1,4	0,008	0,27	0,5	0,31	0,31	NOEC	7 j	croissance	32	59,76	37,05	37,05	59,76	37,05	37,05	Macroph.															
														geoméan	59,76	37,05	37,05																		
														<table border="1"> <tr><td>I, II</td><td>6,0</td><td>3,7</td><td>3,7</td></tr> <tr><td>III, IV</td><td>19,9</td><td>12,4</td><td>12,4</td></tr> <tr><td>V</td><td>39,8</td><td>24,7</td><td>24,7</td></tr> <tr><td></td><td>59,8</td><td>37,1</td><td>37,1</td></tr> </table>			I, II	6,0	3,7	3,7	III, IV	19,9	12,4	12,4	V	39,8	24,7	24,7		59,8	37,1	37,1			
I, II	6,0	3,7	3,7																																
III, IV	19,9	12,4	12,4																																
V	39,8	24,7	24,7																																
	59,8	37,1	37,1																																
Espèces (tox. aiguë) <i>Lactuca sativa</i>	Hulzebos et al., 1993, cité par ECOTOX on-	7,5	0,996848	1,8	0,010	0,35	0,5	0,31	0,31	EC50	14 j	croissance	79	114,39	70,92	70,92	189,15	117,27	117,27	Macroph.															
	Hulzebos et al., 1993, cité par ECOTOX on-	7,5	0,996848	1,4	0,008	0,27	0,5	0,31	0,31	EC50	14 j	croissance	168	312,77	193,92	193,92																			
	Neuhauser et al., 1986, cité par Denneman	6	0,9999	10	0,058	1,92	0,5	0,31	0,31	LC50	14 j	mortalité	401	104,20	64,60	64,60	104,20	64,60	64,60	Ann.															
	Neuhauser et al., 1986, cité par Denneman	6	0,9999	10	0,058	1,92	0,5	0,31	0,31	LC50	14 j	mortalité	450	116,93	72,50	72,50	116,93	72,50	72,50	Ann.															
														geom./10	13,21	8,19	8,19																		
														Facteur 10 puisque ce sont des données de toxicité aiguë																					
														<table border="1"> <tr><td>I, II</td><td>1,3</td><td>0,8</td><td>0,8</td></tr> <tr><td>III, IV</td><td>4,4</td><td>2,7</td><td>2,7</td></tr> <tr><td>V</td><td>8,8</td><td>5,5</td><td>5,5</td></tr> <tr><td></td><td>13,2</td><td>8,2</td><td>8,2</td></tr> </table>			I, II	1,3	0,8	0,8	III, IV	4,4	2,7	2,7	V	8,8	5,5	5,5		13,2	8,2	8,2			
I, II	1,3	0,8	0,8																																
III, IV	4,4	2,7	2,7																																
V	8,8	5,5	5,5																																
	13,2	8,2	8,2																																

Processus	néant																			
AQUATIQUES Eau douce																				
prot	Verbruggen et al., 2001						0,5	0,31	0,31	NOEC		données combinées:	65							
prot	Verbruggen et al., 2001						0,5	0,31	0,31	NOEC			33							
prot	Verbruggen et al., 2001						0,5	0,31	0,31	NOEC			140							
bact	Verbruggen et al., 2001						0,5	0,31	0,31	NOEC			64							
bact	Verbruggen et al., 2001						0,5	0,31	0,31	NOEC			280							
cyan	Verbruggen et al., 2001						0,5	0,31	0,31	NOEC			4,6							
alg	Verbruggen et al., 2001						0,5	0,31	0,31	NOEC			7,5							
crus	Verbruggen et al., 2001						0,5	0,31	0,31	NOEC			0,84							
crus	Verbruggen et al., 2001						0,5	0,31	0,31	NOEC			0,28							
pisc	Verbruggen et al., 2001						0,5	0,31	0,31	NOEC			2,2							
pisc	Verbruggen et al., 2001						0,5	0,31	0,31	NOEC			0,1							
pisc	Verbruggen et al., 2001						0,5	0,31	0,31	NOEC			0,75							
Marines alg	Verbruggen et al., 2001						0,5	0,31	0,31	NOEC			13							

HC 5	0,10			
HC 20	0,94			
HC 40	3,89			
HC 50	6,98			

	Kp std (l/kg)		
I	II, III, IV	V	
0,5	0,31	0,31	

	0,05	0,03	
I, II	0,5	0,3	0,3
III, IV	1,9	1,2	1,2
V	3,5	2,2	2,2

Calcul de VS_E et VI_E

MTBE

Type d'usage	I	II	III	
Calcul de VS_E				
Valeurs de HC:				
Espèces	6,70	4,02	8,04	
Processus	-	-	-	
QSAR/EP method	-	-	-	
Chaîne trophique	-	-	-	
	VS_E	6,70	4,02	8,04

Calcul de VS_E et VI_E

Dichlorométhane (chlorure)

Type d'usage		I	II	III
Calcul de VS_E				
Valeurs de HC:	Espèces	2,95	1,77	3,68
	Processus	-	-	-
	QSAR/EP method	16,10	9,70	20,30
	Chaîne trophique	-	-	-
	VS_E	3,0	1,8	3,7

Calcul de VS_E et VI_E

Trichlorométhane (chlorof

Type d'usage

I II III

Calcul de VS_E

Valeurs de HC:		I	II	III
Espèces		4,11	2,56	8,49
Processus		-	-	-
QSAR/EP method		14,20	8,90	19,50
Chaîne trophique		-	-	-
	VS_E	4,1	2,6	8,5

TRICHLOROMETHANE - Seuils génériques

Ajustement par Kp

(Kp_{aj} = Kp estimé pour propr. horizon A des sols standards)

Koc =	45,71	l/kg
pKa =	/	

AQUATIQUES

Eau douce (tox. chronique)

Source	0,69	0,43	0,43	NOEC	nr	data combinée	(mg/l)	
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Bringmann et al, 1978	0,69	0,43	0,43	NOEC	nr	92,5	LOEC=85 (NOEC+LOEC/2)
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Bringmann et al, 1978	0,69	0,43	0,43	NOEC	nr	550	LOEC=100 (NOEC+LOEC/2)
<i>Haematooccus pluvialis</i>	Knie et al, 1983	0,69	0,43	0,43	EC10	nr	440	
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	Brack et al, 1994 (cité par Inéris, 2005)	0,69	0,43	0,43	EC10	3j	3,61	
<i>Chlorococcales sp.</i>	Krebs, 1991	0,69	0,43	0,43	EC10	1j	300	
<i>Skeletonema costatum</i>	Cowgill et al, 1989	0,69	0,43	0,43	NOEC	5j	216	
<i>Daphnia magna</i>	Kuehn et al, 1989	0,69	0,43	0,43	NOEC	21j	6,3	
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Cowgill et al, 1991	0,69	0,43	0,43	NOEC	10j	3,4	
<i>Dreissena polymorpha</i>	Matthias et al, 1994	0,69	0,43	0,43	NOEC	10j	16,5	LOEC=33 (NOEC+LOEC/2)
<i>Rana pipiens</i>	Birge et al, 1980	0,69	0,43	0,43	LC10	9j	0,38	
<i>Lepomis macrochirus</i>	Bentley et al, 1979	0,69	0,43	0,43	NOEC	4j	86,6	
<i>Danio rerio</i>	Roderer, 1990	0,69	0,43	0,43	NOEC	14j	6,1	
<i>Oryzias latipes</i>	Scheil, 1987	0,69	0,43	0,43	NOEC	10j	122	
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Bentley et al, 1979	0,69	0,43	0,43	NOEC	4j	31,75	
Marines (tox. chronique)								
<i>Panaeus duorarum</i>	Bentley et al, 1979	0,69	0,43	0,43	NOEC	4	32	

HC 5	0,89						
HC 20	5,95						
HC 40	19,75						
HC 50	32,42						

Kp std (l/kg)					
I	0,61	0,38			
II, III, IV	4,11	2,56	2,56		
V	13,63	8,49	8,49		
	22,37	13,94	13,94		

Eau douce (tox. aiguë)

Source	0,69	0,43	0,43	EC50	3h	data combinée	(mg/l)	
<i>Chlamydomonas angulosa</i>	Hutchinson et al, 1980	0,69	0,43	0,43	EC50	3h	382,02	algue verte
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	Brack et al, 1994 (cité par Inéris, 2005)	0,69	0,43	0,43	EC50	3j	13,3	algue verte
<i>Chlorococcales sp.</i>	Krebs, 1985	0,69	0,43	0,43	EC50	1j	500	algue verte
<i>Chlorella vulgaris</i>	Hutchinson et al, 1980	0,69	0,43	0,43	EC50	3h	405,89	algue verte
<i>Scenedesmus subspicatus</i>	Kuehn, 1990	0,69	0,43	0,43	EC50	2j	560	algue verte
<i>Skeletonema costatum</i>	Cowgill et al, 1989	0,69	0,43	0,43	EC50	5j	437	Datomé
<i>Brachionus calyciflorus</i>	Scheil, 1991	0,69	0,43	0,43	LC50	1h	2	rotifère
<i>Brachionus plicatilis</i>	Scheil, 1991	0,69	0,43	0,43	LC50	1h	2,4	rotifère
<i>Daphnia magna</i>	Cowgill et al, 1991	0,69	0,43	0,43	EC50	10j	135,8	crustacé - branchiopode
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Cowgill et al, 1991	0,69	0,43	0,43	LC50	9j	235	crustacé - branchiopode
<i>Streptocephalus proboscideus</i>	Callieja et al, 1994	0,69	0,43	0,43	LC50	1j	771,19	crustacé - branchiopode
<i>Heliosma trivittis</i>	Horne et al, 1983	0,69	0,43	0,43	LC50	4j	232,4	molusque - gastéropode
<i>Chironomus riparius</i>	Horne et al, 1983	0,69	0,43	0,43	LC50	2j	84,34	insecte - diptères
<i>Tallaperla maria</i>	Horne et al, 1983	0,69	0,43	0,43	LC50	4j	134,21	insecte - plecoptères
<i>Carassius auratus</i>	Cherkin et al, 1964	0,69	0,43	0,43	EC50	1h	131,04	poisson
<i>Cyprinus carpio</i>	Mattice et al, 1981	0,69	0,43	0,43	LC50	5j	97	poisson
<i>Pimephales promelas</i>	EPA ECOTOX	0,69	0,43	0,43	LC50	4j	100,89	poisson
<i>Ictalurus punctatus</i>	Bean et al, 1981	0,69	0,43	0,43	LC50	4j	75	poisson
<i>Danio rerio</i>	Roderer, 1990	0,69	0,43	0,43	LC50	4j	121	poisson
<i>Micropterus salmoides</i>	Bean et al, 1981	0,69	0,43	0,43	LC50	4j	51,04	poisson
<i>Lepomis macrochirus</i>	Black et al, 1980	0,69	0,43	0,43	LC50	7j	2,03	poisson
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Black et al, 1980	0,69	0,43	0,43	LC50	28j	1,24	poisson
<i>Oryzias latipes</i>	Scheil, 1987	0,69	0,43	0,43	LC50	10j	215	poisson
<i>Leuciscus idus melanotus</i>	Juhnke et al, 1978	0,69	0,43	0,43	LC50	2j	175,9	poisson
<i>Bufo woodhousei</i>	Birge et al, 1980	0,69	0,43	0,43	EC50	7j	35,14	batracien
<i>Pseudacris crucifer</i>	Birge et al, 1980	0,69	0,43	0,43	EC50	7j	0,27	batracien
<i>Rana palustris</i>	Birge et al, 1980	0,69	0,43	0,43	EC50	8j	20,55	batracien
<i>Rana pipiens</i>	Birge et al, 1980	0,69	0,43	0,43	EC50	9j	4,16	batracien
Marines (tox. aiguë)								
<i>Panaeus duorarum</i>	Bentley et al, 1979	0,69	0,43	0,43	LC50	4	81,5	crustacé - décapodes
<i>Artemia salina</i>	Foster et al, 1985	0,69	0,43	0,43	EC50	1j	32,69	crustacé - branchiopode

(Facteur 10 puisque données de toxicité aiguë (EC50))					
HC 5 /10	0,17				
HC 20 /10	1,07				
HC 40 /10	3,36				
HC 50 /10	5,40				

Kp std (l/kg)					
I	0,12	0,07			
II, III, IV	0,73	0,46	0,46		
V	2,32	1,44	1,44		
	3,73	2,32	2,32		

QSAR

Source	0,69	0,43	0,43	NOEC		(mg/l)	
bact	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	1484,33	
bact	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	61,11	
bact	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	164,49	
bact	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	164,94	
alg	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	173,19	
alg	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	93,91	
alg	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	24,94	
fung	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	1550	
prot	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	166,32	
coel	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	21,51	
mol	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	20,08	
crus	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	25,14	
crus	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	21,29	
ins	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	37,12	
ins	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	25,28	
plsc	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	10,30	
amph	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	28,40	
amph	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	28,82	
amph	Calcul selon les QSAR du RVM (cfr Traas, 2001)	0,69	0,43	0,43	NOEC	32,65	

HC 5	5,89						
HC 20	20,65						
HC 40	45,45						
HC 50	62,99						

Kp std (l/kg)					
I	4,1	2,5			
II, III, IV	14,2	8,9	8,9		
V	31,4	19,5	19,5		
	43,5	27,1	27,1		

Calcul de VS_E et VI_E

Tétrachlorométhane (tétra

Type d'usage		I	II	III
Calcul de VS_E				
Valeurs de HC:	Espèces	0,45	0,28	1,99
	Processus	-	-	-
	QSAR/EP method	3,70	2,30	5,50
	Chaîne trophique	-	-	-
	VS_E	0,5	0,3	2,0

TETRACHLOROMETHANE - Seuils génériques

Ajustement par Kp (Kp aj = Kp estimé pour propr. horizon A des sols standards)

Koc =	56,23	l/kg
pKa =	/	

AQUATIQUES

Eau douce (tox. chronique)

<i>Microcystis aeruginosa</i>	Bringmann et al, 1978
<i>Escherichia coli</i>	Yamamoto et al, 1988
<i>Pseudomonas putida</i>	Bringmann et al, 1976 (cité par De Jong, 2007)
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	Brack et al, 1994 (cité par De Jong, 2007)
<i>Entosiphon sulcatum</i>	Bringmann et al, 1979
<i>Daphnia magna</i>	Nite database (cité par De Jong, 2007)
<i>Brachydanio rerio</i>	Roderer, 1990
<i>Pimephales promelas</i>	Kimball, 1978
<i>Lepomis macrochirus</i>	Dawson et al, 1977
<i>Rana catesbeiana</i>	Birge et al, 1980
<i>Rana palustris</i>	Birge et al, 1980

Marines (tox. chronique)

<i>Cyprinodon variegatus</i>	Mayer et al, 1994
------------------------------	-------------------

	0,85	0,52	0,52	NOEC	8 j	croissance pop.	52,5	LOEC=105 (NOEC-LOEC)		
	0,85	0,52	0,52	EC10	1 h	croissance	3700			bactéries
	0,85	0,52	0,52	NOEC	16 h	croissance	30			bactéries
	0,85	0,52	0,52	EC10	3 j	biomasse	0,0717			algue verte
	0,85	0,52	0,52	NOEC	nr	croissance	770			protozoaire
	0,85	0,52	0,52	NOEC	21 j	reproduction	0,41			crustacé - branchiopode
	0,85	0,52	0,52	NOEC	14 j	comportement	2,5			poisson
	0,85	0,52	0,52	NOEC	7 j	mortalité	37,1			poisson
	0,85	0,52	0,52	LC10	4 j	mortalité	63			poisson
	0,85	0,52	0,52	LC10	8 j	effets multiples	0,113			amphibien
	0,85	0,52	0,52	LC10	8 j	effets multiples	0,436			amphibien
	0,85	0,52	0,52	NOEC	nr	mortalité	4,5			poisson

HC	0,024		Kp std (l/kg)		0,02	0,01		
HC 20	0,535	I	II, III, IV	V	I, II	0,45	0,28	0,28
HC 40	3,826	0,85	0,52	0,52	III, IV	3,25	1,99	1,99
HC 50	8,631				V	7,34	4,49	4,49

Eau douce (tox. aiguë)

<i>Vibrio fischeri</i>	Kaiser et al, 1995
<i>Escherichia coli</i>	Yamamoto et al, 1988
<i>Nitrosomonas sp.</i>	Blum et al, 1991 (cité par De Jong, 2007)
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	Brack et al, 1994 (cité par De Jong, 2007)
<i>Selenastrum capricornutum</i>	Nite, 2007
<i>Scenedesmus subspicatus</i>	Freitag et al, 1994
<i>Tetrahymena pyriformis</i>	Yoshioka et al, 1985
<i>Brachionus calyciflorus</i>	Calleja et al, 1994
<i>Daphnia magna</i>	De Jong et al, 2007
<i>Moina macrocopia</i>	Yoshioka et al, 1986
<i>Gammarus pseudolimnacus</i>	Brooke, 1987
<i>Dugesia japonica</i>	Yoshioka et al, 1986
<i>Pimephales promelas</i>	EPA ECOTOX
<i>Poecilia reticulata</i>	Könemann, 1981
<i>Brachydanio rerio</i>	Roderer, 1990
<i>Lepomis macrochirus</i>	De Jong et al, 2007
<i>Onyzias latipes</i>	Schell, 1987
<i>Leuciscus idus melanotus</i>	De Jong et al, 2007
<i>Bufo woodhousei</i>	Birge et al, 1980
<i>Rana catesbeiana</i>	Birge et al, 1980
<i>Rana palustris</i>	Birge et al, 1980

Marines (tox. aiguë)

<i>Artemia salina</i>	Foster et al, 1984
<i>Meridia beryllina</i>	Dawson et al, 1977
<i>Limanda limanda</i>	Pearson, 1975, cité par Inéris, 2005

	0,85	0,52	0,52	EC50	30'	croissance	34			
	0,85	0,52	0,52	EC50	1 h	croissance	8700			bactéries
	0,85	0,52	0,52	EC50	1 j	armonie use	51			bactéries
	0,85	0,52	0,52	EC50	1 j	rép. use	527			bactéries
	0,85	0,52	0,52	EC50	3 j	biomasse	0,246			algue verte
	0,85	0,52	0,52	EC50	3 j	biomasse	0,89			algue verte
	0,85	0,52	0,52	EC50	3 j	inh. croissance	21			algue verte
	0,85	0,52	0,52	EC50	1 j	prolifération	830			protozoaire - cilié
	0,85	0,52	0,52	LC50	1 j	mortalité	5799			rotifère
	0,85	0,52	0,52	EC50	2 j	immobilité	19,98	geomean		crustacé - branchiopode
	0,85	0,52	0,52	LC50	3 h	mortalité	2,3			crustacé - branchiopode
	0,85	0,52	0,52	LC50	4 j	mortalité	11,1			crustacé - amphipode
	0,85	0,52	0,52	LC50	7 j	mortalité	0,2			platyhelminthes - turbellarié
	0,85	0,52	0,52	LC50	4 j	mortalité	29,9	geomean		poisson
	0,85	0,52	0,52	LC50	14 j	mortalité	67			poisson
	0,85	0,52	0,52	LC50	4 j	mortalité	24,3			poisson
	0,85	0,52	0,52	LC50	4 j	mortalité	55,23	geomean		poisson
	0,85	0,52	0,52	LC50	10 j	mortalité	96			poisson
	0,85	0,52	0,52	LC50	2 j	mortalité	72,3	geomean		poisson
	0,85	0,52	0,52	EC50	7 j	effets multiples	2,83			amphibien
	0,85	0,52	0,52	EC50	7 j	effets multiples	0,9			amphibien
	0,85	0,52	0,52	EC50	7 j	effets multiples	2,37			amphibien
	0,85	0,52	0,52	EC50	1 j	immobilité	30,40			crustacé - branchiopode
	0,85	0,52	0,52	LC50	4 j	mortalité	146,00			poisson
	0,85	0,52	0,52	CE50	4 j	mortalité	50,00			poisson

HC	0,028		Kp std (l/kg)		0,02	0,01		
HC 20	0,314	I	II, III, IV	V	I, II	0,27	0,16	0,16
HC 40	1,426	0,85	0,52	0,52	III, IV	1,21	0,74	0,74
HC 50	2,667				V	2,27	1,39	1,39

QSAR

bact	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
bact	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
bact	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
bact	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
alg	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
alg	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
alg	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
fung	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
prot	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
coel	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
moll	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
crus	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
crus	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
ins	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
ins	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
pisc	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
amph	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
amph	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)
amph	Calcul selon les QSAR du RVM (dfr Traas, 2001)

	0,85	0,52	0,52	NOEC						
	0,85	0,52	0,52	NOEC			377,06			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			22,17			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			59,68			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			55,29			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			53,63			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			22,04			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			4,44			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			426,20			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			43,96			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			5,05			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			4,71			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			6,91			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			3,50			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			5,52			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			5,93			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			2,37			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			6,41			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			4,29			
	0,85	0,52	0,52	NOEC			7,08			

HC	1,11		Kp std (l/kg)		0,9	0,6		
HC 20	4,41	I	II, III, IV	V	I, II	3,7	2,3	2,3
HC 40	10,61	0,85	0,52	0,52	III, IV	8,9	5,5	5,5
HC 50	15,05				V	12,8	7,8	7,8

Calcul de VS_E

Tétrachloroéthène

Type d'usage	I	II	III
Calcul de VS_E			
Valeurs de HC:			
Espèces	0,83	0,51	1,21
Processus	-	-	-
QSAR/EP method	5,70	3,50	8,90
Chaîne trophique	-	-	-
VS_E	0,8	0,5	1,2

Calcul de VS_E et VI_E

Trichloroéthène

Type d'usage

I II III

Calcul de VS_E

Valeurs de HC:		I	II	III
Espèces		3,14	1,93	6,21
Processus		-	-	-
QSAR/EP method		10,40	6,40	14,90
Chaîne trophique		-	-	-
	VS_E	3,1	1,9	6,2

Trichloroéthène - Seuils génériques

Ajustement par Kp (Kp aj = Kp estimé pour propr. horizon A des sols standards)

Koc = 114,82 l/kg
pKa = /

AQUATIQUES

Eau douce (tox. chronique)

Source	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
Bringmann et al, 1978	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
Brack et al, 1994 (cité par Inéris, 2005)	1,74	1,07	1,07	EC10	3 j				
Krebs, 1985	1,74	1,07	1,07	EC10	1 j				
Scheubel, 2001	1,74	1,07	1,07	EC10	4 j				
Scheubel, 2001	1,74	1,07	1,07	NOEC	21 j				
Matthias et al, 1994	1,74	1,07	1,07	NOEC	10 j				
Scheubel, 2001	1,74	1,07	1,07	NOEC	14 j				
Schell, 1987	1,74	1,07	1,07	NOEC	10 j				
Smith et al, 1991 (cité par Inéris, 2005)	1,74	1,07	1,07	NOEC	28 j				
Fort et al, 1993	1,74	1,07	1,07	NOEC	4 j				
Marines (tox. chronique)									
Dunaliella tertiolecta	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				

(mg/l)

Paramètre	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
data combinée									
croissance pop.	31,5	LOEC=63 (NOEC=LOEC/2)							
Biomasse	12,3								
assimilation	230								
proliférat. cellulaire	52,97	geomean							
reproduction	2,3								
comportement	4,6	LOEC=8,12 (NOEC=LOEC/2)							
comportement	3,1								
mortalité	40								
mortalité	5,76								
croissance	14,5	LOEC=29 (NOEC=LOEC/2)							
mortalité	0,1								

(mg/kg) (mg/kg) (mg/kg)

HC	0,28	Kp std (l/kg)				0,49	0,30		
		I	II, III, IV	V		I, II	3,14	1,93	1,93
		1,74	1,07	1,07		III, IV	10,11	6,21	6,21
HC 20	1,81					V	16,39	10,08	10,08
HC 40	5,81								
HC 50	9,42								

Eau douce (tox. aiguë)

Source	1,74	1,07	1,07	EC50	15'				
Photobacterium phosphoreum	1,74	1,07	1,07	EC50	15'				
Nitrosomonas sp.	1,74	1,07	1,07	EC50	1 j				
Chlamydomonas reinhardtii	1,74	1,07	1,07	EC50	3 j				
Chlorococcales sp.	1,74	1,07	1,07	EC50	1 j				
Scenedesmus abundans	1,74	1,07	1,07	EC50	4 j				
Tetrahymena pyriformis	1,74	1,07	1,07	EC50	1 j				
Hydra oligactis	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Daphnia magna	1,74	1,07	1,07	EC50	2 j				
Daphnia cucullata	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Daphnia pulex	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Moina macrocopa	1,74	1,07	1,07	LC50	3 h				
Gammarus pulex	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Asellus aquaticus	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Lymnaea stagnalis	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Dugesia japonica	1,74	1,07	1,07	LC50	7 j				
Erebodella octoculata	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Aedes aegypti	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Chironomus riparius	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Cloeon dilpterum	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Culex pipiens	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Ischnura elegans	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Nemoura cinerea	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Pimephales promelas	1,74	1,07	1,07	EC50	4 j				
Brachydanio rerio	1,74	1,07	1,07	LC50	2				
Jordanella floridae	1,74	1,07	1,07	LC50	4 j				
Lepomis macrochirus	1,74	1,07	1,07	LC50	4 j				
Oncorhynchus mykiss	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Oryzias latipes	1,74	1,07	1,07	LC50	10 j				
Leuciscus idus melanotus	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Xenopus laevis	1,74	1,07	1,07	EC50	4 j				
Ambystoma mexicanum	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Marines (tox. aiguë)									
Phaeodactylum tricornutum	1,74	1,07	1,07	EC50	nr				
Skeletonema costatum	1,74	1,07	1,07	EC50	4 j				
Eliminius modestus	1,74	1,07	1,07	LC50	2 j				
Mysidopsis bahia	1,74	1,07	1,07	LC50	4 j				
Limanda limanda	1,74	1,07	1,07	LC50	4 j				
Cyprondon variegatus	1,74	1,07	1,07	LC50	4 j				

(mg/l)

Paramètre	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
data combinée									
nr	115								
biomasse	0,81								
assimilation	36,5								
croissance	530								
croissance	410	geomean							
mortalité	75								
immobilité	7,76	geomean							
mortalité	57								
mortalité	44,6								
mortalité	2,3								
mortalité	24								
mortalité	30								
mortalité	56								
mortalité	1,7								
mortalité	75								
mortalité	48								
mortalité	64								
mortalité	42								
mortalité	55								
mortalité	49								
mortalité	70								
immobilité	21,9								
mortalité	60								
mortalité	3,1								
mortalité	45								
mortalité	42								
mortalité	82								
mortalité	166,16	geomean							
développement	36								
mortalité	48								

(mg/kg) (mg/kg) (mg/kg)

(Facteur 10 puisque données de toxicité aiguë (EC50))						0,61	0,38		
		I	II, III, IV	V		I, II	2,13	1,31	1,31
		1,74	1,07	1,07		III, IV	4,66	2,87	2,87
HC 5	0,35					V	6,44	3,96	3,96
HC 20	1,22								
HC 40	2,68								
HC 50	3,70								

QSAR

Source	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
bact	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
bact	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
bact	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
bact	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
alg	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
alg	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
fung	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
prot	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
coel	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
moll	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
crus	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
crus	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
ins	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
ins	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
pisc	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
amph	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
amph	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
amph	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				

(mg/l)

Paramètre	1,74	1,07	1,07	NOEC	nr				
data combinée									
nr	488,34								
biomasse	26,21								
assimilation	70,55								
croissance	66,70								
mortalité	66,03								
mortalité	29,13								
mortalité	6,28								
mortalité	540,91								
mortalité	56,35								
mortalité	6,67								
mortalité	6,23								
mortalité	8,77								
mortalité	5,06								
mortalité	8,20								
mortalité	7,64								
mortalité	3,15								
mortalité	8,55								
mortalité	6,37								
mortalité	9,55								

Calcul de VS_E et VI_E

Cis-1,2-dichloroéthène

Type d'usage		I	II	III
Calcul de VS_E				
Valeurs de HC:	Espèces	4,46	2,72	5,45
	Processus	-	-	-
	QSAR/EP method	11,40	6,90	15,20
	Chaîne trophique	-	-	-
	VS_E	4,5	2,7	5,5

Cis-1,2-DICHLOROETHENE - Seuils génériques

Ajustement par Kp (Kp aj = Kp estimé pour propr. horizon A des sols standards)

Koc =	35,48	l/kg
pKa =	/	

AQUATIQUES

Eau douce (tox. chronique)

Pimephales promelas

Great Lakes Environment Center, 2005

0,54 0,33 0,33 NOEC 1 j

		(mg/l)					
data combinée	mortalité	100	cis				
geomean		100			(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)

		Kp std (l/kg)					
HC 5	10,0	I	II, III, IV	V	I, II	5,40	3,30
HC 20	33,3	0,54	0,33	0,33	III, IV	18,00	11,00
HC 40	66,7				V	36,00	22,00
HC 50	100,0					54,00	33,00

Eau douce (tox. aiguë)

Nitrosomonas sp.

Nitrobacter sp.

Daphnia magna

Pimephales promelas

Lepomis macrochirus

Blum et al, 1991 (cité par De Jong, 2007)

Tang et al, 1992

LeBlanc, 1980

Kaiser et al, 1995

Buccafusco et al, 1981

0,54 0,33 0,33 EC50 1 j
0,54 0,33 0,33 EC50 1 j
0,54 0,33 0,33 LC50 2 j
0,54 0,33 0,33 LC50 4 j
0,54 0,33 0,33 LC50 4 j

		(mg/l)					
data combinée	ammonia use	80	trans				
	nitrite use	1777	trans				
	mortalité	220	trans				
	mortalité	207	cis				
	mortalité	140	cis+trans				
	bioluminescence	1536	trans				
	bioluminescence	905	cis				
	mortalité	11,20	cis+trans				

		Kp std (l/kg)					
geomean	248				(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
geomean/10	24,8						
HC 5	2,5	I	II, III, IV	V	I, II	1,34	0,82
HC 20	8,3	0,54	0,33	0,33	III, IV	4,46	2,72
HC 40	16,5				V	8,91	5,45
HC 50	24,8					13,37	8,17

QSAR

bact Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
bact Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
bact Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
bact Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
alg Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
alg Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
alg Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
fung Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
prot Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
coel Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
moll Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
crus Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
crus Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
ins Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
ins Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
pisc Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
amph Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
amph Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)
amph Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,54 0,33 0,33 NOEC
0,54 0,33 0,33 NOEC

		(mg/l)					
		1483,55					
		58,36					
		157,07					
		159,11					
		168,77					
		94,82					
		26,09					
		1533,57					
		165,39					
		21,72					
		20,27					
		24,87					
		22,50					
		39,73					
		25,52					
		10,43					
		28,82					
		30,84					
		33,30					

		Kp std (l/kg)					
HC 5	6,09	I	II, III, IV	V	I, II	3,3	2,0
HC 20	21,05	0,54	0,33	0,33	III, IV	11,4	6,9
HC 40	45,95				V	24,8	15,2
HC 50	63,46					34,3	20,9

Calcul de VS_E et VI_E

Trans-1,2-dichloroéthène

Type d'usage		I	II	III
Calcul de VS_E				
Valeurs de HC:	Espèces	6,52	4,04	8,09
	Processus	-	-	-
	QSAR/EP method	14,40	8,90	19,60
	Chaîne trophique	-	-	-
	VS_E	6,5	4,0	8,1

Trans-1,2-DICHLOROETHENE - Seuils génériques

Ajustement par Kp

(Kp aj = Kp estimé pour propr. horizon A des sols standards)

Koc =	52,48	l/kg
pKa =	/	

AQUATIQUES

Eau douce (tox. chronique)

Pimephales promelas

Great Lakes Environment Center, 2005

0,79 0,49 0,49 NOEC 1 j

data combinée (mg/l)				
mortalité	100	cis		poisson

geomean 100 (mg/kg) (mg/kg) (mg/kg)

HC 5	10,0	Kp std (l/kg)			7,90	4,90		
HC 20	33,3	I	II, III, IV	V	I, II	26,33	16,33	16,33
HC 40	66,7	0,79	0,49	0,49	III, IV	52,67	32,67	32,67
HC 50	100,0				V	79,00	49,00	49,00

Eau douce (tox. aiguë)

Nitrosomonas sp.

Blum et al, 1991 (cité par De Jong, 2007)

0,79 0,49 0,49 EC50 1 j

data combinée				
ammonia use	80	trans		bactéries

Nitrobacter sp.

Tang et al, 1992

0,79 0,49 0,49 EC50 1 j

nitrite use	1777	trans		bactéries
-------------	------	-------	--	-----------

Daphnia magna

LeBlanc, 1980

0,79 0,49 0,49 LC50 2 j

mortalité	220	trans		crustacé
-----------	-----	-------	--	----------

Pimephales promelas

Kaiser et al, 1995

0,79 0,49 0,49 LC50 4 j

mortalité	207	cis		poisson
-----------	-----	-----	--	---------

Lepomis macrochirus

Buccafusco et al, 1981

0,79 0,49 0,49 LC50 4 j

mortalité	140	cis+trans		poisson
-----------	-----	-----------	--	---------

Marines (tox. aiguë)

Vibrio fischeri

Sixt et al, 1995

0,79 0,49 0,49 EC50 30'

bioluminescence	1536	trans		bactéries
-----------------	------	-------	--	-----------

Vibrio fischeri

De Jong, 2007

0,79 0,49 0,49 EC50 30'

bioluminescence	905	cis		crustacé
-----------------	-----	-----	--	----------

Artemia salina

Sanchez-Fortun et al, 1997

0,79 0,49 0,49 LC50 1 j

mortalité	11,20	cis+trans		crustacé
-----------	-------	-----------	--	----------

geomean 248 (mg/kg) (mg/kg) (mg/kg)

geomean/10	24,8	Kp std (l/kg)			1,96	1,21		
HC 5	2,5	I	II, III, IV	V	I, II	6,52	4,04	4,04
HC 20	8,3	0,79	0,49	0,49	III, IV	13,04	8,09	8,09
HC 40	16,5				V	19,56	12,13	12,13
HC 50	24,8							

QSAR

bact

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

(mg/l)				
	1299,88			

bact

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	52,64			
--	-------	--	--	--

bact

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	141,68			
--	--------	--	--	--

bact

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	142,59			
--	--------	--	--	--

alg

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	150,28			
--	--------	--	--	--

alg

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	82,55			
--	-------	--	--	--

alg

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	22,21			
--	-------	--	--	--

fung

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	1352,39			
--	---------	--	--	--

prot

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	145,38			
--	--------	--	--	--

coel

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	18,91			
--	-------	--	--	--

moll

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	17,65			
--	-------	--	--	--

crus

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	21,93			
--	-------	--	--	--

crus

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	19,02			
--	-------	--	--	--

ins

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	33,33			
--	-------	--	--	--

ins

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	22,22			
--	-------	--	--	--

pisc

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	9,07			
--	------	--	--	--

amph

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	25,01			
--	-------	--	--	--

amph

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	25,87			
--	-------	--	--	--

amph

Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)

0,79 0,49 0,49 NOEC

	28,81			
--	-------	--	--	--

HC 5	5,23	Kp std (l/kg)			4,1	2,6		
HC 20	18,22	I	II, III, IV	V	I, II	14,4	8,9	8,9
HC 40	39,98	0,79	0,49	0,49	III, IV	31,6	19,6	19,6
HC 50	55,32				V	43,7	27,1	27,1

Calcul de VS_E et VI_E

Chloroéthène (chlorure

Type d'usage	I	II	III
Calcul de VS_E			
Valeurs de HC:			
Espèces			
Processus	-	-	-
QSAR/EP method	15,00	9,30	19,80
Chaîne trophique	-	-	-
VS_E	15,0	9,3	19,8

Calcul de VS_E et VI_E

1,1,1-trichloroéthane

Type d'usage		I	II	III
Calcul de VS_E				
Valeurs de HC:	Espèces	1,65	1,02	3,47
	Processus	-	-	-
	QSAR/EP method	12,30	7,50	18,30
	Chaîne trophique	-	-	-
	VS_E	1,7	1,0	3,5

Calcul de VS_E et VI_E

1,1,2-trichloroéthane

Type d'usage	I	II	III	
Calcul de VS_E				
Valeurs de HC:				
Espèces	3,48	2,15	4,15	
Processus	-	-	-	
QSAR/EP method	30,60	19,00	40,90	
Chaîne trophique	-	-	-	
	VS_E	3,5	2,2	4,2

Calcul de VS_E et VI_E

1,2-dichloroéthane

Type d'usage		I	II	III
Calcul de VS_E				
Valeurs de HC:	Espèces	5,25	3,24	8,91
	Processus	-	-	-
	QSAR/EP method	22,50	13,90	29,50
	Chaîne trophique	-	-	-
	VS_E	5,3	3,2	8,9

1,2-DICHLOROETHANE - Seuils génériques

Ajustement par Kp

(Kp aj = Kp estimé pour propr. horizon A des sols standards)

Koc =	30,90	l/kg
pKa =	/	

AQUATIQUES

Eau douce (tox. chronique)

Source	0,47	0,29	0,29	NOEC	nr	data combinée	(mg/l)	
Microcystis aeruginosa	Bringmann et al, 1978	0,47	0,29	0,29	NOEC	nr	population growth	52,5
Scenedesmus quadricauda	Bringmann et al, 1978	0,47	0,29	0,29	NOEC	nr	population growth	355
Chlorococcales sp.	Krebs, 1991	0,47	0,29	0,29	EC10	1 j	assimilation	500
Daphnia magna	Richter et al, 1983 (cité par Inéris, 2006)	0,47	0,29	0,29	NOEC	28 j	?	11
Danio rerio	Hahn et al, 1989	0,47	0,29	0,29	NOEC	14 j	Food consumpt.	1,82
Pimephales promelas	Benoit et al, 1982 (cité par Inéris, 2006)	0,47	0,29	0,29	NOEC	32 j	?	29

cyanobactérie	
algue verte	
algue verte	
crustacé - branchiopode	
poisson	
poisson	

Marines (tox. chronique)

Source	0,47	0,29	0,29	NOEC	4 j	?	(mg/l)	
Palaemon serratus	cité par Verschuere Handbook, 1996	0,47	0,29	0,29	NOEC	4 j	?	25
Cyprinodon variegatus	Heitmüller et al, 1981	0,47	0,29	0,29	NOEC	4 j	mortalité	130
Limanda limanda	cité par Verschuere Handbook, 1996	0,47	0,29	0,29	NOEC	4 j	?	60

crustacé - décapodes	
poisson	
poisson	

(mg/kg) (mg/kg) (mg/kg)

HC 5	2,24	Kp std (l/kg)	I 0,47	II, III, IV 0,29	V 0,29	I, II	1,05	0,65	
HC 20	11,17					I, II	5,25	3,24	3,24
HC 40	30,73					III, IV	14,44	8,91	8,91
HC 50	46,69					V	21,94	13,54	13,54

Eau douce (tox. aiguë)

Source	0,47	0,29	0,29	EC50	nr	data combinée	(mg/l)	
Haematococcus pluvialis	Knier et al, 1983	0,47	0,29	0,29	EC50	nr	population growth	130
Scenedesmus subspicatus	Behechti et al, 1995	0,47	0,29	0,29	EC50	4 j	population growth	188
Skeletonema costatum	EPA, 1978	0,47	0,29	0,29	EC50	4 j	photosynthèse	433
Daphnia magna	Richter et al, 1983	0,47	0,29	0,29	EC50	2 j	intoxication immob.	170
Gammarus fasciatus	Johnson et al, 1980	0,47	0,29	0,29	LC50	4 j	mortalité	100
Pteronarcys californicus	Mayer et al, 1986	0,47	0,29	0,29	LC50	4 j	mortalité	100
Pimephales promelas	Walbridge et al, 1983	0,47	0,29	0,29	LC50	4 j	mortalité	125,6
Lepomis macrochirus	Buccafusco et al, 1981	0,47	0,29	0,29	LC50	4 j	mortalité	430
Oncorhynchus mykiss	Mayer et al, 1986	0,47	0,29	0,29	LC50	4 j	mortalité	225
Oryzias latipes	Tsuji et al, 1986	0,47	0,29	0,29	LC50	2 j	mortalité	114,93
Leuciscus idus melanotus	Juhnke et al, 1978	0,47	0,29	0,29	LC50	2 j	mortalité	380,18

algue verte	
algue verte	
diatomée	
crustacé - branchiopode	
crustacé - amphipode	
insecte	
poisson	
poisson	
poisson	

Marines (tox. aiguë)

Source	0,47	0,29	0,29	LC50	2 j	mortalité	(mg/l)	
Elminius modestus	Pearson et al, 1975	0,47	0,29	0,29	LC50	2 j	mortalité	186
Americamysis bahia	EPA, 1978	0,47	0,29	0,29	LC50	4 j	mortalité	113
Artemia salina	Sanchez-Fortun et al, 1997	0,47	0,29	0,29	LC50	1 j	mortalité	14,42
Artemia salina	Foster et al, 1985	0,47	0,29	0,29	LC50	4 j	intoxication immob.	53,90
Ophryotrocha labronica	Rosenberg et al, 1975	0,47	0,29	0,29	LC50	4 j	mortalité	600,00

crustacé - maxillopode	
crustacé	
crustacé - branchiopode	
crustacé - branchiopode	
annélide - polychète	

(mg/kg) (mg/kg) (mg/kg)

(Facteur 10 puisque données de toxicité aiguë (EC50))									
HC 5	3,29	Kp std (l/kg)	I 0,47	II, III, IV 0,29	V 0,29	I, II	1,55	0,95	
HC 20	7,43					I, II	3,49	2,15	2,15
HC 40	12,41					III, IV	5,83	3,60	3,60
HC 50	15,34					V	7,21	4,45	4,45

QSAR

Source	0,47	0,29	0,29	NOEC		(mg/l)
bact	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	3159,52
bact	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	105,74
bact	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	284,59
bact	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	298,83
alg	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	328,56
alg	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	209,32
alg	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	65,32
fung	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	3150,80
prot	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	345,96
coel	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	47,95
moll	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	44,75
crus	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	51,10
crus	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	58,37
ins	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	107,83
ins	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	56,34
pisc	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	23,23
amph	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	64,78
amph	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	83,70
amph	Calcul selon les QSAR du RIVM (cfr Traas, 2001)	0,47	0,29	0,29	NOEC	76,21

(mg/kg) (mg/kg) (mg/kg)

HC 5	14,49	Kp std (l/kg)	I 0,47	II, III, IV 0,29	V 0,29	I, II	6,8	4,2	
HC 20	47,95					I, II	22,5	13,9	13,9
HC 40	101,80					III, IV	47,8	29,5	29,5
HC 50	138,97					V	65,3	40,3	40,3

Annexe D3 : Procédure de calcul des VSE pour les métaux lourds et les hydrocarbures aromatiques polycycliques

1. Développement détaillé de la méthodologie

1.1. La méthode a ses origines dans les travaux et références suivants :

- (1) la méthodologie générale du RIVM utilisée pour la proposition des paramètres MPC (*Maximum Permissible Concentration*) et SRC_{eco} (*Serious Risk Concentration*) décrite dans les documents :
- Verbruggen E.M.J., R. Posthumus and A.P. van Wezel. (2001). Ecotoxicological Serious Risk Concentrations for soil, sediment and (ground)water : updated proposals for first series of compounds (RIVM report N°711701 020) ;
 - van Vlaardingen P.L.A. and E.M.K. Verbruggen. (2007). Guidance for the derivation of environmental risk limits within the framework of 'International and national environmental quality standards for substances in the Netherlands' (INS). RIVM report n°601782001/2007.
- (2) les travaux de SPAQuE (2004)¹⁶ qui ont transcrit et ajusté la méthodologie du RIVM pour la définition des valeurs seuil pour les écosystèmes (VS_E) dans le cadre du développement de la grille des valeurs de « normes » figurant en annexe du décret du 5 décembre 2008 ;
- (3) les travaux de Smolders *et al.* (2009), les travaux de l'ICMM (*International Council on Mining and Metals*), ainsi que ceux du projet de recherche européen IBRACS sur la biodisponibilité des métaux lourds et les façons de prendre en compte les effets de « vieillissement » des polluants dans les procédures pour l'obtention de standards numériques de concentration en polluants à signification écotoxicologique :
- Smolders E., K. Oorts, P. Van Sprang, I. Schoeters, C.R. Janssen, S.P. McGrath and M.J. Mclaughlin. (2009). Toxicity of Trace Metals in Soil as Affected by Soil Type and Aging After Contamination: Using Calibrated Bioavailability Models to Set Ecological Soil Standards. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28: 1633–1642 ;
 - MERAG (2016). Metals Environmental Risk Assessment Guidance. Fact sheet N°5. Bioavailability : water, soils and sediments¹⁷ ;
 - SNOWMAN (2014). Integrating Bioavailability in Risk Assessment of Contaminated Soils: opportunities and feasibilities, "http://snowmannetwork.com/wp-content/uploads/Final-report-IBRACS_13-February_revised.pdf";

¹⁶ SPAQuE (2004). Etablissement d'une réglementation relative à l'assainissement des sols pollués en Région wallonne ; Procédure de calcul des normes pour le sol: valeur de référence (VR), valeur seuil (VS) et valeur d'intervention (VI) ; Document de consultation, mars 2004. (Note : rapport repris à l'annexe D2 de la partie D du « Guide de référence pour l'étude des risques – GRER », téléchargeable sur : <http://dps.environnement.wallonie.be>)

¹⁷ <https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/chemicals-management/merag/merag-fs5-6-2016.pdf>

(4) Sonnet Ph., H. Halen & K. Oorts. (2015). Intégration de la biodisponibilité dans l'évaluation des risques des sols pollués : opportunités et faisabilités (Rapport de la convention de recherche IBRACS pour le SPW, UCL, 10 novembre 2015). le rapport technique TGD (2003) : « *Technical Guidance Document on Risk Assessment* » (Part II) du European Chemical Bureau (ECHA).

1.2. Principe général

De façon générale, les procédures de calcul de concentrations critiques en agents polluants dans les sols basées sur la limitation des risques écotoxicologiques consistent à estimer la sensibilité des écosystèmes à un agent polluant donné à partir de données écotoxicologiques monospécifiques¹⁸ ou relatives à des processus biologiques enzymatiques ou microbiens définis (l'activité d'une enzyme, la respiration microbienne, la minéralisation de l'azote,...). Ces données, recensées dans la littérature, ont trait aux relations « concentration – effet » pour différentes espèces généralement présentes dans les écosystèmes terrestres (ou différents processus).

Suivant l'approche générale qui avait déjà été appliquée en 2004 pour la définition de la composante écotoxicologique des valeurs seuil (VS_E) de l'annexe 1 du décret du 5 décembre 2008, la procédure aboutit à préciser pour chaque polluant une courbe de distribution de sensibilité des espèces (ou des processus). Cette fonction statistique (courbes SSD), décrit la variation de la toxicité d'un polluant en fonction des espèces (ou des processus). Son traitement permet le calcul de la proportion d'espèces potentiellement affectées (ou de processus potentiellement affectés) par la présence du polluant dans le sol, à une concentration donnée (soit le paramètre FPA, la fraction Potentiellement Affectée exprimée en %).

Partant d'un choix de type stratégique sur les niveaux de protection des espèces et des processus à assurer sur les sols, en fonction de leur type d'usage – soit le paramètre TP, le taux de protection des espèces et des processus exprimé en pourcent et calculé comme $100 - FPA$ – on en déduit des seuils limites de concentrations proposables au titre de VS_E .

1.3. Étapes générales de la procédure

La procédure comporte quatre étapes :

- **Étape 1** - Recherche dans les bases de données disponibles des données écotoxicologiques relatives au polluant considéré concernant :
 - les espèces terrestres d'une part (organismes du sol autres que microbiens),
 - les processus microbiens et enzymatiques terrestres d'autre part.

Les données privilégiées sont celles portant sur des essais « concentration – réponse » de moyenne et longue durée de la vie des organismes (données de toxicité chronique ou sub-chronique) effectués sur des espèces biologiques pertinentes pour le contexte de la Wallonie et exprimés

¹⁸ Données mesurées sur une espèce particulière et pour un agent polluant donné.

sous la forme des points-limites écotoxicologiques NOEC ou EC₁₀ (cf. Figure 4). Si le nombre de données d'écotoxicité chroniques relatives à des espèces ou des processus terrestres est inférieur à 4, les données d'écotoxicité aiguës concernant des espèces ou processus terrestres et les données d'écotoxicité chroniques et aiguës concernant des espèces aquatiques sont également recherchées.

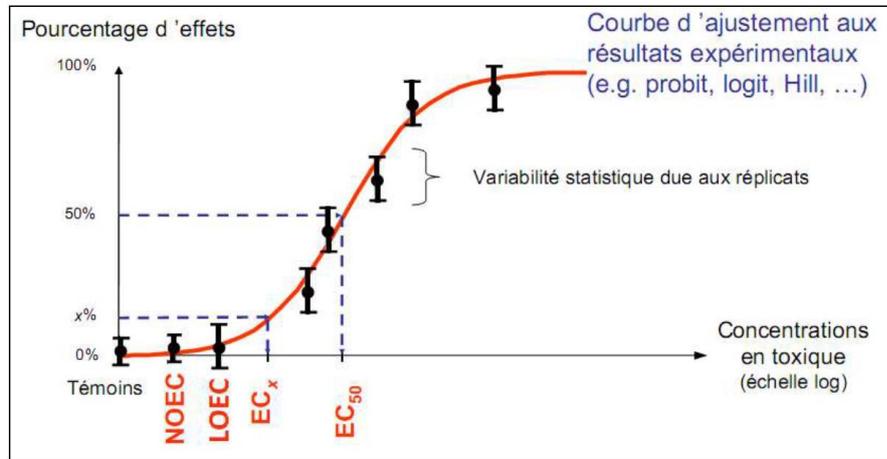


Figure 4 : Représentation graphique d'une courbe « concentration – réponse » issue d'un test écotoxicologique avec report de quelques points-limites : NOEC (No Observed Effect Concentration) : la concentration sans effet observé correspondant à la plus forte des concentrations testées (dans un essai concentrations-réponses) à laquelle aucun effet sur l'organisme vivant n'a été observé ; EC_x (Effect Concentration x %) correspondant à la concentration en polluant qui engendre un effet sur x % de la population par rapport aux échantillons témoins non soumis au polluant. (Source : Payetr, J. & Hugonnot, AiiDA, guide méthodologique version 1.1.).

- **Etape 2** - Correction des données sélectionnées pour les effets de lessivage-vieillessement (Aging/Leaching Effect) ; la correction effectuée est fonction du type de polluant. Elle n'est pas effectuée dans le cas des HAPs.
- **Etape 3** - Normalisation des données aux propriétés retenues pour le sol générique (sol de calcul) tel que considéré dans les travaux pour la révision des normes de l'annexe 1 du décret du 5 décembre 2008. Un ajustement des données est effectué sur base d'une relation empirique, spécifique à chaque polluant, exprimant la loi de variation du point-limite écotoxicologique avec l'une et/ou l'autre des propriétés des terres parmi les plus déterminantes de la réponse écotoxicologique.
- **Etape 4** - Extrapolation à l'écosystème et recherche des valeurs de concentration assurant les Taux de Protection (TP en %) critiques considérés pour la définition des VS_E ; ces taux de protection critiques des espèces potentiellement présentes sont :

- de 80 % (correspondant à une concentration critique HC₂₀)¹⁹ pour les usages de type I (nature) et II (agricole) ;
- de 60 % (correspondant à une concentration critique HC₄₀) pour les usages de type III (résidentiel).

Les choix à propos des taux de protection sont justifiés à la section 1.10 ci-après, conjointement avec les autres paramètres à caractère stratégique intervenant dans la méthode.

En parallèle, des taux de protection de 95 %, 90 % et 50 % sont également considérés afin de déduire, à titre orientatif, des concentrations critiques - respectivement HC₅, HC₁₀ et HC₅₀ - qui pourraient éventuellement présenter un intérêt dans la pratique (par exemple dans le cadre de l'évaluation des risques pour les écosystèmes ou pour fixer des objectifs d'assainissement).

La procédure d'extrapolation s'effectue alternativement comme suit :

- Dans le cas où le nombre de données écotoxicologiques de la littérature est suffisant (données pour au moins 4 groupes taxonomiques différents ou 4 processus microbiens distincts), les données corrigées (pour le % vieillissement) et normalisées aux propriétés du sol générique sont traitées de façon à déduire des courbes statistiques de distribution de fréquence SSD ou les fréquences sont exprimées de façon cumulative (cf. Figure 5). Ces relations seront considérées comme des relations « concentration-réponse » représentatives de l'écosystème dans son ensemble. Dans le cas particulier de l'évaluation de l'empoisonnement secondaire, on utilisera des relations SSD représentatives du groupe taxonomique.
- Alternativement, dans le cas où le nombre de données écotoxicologiques de la littérature est insuffisant (données pour moins de 4 groupes taxonomiques différents), l'extrapolation à l'écosystème est effectuée par l'application de facteurs calibrés (cf. Tableau 9) pour aboutir à des approximations des valeurs de concentration critiques HC₂₀ et HC₄₀ et, à titre orientatif, HC₅, HC₁₀ et HC₅₀.

¹⁹ HC_x : Hazardous Concentration for x % of species, la concentration dangereuse pour x % des espèces. Exemple : si la concentration en un polluant dans la terre excavée est inférieure à sa HC₅ alors 95 % des espèces biologiques dans (ou en lien avec) la terre excavée ne seront pas affectées par sa présence.

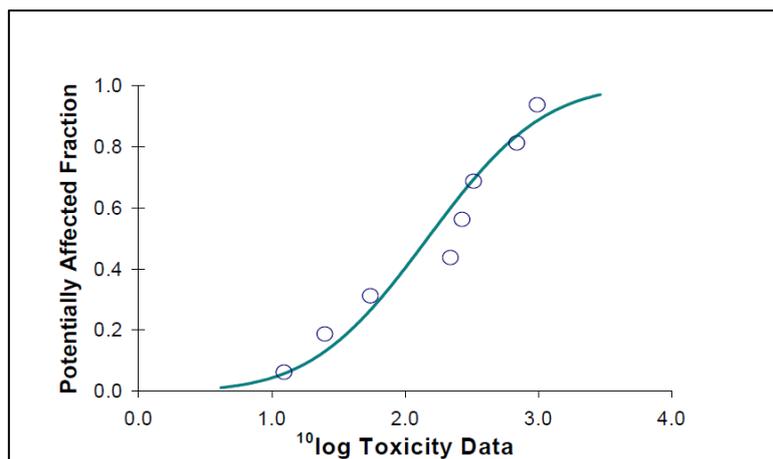


Figure 5 : Exemple d'une courbe SSD cumulative. L'axe X représente la concentration du point-limite écotoxicologique considéré (NOEC ou EC_{10}) des différentes espèces constitutives d'un groupe taxonomique donné ; l'axe Y représente la fraction potentiellement affectée (FPA) des différentes espèces constitutives du groupe taxonomique considéré.

1.4. Principale limitation

Les incertitudes associées à la méthode générale ont été présentées et discutées par l'ICCM (2007)²⁰.

La principale source d'incertitude sur les valeurs de concentrations critiques de type $HC_{100-TP\%}$ est l'abondance relative de données disponibles d'après la littérature, tout spécialement en ce qui concerne les données spécifiquement terrestres et portant sur des tests de toxicité chronique ou subchronique.

Afin de donner la possibilité de nuancer les implications que pourront avoir les dépassements de seuils limites qui seraient établis avec des niveaux de qualité des données-sources fortement distincts, la méthode ci-dessous, adaptée du RIVM, prévoit d'attribuer pour chaque polluant un score de confiance allant de 1 à 3 traduisant le degré de confiance faible (score de 1) ou élevé (score de 3) que l'on peut accorder aux propositions de seuils limites (cf. 1.9).

²⁰ ICMM (2007) - Metals Environmental Risk Assessment Guidance (MERAG). Fact sheet N°7. Uncertainty analysis.

1.5. Détail de l'étape 1 - Recherche et sélection des données écotoxicologiques pertinentes

1.5.1. Recherche des données pertinentes

Les bases de données suivantes sont exploitées :

1. les fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques de l'INERIS, France ;
2. les valeurs ECO-SSL (*Ecological Soil Screening Levels*) de l'U.S. EPA ;
3. TerraSys™ (version 1.09), logiciel canadien développé par la société *Sanexen Services Environnementaux Inc.* regroupant un ensemble de données écotoxicologiques ;
4. STARS (version 4.2.1), base de données allemande développée pour une utilisation dans le cadre de problèmes de santé et de pollution de sols (*Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety*) ;
5. les « *EFSA (European Food Safety Authority) reports* » (peer review) ;
6. les bases de données européennes publiées dans le cadre du règlement de l'Union européenne REACH via la consultation de leurs rapports techniques ainsi que de l'outil « *Soil PNEC Calculator 4.1* »²¹ ;
7. pour les HAPs : le document de référence du RIVM pour le calcul des « *Environmental Risk Limits* »²².

Le choix du type de données écotoxicologiques repose en majeure partie sur la proposition faite par l'Europe pour le calcul des $PNEC_{sol}$ (*Predicted No Effect Concentrations* pour les organismes du sol). Les données d'écotoxicité à long terme sont privilégiées dans la mesure où l'incertitude liée à l'extrapolation entre ce type de données de laboratoire et des données *in situ* serait réduite par rapport aux données de toxicité à court-terme.

Dans le cadre du calcul des $PNEC_{sol}$, les instances européennes recommandent l'utilisation de résultats de tests d'écotoxicité couvrant des fonctions écologiques de l'« écosystème sol » qui soient significatives et différentes. Afin de répondre à cet objectif, les données d'écotoxicité suivantes sont privilégiées :

- celles relatives aux producteurs primaires (plantes, représentant également une ressource importante pour les organismes hétérotrophes) ;
- celles relatives aux consommateurs (exemple : invertébrés, groupe important du compartiment sol jouant un rôle dans le maintien de la structure du sol) ;
- et enfin, celles relatives aux décomposeurs (exemple : microorganismes, jouant un rôle important dans la chaîne alimentaire et le recyclage des nutriments).

²¹ <http://www.arche-consulting.be/>

²² Verbruggen. (2012). Environmental risk limits for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) for direct aquatic, benthic, and terrestrial toxicity. RIVM report n°607711007/2012.

Suivant les lignes directrices du TGD (*Technical Guidance Document*), les données expérimentales (points-limite écotoxicologiques) sélectionnées sont les suivantes :

- les données de NOEC ou de ECx pour lesquelles le % d'effet x peut être de 5, 10 ou 20 % (les ECx sont selon les cas privilégiés aux NOECs car ces résultats sont plus facilement comparables entre eux d'un point de vue expérimental) ;
- les données de LOEC (*Lowest Observed Effect Concentration*) peuvent être converties en NOEC en fonction du niveau d'effet (x %) des LOECs :
 - Si $10 < x < 20$ % : $NOEC = LOEC/2$;
 - Si $x \geq 20$ % : EC₁₀ peut être calculé ou extrapolé ;
 - Si x est inconnu, aucune NOEC ne peut être déduite du LOEC ;
- les données de MATC (*Maximal Acceptable Toxicant Concentration*), correspondant à la moyenne géométrique de NOEC et LOEC, peuvent également être utilisées pour déduire un NOEC si celui-ci n'est pas rapporté dans l'expérimentation : $NOEC = MATC/\sqrt{2}$.

Si aucune donnée d'écotoxicité à long terme n'est disponible, les valeurs de type « EC₅₀ » et « LC₅₀ » sont alors sélectionnées.

Si enfin aucune donnée d'écotoxicité terrestre n'est disponible, la méthodologie de calcul prévoit que des données aquatiques puissent être utilisées.

Dans le cadre de l'évaluation de l'**empoisonnement secondaire**²³, le TDG prévoit également le calcul de « PNEC_{oral} ». Ceux-ci évaluent donc pour les organismes supérieurs de la chaîne trophique (oiseaux et mammifères) le transfert des polluants à travers cette chaîne, depuis leur nourriture. Ces effets de transfert sont généralement étudiés au cours de tests de toxicité chronique - résultant en des NOEC_{oiseaux/mammifères} exprimées en milligrammes de polluants par kilogramme de nourriture - afin d'évaluer les effets de la diète sur la mortalité, la reproduction ou la croissance des organismes. Ce transfert peut être notamment évalué *via* un facteur de bio-transfert (*Bio-Concentration Factor*, BCF) (et éventuellement un facteur de bio-amplification (*Bio-Magnification Factor*, BMF)).

Pour l'évaluation de l'empoisonnement secondaire, les données suivantes sont ainsi également recensées :

- données de toxicité (NOEC_{oiseaux/mammifères} [mg de polluant/kg de nourriture] ou NOAEL_{oiseaux/mammifères} [mg de polluant/kg de poids corporel/jour]²⁴ ;
- BCF « nourriture » [litre/kg_{nourriture fraîche}] (exemple : ver de terre).

²³ L'évaluation de l'empoisonnement secondaire s'effectue de façon séparée ; la procédure est détaillée à la section 1.8.3

²⁴ La NOAEL exprimée en mg de polluant/kg de poids corporel/jour peut être convertie en NOEC (mg de polluant/kg de nourriture) par l'intermédiaire du poids corporel de l'animal et du taux d'ingestion de celui-ci.

1.5.2. Sélection des données

Les données inventoriées au terme de l'exploration des différentes bases de données font l'objet d'un tableau de synthèse. La sélection finale des données brutes qui serviront de base pour le calcul des valeurs de concentration critiques (HC₂₀ et HC₄₀ et à titre orientatif les HC₅, HC₁₀ et HC₅₀) s'opère ensuite sur la base d'une analyse destinée à supprimer les doublons (jeux de données communs à plusieurs bases de données).

1.6. Détail de l'étape 2 - Correction des données sélectionnées pour les effets de lessivage-vieillessement (Aging/Leaching Effect)

De nombreux travaux scientifiques, dont notamment ceux cités en 2.1. (3) *supra*, ont pu démontrer - dans le cas des métaux lourds - que les résultats des tests écotoxicologiques tels qu'ils ont pu être communément réalisés jusqu'à ce jour surestiment l'effet toxique associé aux polluants. La raison fondamentale est que la méthode standard mise en œuvre dans les tests écotoxicologiques (tests concentration-réponse dont les résultats se trouvent dans les bases de données) est une méthode de laboratoire où des échantillons d'un sol sain ont été artificiellement portés à des concentrations croissantes de métal en introduisant celui-ci artificiellement sous une forme soluble (ajout du métal sous forme de sel soluble).

La différence entre les effets écotoxiques mesurables sur un sol artificiellement enrichi sous forme de sel et un sol pollué dans les conditions réelles de terrain est visible à la Figure 6 qui concerne à titre d'exemple le zinc et ses effets sur la croissance de l'orge.

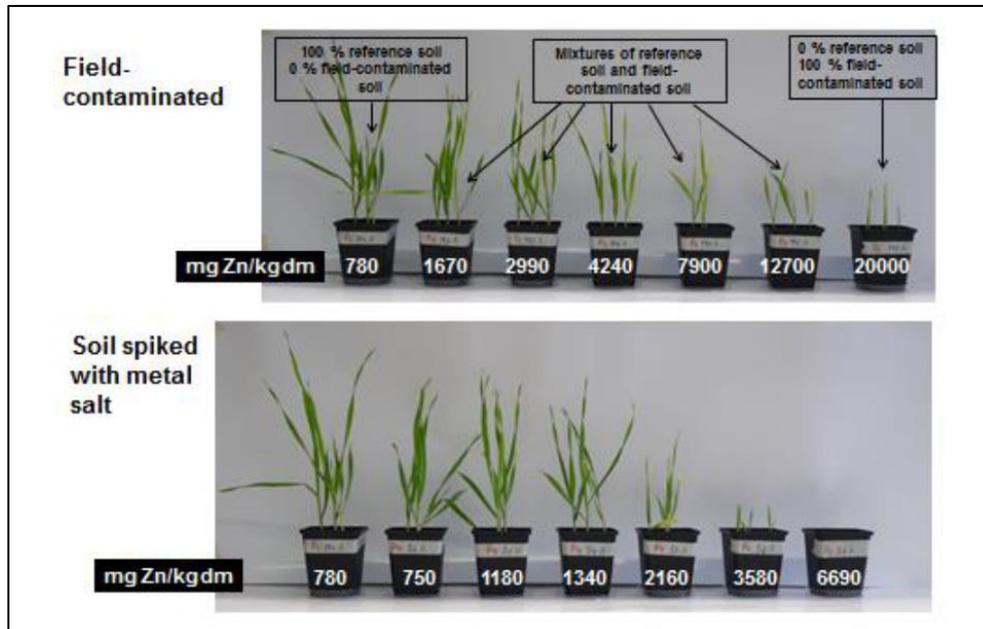


Figure 6 : Photo du dessus : croissance de l'orge mesurée sur un sol pollué en zinc dans les conditions de terrain : tests de concentrations croissantes obtenues en mélangeant (dans des rapports pondéraux décroissants de gauche à droite) le sol pollué avec du sol de nature équivalente non pollué. Photo du dessous : croissance de l'orge mesurée sur un sol pollué en zinc à des concentrations croissantes par l'ajout de ZnCl₂. La différence entre les deux photos montre

la toxicité réduite du zinc existant dans les conditions de terrain relativement à celle du zinc introduit sous forme de sel. (Figure reprise de SNOWMAN (2014), cf. 2.1. (3) ci-dessus).

La différence s'explique principalement par le fait que le métal introduit sous forme de sel soluble dans les essais de laboratoire n'a pas eu le temps de s'équilibrer avec la phase solide du sol (absence de vieillissement). Le processus physico-chimique à la base de l'effet mesuré est le processus de « fixation » par lequel sous l'effet du temps le métal diffuserait à l'intérieur des structures minérales où il deviendrait irréversiblement indisponible sur le plan biologique. Un autre effet invoqué expliquant les différences d'écotoxicité mesurables entre les sols pollués et les sols artificiellement enrichis en laboratoire est le lessivage des sols pollués qui a pu aboutir à une réduction (comparativement plus forte que pour les échantillons dopés) des formes les plus mobiles du métal dans le sol (formes solubles et échangeables).

Il s'ensuit que les points-limites écotoxicologiques (NOEC, etc.) déduits des essais de laboratoire doivent être corrigés pour pouvoir traduire l'écotoxicité réelle des sols pollués de terrain. Cette correction peut s'effectuer au départ des données empiriques dont la littérature scientifique dispose actuellement à propos des rapports entre les points-limites d'écotoxicité mesurables sur des sols pollués et ceux mesurés sur des échantillons dopés en sels de métal, soit les facteurs (A/L) *Ageing/Leaching*. A titre d'exemple, un facteur A/L d'une valeur de 2 signifie qu'il faut que la concentration soit deux fois plus élevée dans un sol lessivé et vieilli pour que métal produise le même effet que dans une expérience classique de toxicité réalisée au laboratoire.

Des gammes de valeurs empiriques des facteurs (A/L) ont pu être rapportées pour les différents métaux lourds. Elles sont reprises graphiquement ci-dessous.

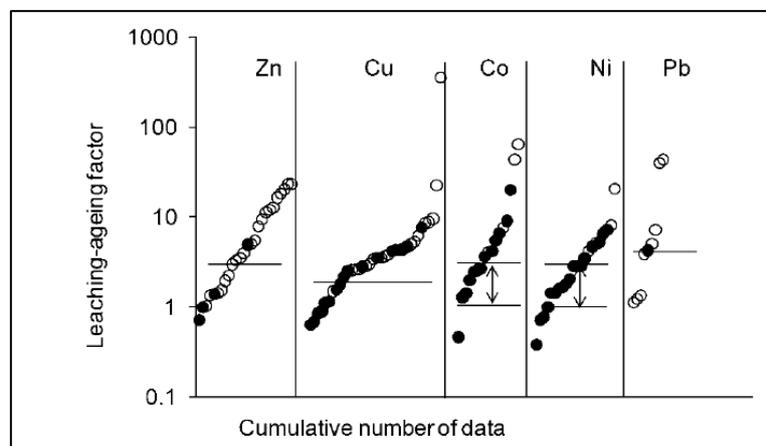


Figure 7 : Gammes de variation des valeurs empiriques des facteurs (A/L) Ageing/Leaching mesurés sur une série de 3 (Co, Zn, Ni, Pb) à 7 (Cu) sols sur lesquels ont été effectués entre 3 (Pb) et 9 (Co) tests écotoxicologiques différents. (Figure reprise de Smolders et al. (2009), cf. 2.1. (3) ci-dessus).

En pratique, pour corriger les données sélectionnées (cf. 1.5.2) pour les effets de lessivage-vieillessement, les valeurs du Tableau 1 (représentées schématiquement par les barres horizontales à la Figure 7) sont proposées pour être considérées. Pour le cobalt et le nickel, il a pu être mis en évidence expérimentalement une variation des facteurs (A/L) avec le pH du sol, de sorte que la

valeur à retenir (selon le pH retenu pour une terre excavée standard) peut être déduite de ces relations. Pour le cuivre, le plomb et le zinc, aucune règle de variation avec les propriétés du sol n'a encore pu être mise en évidence, de sorte que les facteurs proposés sont des valeurs à caractère générique (applicable sans distinction à tout type de sol ou de matière). Il est important de noter que ces valeurs gardent un caractère conventionnel compte tenu de la gamme de variation des valeurs expérimentales. Elles sont proposées pour être retenues dans la mesure où elles résultent d'un choix de type « conservatif » qui a été opéré par les experts désignés par les Etats membres de l'Union européenne dans le cadre des dossiers REACH et de la définition des procédures de l'Union européenne pour l'évaluation des risques et la dérivation de valeurs PNEC²⁵.

Tableau 6 : Valeurs du paramètre (A/L) proposées pour la correction des données brutes (Valeurs issues).

Elément	Facteur de vieillissement-lessivage (ageing/leaching factor)
Arsenic ⁽²⁾	2
Cadmium	/
Chrome ⁽²⁾	2,5
Cobalt ⁽¹⁾	1,2 à 3,5 (selon la valeur du pH _{CaCl2 0,01M} du sol)
Cuivre ⁽¹⁾	2
Mercure ⁽³⁾	2,5
Nickel ⁽¹⁾	1 à 4 (selon la valeur du pH _{CaCl2 0,01M} du sol)
Plomb ⁽¹⁾	4
Zinc ⁽¹⁾	3

(1) Données issues de Smolders et al. (2009) mises à jour dans l'outil « Metal_PNECsoil_calculator _v4_1.xlsm » (http://www.arche-consulting.be/_metal-csa-toolbox/soil-pnec-calculator/).

²⁵ Le propos vaut strictement pour le zinc, le cuivre, le nickel et le plomb. Pour l'arsenic et le chrome les valeurs sont reprises des options retenues de l'approche méthodologique qui a été développée en 2011 en Australie pour la définition de seuils limites écotoxicologiques pour les sols. Pour le mercure, la valeur est fixée par analogie avec le chrome d'après la moyenne des valeurs du paramètre (A/L) proposées pour le cadmium, le cuivre, le cobalt, le nickel, le plomb et le zinc.

(2) Données issues du NEPC (2011). Soil Quality Guidelines for Arsenic, Chromium (III), Copper, DDT, Lead, Naphthalene, Nickel & Zinc.

(3) Valeur fixée d'après la moyenne des valeurs du paramètre (A/L) proposées pour le Cd, Cu, Co, Ni, Pb et Zn.

Suivant le protocole méthodologique préconisé dans Smolders *et al.*, le facteur (A/L) s'applique à la donnée écotoxicologique (NOEC ou EC₁₀) de laquelle a été préalablement déduite la concentration de fond (la concentration d'origine géogénique) du polluant pour l'expérimentation réalisée (Equations 1 et 2). La logique sous-jacente est d'assurer que les corrections effectuées ne portent bien que sur le métal ajouté sous forme de sel soluble et non pas sur la concentration totale. On obtient ainsi un paramètre NOEC (ou EC₁₀) corrigé pour la concentration de fond expérimentale ($NOEC_{exp-cfond}$)²⁶ puis corrigé pour les effets de vieillissement/lessivage ($NOEC_{a-l}$)²⁷ :

$$NOEC_{exp-cfond} = NOEC_{exp} - \text{Concentration de fond}_{\text{expérimentale}} \quad [\text{Eq.1}]$$

$$NOEC_{a-l} = (NOEC_{exp-cfond} \times \frac{A}{L} \text{facteur}) \quad [\text{Eq.2}]$$

Suivant les recommandations méthodologiques formulées dans les rapports européens, le facteur (A/L) n'est appliqué que pour la correction des données issues de tests de courte durée. En pratique, lorsque les données ont porté sur des échantillons de sols préalablement équilibrés avec les concentrations ajoutées durant au moins 10 jours, aucune correction n'a été effectuée (facteur (A/L) = 1).

Pour ce qui concerne les polluants de la famille des HAP's, aucune correction des données pour les effets de lessivage-vieillessement n'a été introduite. Ceci est justifié par le fait que les données scientifiques sur la réduction de l'écotoxicité des composés HAP's avec le temps ne sont à ce jour pas suffisamment documentées que pour opérer de façon analogue avec ce qui est proposé pour les métaux lourds²⁸.

1.7. Détail de l'étape 3 - Normalisation des données aux propriétés retenues pour le sol générique.

Un ajustement des données est ensuite effectué pour tenir compte du fait que la réponse écotoxique du polluant dans les sols peut varier en fonction des propriétés physico-chimiques des sols, ce que l'on attribue à une variation dans le taux de biodisponibilité du polluant considéré.

Partant des relations reportées dans la littérature à propos, soit des règles de variation de la biodisponibilité du polluant, soit des règles de variation de points-limites écotoxicologiques, on

²⁶ Également désigné dans la littérature comme NOEC (ou EC₁₀) *added*.

²⁷ Également désigné dans la littérature comme NOEC (ou EC₁₀) *aged*.

²⁸ Sverdrup L.E., J. Jensen, P.H. Krogh, J. Stenersen. (2002). Studies on the effect of soil aging on the toxicity of pyrene and phenanthrene to a soil-dwelling springtail. *Environ Toxicol Chem.* 21(3):489-92.

procède à une normalisation des données aux propriétés du sol que l'on prend pour référence (sol génériques). Cette normalisation tient compte de ce que le sol de référence n'a pas les mêmes propriétés que le sol des expériences.

1.7.1. Propriétés du sol générique prises comme référence

Ces propriétés sont reprises de celles qui figurent dans le GRER v03 – partie B et sont reprises ci-dessous :

Tableau 7 : Propriétés du sol générique (valeurs reprises du GRER v03 – partie B).

Propriétés	Valeurs des paramètres
% Argile	9
pH (eau) ⁽¹⁾	5,0
pH (CaCl ₂ 0,01 M) ⁽¹⁾	4,3
% Matière organique	2,3
CEC (cmolc/kg)	11,0
eCEC ^(2, 3) (cmolc/kg)	7,3

(1) Valeurs calculées au départ des relations empiriques entre les valeurs pH_{KCL} (M), pH_{CaCl2 - 0,01 M} et pH_{eau} figurant dans S-Risk²⁹.

(2) Capacité d'Echange Cationique Effective : valeur de la CEC au pH du sol

(3) D'après la relation de Helling *et al.* (1964)³⁰:

$$eCEC = (30 + 4.4 \text{ pH}) \times \frac{\% \text{ Argile}}{100} + (-34.66 + 29.72 \text{ pH}) \times \frac{\% \text{ Matière Organique}}{100}$$

²⁹ VITO-ISSEP (2017). S-Risk version for the Walloon region: Technical guidance document.

³⁰ Helling C.S., H.G. Chesters and R.B Corey. (1964). Contribution of organic matter and clay topsoil cation-exchange capacity as affected by the pH of the saturating solution. *Soil Science of America Proceedings*, 28, 517-520.

1.7.2. Normalisation des données dans le cas des polluants organiques

Les données écotoxicologiques sont ajustées sur la base de la teneur en matière organique, considérée comme le facteur le plus déterminant de l'adsorption ainsi que de la biodisponibilité et au final l'écotoxicité des polluants. La relation suivante est utilisée:

$$\text{NOEC (ou EC}_{10} \text{ ou L(E)C}_{50})_{(\text{matière standard})} = \text{NOEC (ou EC}_{10} \text{ ou L(E)C}_{50})_{(\text{expérimental})} \times \frac{\text{Fom (matière standard)}}{\text{Fom (sol expérimental)}}$$

[Eq.3]

avec *Fom*, la fraction de matière organique [kg.kg⁻¹].

L'usage de cette relation pour la normalisation des données est introduit dans le rapport de Verbruggen *et al.* (2001)(cf 1.1(1)). L'équation est également reprise dans la méthode de référence du TGD (cf. 1.1 (4)). Suivant les lignes directrices formulées par le RIVM (Verbruggen *et al.* (2001)), la règle suivante est adoptée pour limiter la plage de valeurs sur laquelle l'équation [3] s'applique :

Si *Fom* > 30% ALORS *Fom* est plafonné à 30%.

1.7.3. Normalisation des données dans le cas des polluants inorganiques

L'ajustement se réalise à partir de pentes de régression établies au cours d'expériences réalisées sur des sols artificiellement pollués (en laboratoire). Ces pentes sont déduites de l'étude des corrélations pouvant exister entre la toxicité du polluant envers des espèces modèles et les propriétés générales des sols : pH, CEC ou eCEC, % d'argile, % matière organique). Il est important de noter que ces études ont également porté sur des sols artificiellement enrichis en métaux dans des essais de courte durée. La normalisation des données préalablement corrigées pour les effets de vieillissement s'effectue donc sous l'hypothèse, plus ou moins démontrée selon les cas, que les corrélations significatives mises en évidence restent valables après vieillissement des apports en métaux réalisés.

Les propriétés de sol considérées pour les différents métaux lourds sont données au Tableau 8 ci-dessous. Elles s'appliquent distinctement selon les groupes d'espèces (plantes, invertébrés et micro-organismes/processus microbiens). Les valeurs de pente sont reprises des travaux qui sont à l'origine des différentes régressions et qui sont cités dans le rapport MERAG (cf. 1.1 (3)).

Tableau 8 : Propriétés utilisées pour la correction des données pour la biodisponibilité (repris du rapport MERAG (cf. 2.1.1 (3)) ainsi que de l'outil « Metal_PNECsoil_calculator_v4_1.xlsm »).

	Propriété(s) du sol pour la normalisation des données d'écotoxicité
Cuivre	CEC, % matière organique, % argile et pH _{CaCl2 0,01M}
Plomb	eCEC
Nickel	CEC
Zinc	CEC, pH _{CaCl2 - 0,01M} et concentration de fond en zinc

Le paramètre $NOEC_{aj}$ déduit de l'Equation [2] est ajusté d'après :

$$NOEC_{aj} = NOEC_{a-l} \times \left(\frac{\text{Propriété matière standard}}{\text{Propriété expérimentale}} \right)^{Pente} \quad [\text{Eq.4}]$$

Avec :

NOEC_{aj} = la valeur de NOEC ajustée à la biodisponibilité attendue selon les propriétés de la matière standard ;

Propriété matière standard = valeur, pour la matière standard, de la propriété physico-chimique pour laquelle une régression significative avec un point-limite écotoxicologique a été mise en évidence ;

Propriété expérimentale = valeur, pour le sol expérimenté, de la propriété physico-chimique pour laquelle une régression significative avec un point-limite écotoxicologique a été mise en évidence ;

Pente = pente de régression à sélectionner pour le groupe taxonomique et l'espèce modèle étudiée.

Si plusieurs propriétés sont déterminées comme influençant significativement ensemble l'écotoxicité du polluant envers l'espèce étudiée, l'Equation 4 bis est plutôt utilisée :

$$NOEC_{aj} = NOEC_{a-l} \times \left(\frac{\text{Propriété 1 de la matière standard}}{\text{Propriété expérimentale 1}} \right)^{Pente 1} \times \left(\frac{\text{Propriété 2 de la matière standard}}{\text{Propriété expérimentale 2}} \right)^{Pente 2} \quad [\text{Eq.4bis}]$$

1.8. Détail de l'étape 4 : Extrapolation à l'écosystème et recherche des valeurs de concentration critiques assurant un impact négligeable sur l'écosystème

1.8.1. Procédure générale de traitement des données écotoxicologiques ajustées

A la suite de l'étape de normalisation, les données sont traitées afin d'en déduire les valeurs limites (VS_E) souhaitées, soit :

- HC_{20} : la concentration associée à un taux de protection (TP) de 80 %, déterminant la (proposition de) VS_E pour les usages de type I et II,
- HC_{40} : la concentration associée à un taux de protection (TP) de 60 %, déterminant la (proposition de) VS_E pour les usages de type III,

ainsi que les indices HC_5 , HC_{10} et HC_{50} établis à titre orientatif.

Cette dernière étape peut faire intervenir trois catégories de traitement des données en fonction de divers critères que sont : le type de test (court-terme versus long terme), l'effet testé ou encore les groupes taxonomiques et espèces étudiés. Les trois catégories de traitement sont :

- l'extrapolation statistique,
- l'extrapolation par l'application de facteurs,
- les relations d'équilibre de partition sol/eau (pour l'exploitation de données portant sur le milieu aquatique, dans les cas où cela se révèle nécessaire).

La méthodologie de mise en application de ces trois traitements est relativement commune entre ce qui a été réalisé pour la Wallonie (GRER, 2012-2015) et ce qui est préconisé au niveau de l'Europe (TGD, 2003) et repris par les Pays-Bas (RIVM, 2007). La procédure mise en œuvre est la suivante :

- S'il existe un nombre suffisant de données écotoxicologiques (de toxicité aiguë ou chronique), la méthode générale de l'extrapolation statistique est mise en œuvre. La méthode est détaillée en 1.8.2 ci-dessous conjointement avec les autres méthodes.

Par « un nombre suffisant de données écotoxicologiques », on entend l'existence de données pour au moins 4 groupes taxonomiques différents ou 4 processus microbiologiques différents.

Par « groupe taxonomique » (ou « taxon³¹ »), il est convenu d'entendre un embranchement (ou « phylum ») comme préconisé dans le TDG à l'échelle européenne. Le phylum est le deuxième des niveaux de classification classique des espèces vivantes (cf. Figure 8) ;

- S'il n'existe qu'un faible nombre de données écotoxicologiques (de toxicité aiguë ou chronique), c'est-à-dire concrètement des données pour moins de 4 groupes taxonomiques différents, c'est la méthodologie de l'application de facteurs qui est retenue.
- S'il n'existe aucune donnée écotoxicologique de type « terrestre », on fait appel aux relations d'équilibre sol/eau : les données écotoxicologiques de type « aquatique » sont alors exploitées via l'utilisation des coefficients de partition du polluant entre les phases liquide et solide (qui permettent la conversion de données de concentrations dans l'eau en concentrations dans une phase solide). Dans cette approche, les données relatives aux effets sur les poissons ne sont toutefois pas prises en compte.

³¹ Le taxon est une unité quelconque (genre, famille, espèce, sous-espèce, etc.) des classifications hiérarchiques des êtres vivants.

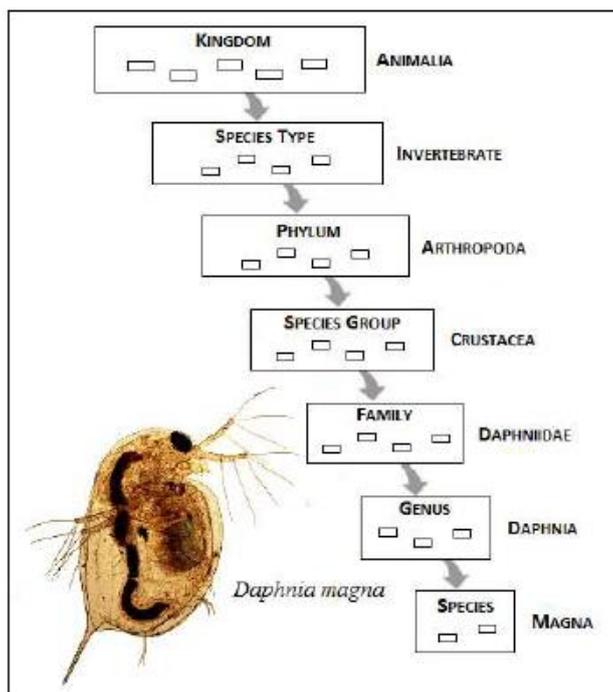


Figure 8 : Exemple de classification taxonomique pour l'espèce *Daphnia magna*.

1.8.2. Détail de la procédure

(1) Prétraitement des données

Avant d'entamer le traitement des données écotoxicologiques (les données corrigées et normalisées comme décrit en 1.6 et 1.7 *supra*) :

- on procède à leur regroupement par espèce (ou processus microbiologique) d'une part, puis par type d'effet étudié, d'autre part ;
- on établit ensuite la valeur de la moyenne géométrique pour les données relatives à une même espèce et à un même effet étudié ;
- on identifie pour chaque espèce l'effet le plus sensible : il s'agit de l'effet qui correspond à la moyenne géométrique la plus faible ; c'est cette valeur qui est finalement retenue pour chaque espèce.

(2) Détermination des valeurs $HC_{(100-TP\%)}$ pour les espèces du sol et processus biologiques du sol

Les données « processus biologiques » (microorganismes) et « espèces du sol » (invertébrés/plantes) sont traitées séparément afin de fournir dans un premier temps deux valeurs distinctes de concentrations critiques. On procède dans chaque cas comme suit :

- Si les données d'écotoxicité chronique (ex. : NOEC ou EC_{10}) se rapportent à plus de 4 groupes taxonomiques différents (ou 4 processus dans le cas des microorganismes), le

calcul des concentrations critiques s'effectue uniquement sur la considération de ces données (on n'utilisera pas les données d'EC₅₀/LC₅₀ éventuellement disponibles). Les seuils HC_(100-TP%) seront calculés par **extrapolation statistique** réalisée à partir des données après avoir vérifié qu'elles suivent bien la loi log-normale de distribution des valeurs³². Les percentiles 20, 40 (et à titre orientatif aussi : 50 (=médiane), 10 et 5) ainsi calculés permettront de déterminer les valeurs HC recherchées.

- Si le nombre de données d'écotoxicité chronique se rapporte à moins de 4 groupes taxonomiques différents (ou moins de 4 processus dans le cas des microorganismes), la méthode des facteurs est appliquée (voir ci-dessous pour la définition des facteurs appliqués). Selon les données disponibles, la méthode privilégiera d'abord le recours aux données terrestres puis aux données aquatiques.
- Pour le traitement des données terrestres, les données de toxicité aiguë et chronique sont traitées séparément et la moyenne géométrique des deux valeurs issues du traitement sera retenue. Le traitement des données terrestres de toxicité aiguë s'effectue de façon analogue (extrapolation statistique si les données se rapportent à minimum 4 groupes taxonomiques ou méthode par application de facteurs autrement).
- Pour ce qui concerne les facteurs utilisés lorsque la méthode statistique n'est pas applicable, il s'agit des valeurs présentées au Tableau 9. Ces valeurs sont justifiées comme suit :
 - les facteurs sélectionnés pour les NOEC et EC₁₀ ont été recherchés d'après la moyenne des valeurs empiriques que l'on peut déduire des jeux de données où la méthode générale a pu être appliquée (recherche des facteurs permettant de retrouver les valeurs des percentiles 50, 40, 20, 10, et 5 au départ de la moyenne géométrique). Ces valeurs empiriques sont données au Tableau 10.
 - les facteurs sélectionnés pour les L(E)C₅₀ correspondent aux valeurs sélectionnées pour les NOEC et EC₁₀ multipliées par un facteur 10 ; ceci suit une règle générale couramment adoptée selon laquelle un facteur de 10 peut être adopté par

³² Deux remarques importantes :

- Pour la recherche des valeurs V_{SE} qui ont fondé les Valeurs Seuil (VS) du DGS c'est plutôt la loi log-logistique qui a été utilisée, conformément aux méthodes qui avaient été initialement préconisées par le RIVM (méthodes d'Aldenberg et Slob (1993) décrites dans le GRER v02 – partie D, annexe D2) ; cependant, tel que mentionné dans les travaux plus récents du RIVM (cf. 1.1 (1)), la loi log-normale, qui est d'application plus simple, peut également être appliquée.
- préalablement à l'application de loi statistique de distribution log-normale des valeurs (pour la recherche, par extrapolation des valeurs des paramètres HC₅₀, HC₄₀, HC₂₀, HC₁₀ et HC₅), il est impératif de déterminer si les données écotoxicologiques répondent effectivement à cette loi ou non (test statistique de normalité de Shapiro-Wilk appliqué sur les données transformées (ln(concentration))). Dans la négative, l'extrapolation statistique ne peut se réaliser et l'on passera par la méthode d'extrapolation via l'application de facteurs.

défaut pour convertir les données de toxicité aiguë en estimation de donnée chronique (*Acute-to-chronic ratio, ACR*)³³.

Tableau 9 : Facteurs à appliquer aux données d'écotoxicité distingués en fonction des niveaux de protection souhaités de 80 %, 60 % (et à titre orientatif (en gris) : 95 %, 90 % et 50 %) et des espèces potentiellement présentes et des processus microbiens normalement attendus dans le sol générique.

Niveau de protection	NOEC et EC ₁₀	L(E)C ₅₀
95 %	Moyenne géométrique /5	Moyenne géométrique /50
90 %	Moyenne géométrique /3,5	Moyenne géométrique /35
80 %	Moyenne géométrique/2,5	Moyenne géométrique/25
60 %	Moyenne géométrique/1,3	Moyenne géométrique/13
50 %	Moyenne géométrique	Moyenne géométrique /10

³³ Traas T.P. (2001). Guidance document on deriving Environmental Risk limits. RIVM report N°601501012, Bilthoven, The Netherlands.

Tableau 10 : Valeurs empiriques des facteurs estimateurs des valeurs des percentiles 50, 40, 20, 10, et 5 déduites des courbes SSD relatives au Pb (processus) et au Zn (processus). Les valeurs correspondent au quotient entre la moyenne géométrique et la valeur du percentile – X déduit du traitement statistique de la courbe SSD. Les facteurs estimateurs finaux sont déduits de la moyenne des valeurs empiriques, après arrondi. Il s'agit des valeurs par lesquelles il faut diviser la moyenne géométrique pour avoir une estimation du percentile - X.

Niveau de protection	Percentile	Rapports moyenne géométrique/percentile d'après la courbe SSD du Plomb (processus)	Rapports moyenne géométrique/percentile d'après la courbe SSD du Zinc (processus)	Moyenne	Moyenne arrondie
95 %	0,5	4,5	5,4	4,9	5
90 %	0,1	3,2	3,7	3,5	3,5
80 %	0,2	2,2	2,4	2,3	2,5
60 %	0,4	1,3	1,3	1,3	1,3
50 %	0,5	1	1,0	1	1

- Pour le traitement des données aquatiques, les données considérées sont des données d'écotoxicité chroniques seules si elles existent pour plus de 4 groupes taxonomiques différents. Dans ce cas, l'extrapolation statistique peut être réalisée et se conclut par l'application de la théorie de partition à l'équilibre. Dans le cas contraire, les données de toxicité chronique et aiguë sont traitées séparément. Pour chacune d'elle, la théorie de partition à l'équilibre est appliquée et la moyenne géométrique est retenue.
- Dans certains cas critiques où les données sont particulièrement peu nombreuses, les données terrestres chroniques, les données terrestres aiguës, les données aquatiques chroniques et les données aquatiques aiguës pourront éventuellement être traitées séparément et en parallèle afin de donner plusieurs options de valeurs de concentration critique. Dans ce cas la moyenne géométrique est en principe retenue sauf l'existence d'éléments d'analyse motivant un autre choix.
- Si, pour les polluants organiques, aucune donnée d'écotoxicité n'est disponible, ou lorsque le nombre de données d'écotoxicité aquatiques (chroniques ou aiguës) est inférieur à 4, un recours aux *Quantitative Structure Activity Relationships* (QSARs³⁴) peut être fait. Les

³⁴ L'approche QSAR se fonde sur des corrélations entre la toxicité d'un composé particulier et l'un ou l'autre paramètre structural caractérisant ce composé (le coefficient de partition octanol-eau K_{ow} par

valeurs obtenues par extrapolation des NOEC estimées à l'aide des QSARs sont divisées par un facteur 10 pour déterminer les HC.

(3) Correction pour les concentrations de fond dans le cas des métaux.

Dans le cas particulier des métaux, les valeurs de HC obtenues pour les processus et les espèces concernent des fractions ajoutées (*Added Risk Approach*). Elles doivent encore être majorées de la fraction supposée biologiquement inactive de la concentration de fond. La relation suivante (Equation 5)³⁵ est utilisée:

$$HC_x = CC_x + (1 - \varphi)Cb \text{ [Eq. 5]}$$

avec :

HC_x [mg/kg_{sol}] : la concentration du sol (générique) assurant un taux de protection de (100 - x) % des espèces ou processus biologiques normalement présents ;

CC_x [mg/kg_{sol}] : la concentration critique pour un taux de protection de (100 - x) % des espèces ou processus biologiques telle que déduite des opérations décrites *supra* (approche « *risk added* » où les concentrations de fond des sols expérimentaux ont été défalquées des valeurs des points-limites) ;

φ [-] : la fraction biologiquement active ou biodisponible de la concentration de fond considérée pour le sol générique;

C_b [mg/kg_{sol}] : la concentration de fond considérée pour le sol générique.

L'application de l'équation [5] suppose de définir la concentration de fond C_b caractéristique du sol générique et, d'autre part, la fraction φ de cette concentration de fond qui est biologiquement active ou biodisponible.

Pour ce qui concerne la valeur de la concentration de fond C_b , il a été convenu de l'attribuer d'après le percentile-90 de la distribution des teneurs habituelles du sol dans la Base de données POLLUSOL 1³⁶. Il s'agit d'une option identique à celle qui a été considérée dans les travaux de 2004 pour l'établissement de la composante écotoxicologique (VS_E) des valeurs seuil du décret du 5 décembre 2008³⁷.

Cette option est encore justifiée à la section 1.10 ci-après.

exemple). L'approche QSAR dans le cadre précis de la recherche de points limites de concentration à signification écotoxicologique est détaillée dans la partie III du TGD (cf. 1.1 (4)).

³⁵ Peijnenburg W.J.G.M., M.A.G.T. van den Hoop, D. van de Meent, & J. Struijs. (1996). Een conceptuele basis voor het omgaan met risicogrenzen en achtergrondgehalten bij het afleiden van milieukwaliteitsdoelstellingen, RIVM, report n° 719101018, Bilthoven, The Netherlands.

³⁶ Convention d'étude SPAQuE – UCL – FUSAGx : Établissement et cartographie des teneurs bruits de fond en éléments traces métalliques (ETM) et micro-polluants organiques (MPO) dans les sols de la Région Wallonne » (POLLUSOL). Rapport final, janvier 2003).

³⁷ SPAQuE (2004). Etablissement d'une réglementation relative à l'assainissement des sols pollués en Région wallonne ; Procédure de calcul des normes pour le sol: valeur de référence (VR), valeur seuil (VS) et valeur d'intervention (VI) ; Document de consultation, mars 2004.

Concernant la signification de la valeur, il y a lieu de considérer que l'objectif des travaux de POLLUSOL 1 était d'estimer et de cartographier les concentrations de fond en éléments traces métalliques (ETM) et micropolluants organiques (MPO) dans les sols de la Wallonie, à l'exception de ceux susceptibles de porter l'empreinte de pollutions atmosphériques de proximité. Au cours de cette étude 163 points de sondage ont été investigués par carottage et analyse du sol de surface et de profondeur. Il s'agit de sites (points de sondage) éloignés de toutes sources de pollution, représentatifs des différents types de sol présents en Wallonie et répartis sur l'ensemble du territoire wallon (points de sondage sélectionnés de façon à couvrir les différents types de sol de façon proportionnelle à leur représentativité respective en terme de surface). En moyenne, 3 échantillons par site (en surface et à 2 profondeurs), soit au total 484 échantillons, ont été analysés pour leur contenu en éléments traces métalliques (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn).

Les valeurs des percentiles-90 ont été calculées au départ des teneurs représentatives des concentrations rencontrées dans le profil, lesquelles correspondent aux moyennes des concentrations mesurées dans les différents horizons pondérées par la hauteur de ceux-ci. Les résultats obtenus constituent les propositions pour le paramètre Cb. Ils sont donnés au Tableau 11 conjointement avec les valeurs moyennes.

Tableau 11 : Valeurs moyennes et percentiles-90 (en mg/kg_{sol sec}) déduites des teneurs moyennes en métaux dans les 163 profils échantillonnés dans le cadre de la convention POLLUSOL. Les teneurs moyennes dans les profils échantillonnés correspondent aux concentrations mesurées dans les différents horizons pondérées par la hauteur de ceux-ci (SPAQuE, 2004³⁸).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	mg/kg							
Teneur moyenne (mg/kg) dans les 163 profils échantillonnés dans le cadre de POLLUSOL	11,6	0,20	33,9	13,9	0,05	24,1	24,5	67,2
Valeurs des percentiles 90	18	0,58	49	20	0,2	34	105	120

³⁸ SPAQuE (2004). Etablissement d'une réglementation relative à l'assainissement des sols pollués en Région wallonne ; Procédure de calcul des normes pour le sol: valeur de référence (VR), valeur seuil (VS) et valeur d'intervention (VI) ; Document de consultation, mars 2004.

Pour ce qui concerne la fraction φ biologiquement active ou biodisponible, il s'agit d'un paramètre encore³⁹ difficilement maîtrisé⁴⁰. Partant du fait que la biodisponibilité des concentrations naturelles géogéniques est considérablement plus basse que celle qui est déterminée dans les tests écotoxicologiques, l'approche hollandaise a considéré, pour des raisons pratiques, que le métal d'origine géogénique est entièrement non biodisponible ($\varphi = 0$). Cette hypothèse rencontre cependant deux objections. D'une part, la vie sur terre elle-même ne serait pas possible si le zinc, le cuivre (pour les enzymes) ou le molybdène (pour la fixation de l'azote) du sol n'étaient pas au moins partiellement biodisponibles. D'autre part, les concentrations mesurables dans les sols - même en absence de pollution d'origine locale (avec source d'émission identifiable) - ne sont plus en aucun endroit du territoire exclusivement d'origine exclusivement géogénique : elles peuvent au moins en partie aussi résulter de pollutions diffuses (dont des pollutions atmosphériques de proximité) ou d'apports de matières exogènes s'il s'agit de sols urbains ou sub-urbains qui ont pu être remaniés et mélangés avec des matériaux d'apport.

Considérant le contexte dans lequel s'inscrit le développement de la présente méthode (qui impose de justifier suffisamment de précaution dans le calcul des valeurs HC finales), il est proposé de s'écarter légèrement de l'approche suivie aux Pays-Bas ainsi que dans le TGD en adoptant par défaut⁴¹ une valeur fixe pour le paramètre : $\varphi = 0,3$.

Cette valeur par défaut provient de l'application aux données du Tableau 7 de l'équation suivante :

$$\varphi = 1,824 - 0,249 \times pH_{eau} \quad (n = 34, r^2 = 0.72) \quad [\text{Eq. 6}]$$

qui a été considérée dans les méthodes adoptées pour le calcul des valeurs seuil de l'annexe 1 du décret du 5 décembre 2008 (cf. 1.1 (2))⁴².

L'option de sélectionner une valeur de $\varphi = 0,3$ - correspondant à fraction non biologiquement active de 70 % - est encore justifiée à la section 1.10 ci-après.

³⁹ Selon notre connaissance de la littérature à ce sujet. (NB : une revue de la littérature scientifique récente sur la question de la biodisponibilité des teneurs en métaux lourds d'origine strictement géogénique sort du cadre du travail et n'a pas été effectuée).

⁴⁰ La méthode de Peijnenburg *et al.* (cf. note de bas de page n°35) prévoyait de pouvoir faire varier le paramètre φ de 0 à 100 %.

⁴¹ A défaut de valeurs plus détaillées et ajustées pour les différents polluants d'après un examen détaillé de la littérature scientifique récente.

⁴² Il s'agit d'une relation statistique dégagée entre le Cd extractible sur base de tests de lessivages de longue durée réalisés en laboratoire avec une solution saline diluée, et les propriétés générales de 34 sols représentatifs des sols de Wallonie. Cette équation n'est strictement valable que pour le cadmium et dans les conditions où elle a été obtenue ; elle est néanmoins maintenue pour une approximation du paramètre φ à défaut d'une meilleure proposition d'équation prédictive connue de notre part à ce jour.

1.8.3. Non correction des HC_x pour les facteurs d'évaluation (« assessment factor » selon les recommandations méthodologiques du TGD)

Les recommandations méthodologiques du TGD ont prévu une évaluation finale des incertitudes associées au calcul des valeurs et, le cas échéant, l'introduction d'un facteur multiplicateur (*assessment factor*) supplémentaire. Dans la mesure où les méthodes du TGD concernent strictement la recherche de valeurs PNEC, les facteurs d'évaluation du TGD s'appliquent à des HC₅.

Des facteurs multiplicateurs de 2 ont été avancés pour le nickel et le plomb et des facteurs allant de 1 à 2 pour le cadmium et le zinc.

Le bien-fondé relatif de l'usage des « *assessment factor* » est discuté dans les publications du MERAG⁴³ et dans Smolders *et al.* (2009)⁴⁴.

Par convention, ces facteurs n'ont pas été utilisés ici. La raison est que les méthodes sont ici mises en œuvre avec la finalité d'en déduire des valeurs limites qui ne sont pas des objectifs de qualité mais des valeurs destinées à discriminer, parmi les terrains pollués, ceux à considérer comme potentiellement préoccupants et ceux qui ne le sont pas. Cette finalité impose, pour des raisons de pragmatisme d'application, de considérer une certaine marge de risque comme raisonnablement acceptable (cette considération n'étant pas de mise pour la définition de PNEC).

1.8.4. Détermination des HC_x pour les espèces des niveaux trophiques supérieurs (empoisonnement secondaire)

Les risques pour les oiseaux/les mammifères sont envisagés pour les polluants ayant tendance à la bioaccumulation/bioamplification. Suivant les recommandations du RIVM (1998)⁴⁵, ces risques sont considérés pour tous les métaux et dans le cas des polluants organiques, uniquement pour les substances dont le poids moléculaire est inférieur à 600 et la valeur de log K_{ow} supérieure à 3.

Deux procédures de calculs sont réalisées en parallèle. L'une s'attache à l'empoisonnement secondaire pour les oiseaux et mammifères en considérant une chaîne trophique extrêmement simplifiée: sol → vers → oiseaux et mammifères. L'autre vise spécifiquement les herbivores pâturants.

Les deux procédures sont mises en œuvre respectivement comme suit :

⁴³ ICMM (2007) - Metals Environmental Risk Assessment Guidance (MERAG). Fact sheet N°7. Uncertainty analysis.

⁴⁴ Smolders E., K. Oorts, P. Van Sprang, I. Schoeters, C.R. Janssen, S.P. McGrath and M.J. Mclaughlin. (2009). Toxicity of Trace Metals in Soil as Affected by Soil Type and Aging After Contamination: Using Calibrated Bioavailability Models to Set Ecological Soil Standards. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28: 1633–1642.

⁴⁵ de Bruijn J., T. Crommentuijn, K. van Leeuwen, E. van der Plassche, D. Sijm, M. van der Weiden. (1998). *Environmental Risk Limits in the Netherlands*, RIVM report N° 601640001, Bilthoven, The Netherlands.

- Pour les oiseaux et mammifères (hors herbivores) : le principe suivi repose sur l'approche initialement développée par Romijn *et al.* (1991)⁴⁶ pour le calcul d'une *Maximum Acceptable Risk Level (MAR)* : une concentration maximale admissible en polluant dans le sol n'entraînant pas d'effet néfaste pour l'oiseau/le mammifère. Le paramètre MAR s'exprime globalement comme suit :

$$\text{MAR} = \text{NOEC}_{\text{oiseaux/mammifères}} / \text{BCF}_{\text{vers}} \quad [\text{Eq. 7}]$$

avec NOEC, No Observed Effect Concentration,

BCF_{vers} , facteur de transfert sol-vers du polluant.

Dans ce calcul, on considère que l'oiseau/le mammifère consomme un maillon trophique intermédiaire, représenté dans le modèle par un ver de terre. Cette relation fait intervenir d'une part :

- un facteur de bioconcentration « sol → vers » (BCF_{vers}), modélisant la fraction de polluant passant du sol jusqu'au ver ($(\text{mg}_{\text{polluant}}/\text{kg}_{\text{vers poids frais}})/(\text{mg}_{\text{polluant}}/\text{kg}_{\text{sol sec}})$) ;

et d'autre part, une $\text{NOEC}_{\text{oiseaux/mammifères}}$, extraite de la littérature et représentant la concentration maximale en polluant dans la diète de l'oiseau/du mammifère (ici, supposée constituée exclusivement de vers), n'entraînant pas d'effet néfaste sur ce dernier (exprimée en $\text{mg}_{\text{polluant}}/\text{kg}$ d'aliment).

Dans la procédure telle qu'elle a été suivie, les règles de traitement des données $\text{NOEC}_{\text{oiseaux/mammifères}}$ sont identiques à celles décrites pour les processus biologiques et espèces du sol, de façon à aboutir par analogie sur des valeurs HC_x assurant une protection de 80 % ou 60 % (et à titre orientatif de 95 %, 90 % et 50 %) des espèces d'oiseaux et mammifères potentiellement présents dans l'écosystème. Dans la procédure, les données oiseaux sont toutefois traitées séparément des données mammifères (étant donné leur sensibilité potentiellement différente au polluant considéré) aboutissant à deux propositions de valeurs HC_x . Une autre différence avec les méthodes précédentes est que l'échelle du groupe taxonomique est ramenée à celle de l'espèce et non de l'embranchement.

- Pour les herbivores pâturants : le principe suivi repose sur une méthode décrite par le CCME (1996)⁴⁷ consistant à calculer une concentration maximale admissible en polluant dans le sol n'entraînant pas d'effet néfaste pour l'herbivore consommant de l'herbe sur sa

⁴⁶ Romijn C.A.F.M., R. Luttik, W. Sloof & J.H. Canton. (1991). Presentation of a general algorithm for effect-assessment on secondary poisoning. II terrestrial food chains. RIVM, report n° 679102007, Bilthoven, The Netherlands.

⁴⁷ CCME (1996). A protocol for the derivation of environmental and human health soil quality guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME-EPC-101E.

pâture ainsi que du sol entraîné lors du broutage⁴⁸. Pour calculer cette concentration maximale admissible en polluant dans le sol, il est nécessaire de calculer le rapport entre la dose maximale journalière assimilable par ingestion (DMJP) et la diète de l'herbivore :

- la DMJP dépend de la concentration maximale admissible en polluant dans la diète (c'est-à-dire une $NOEC_{herbivore}$, nommée $CM_{diète}$ dans le modèle) et qui est une valeur à rechercher dans la littérature pour l'herbivore d'intérêt ;
- la diète de l'herbivore est composée dans ce modèle :
 - d'une part, d'herbe (dont la concentration en polluant peut être estimée à partir facteur de bioconcentration ($BCF_{sol-plante}$)),
 - et, d'autre part, du sol supposé ingéré quotidiennement lors du broutage et dont la quantité peut être déduite de relations empiriques, distinctes pour les espèces domestiques d'une part et les espèces sauvages d'autre part.

La valeur déduite de cette approche est la concentration maximale en polluant dans le sol permettant de ne pas dépasser la dose maximale journalière assimilable par ingestion (DJMP). Il s'agit d'une valeur unique, non distinguée entre les différents niveaux de protection.

Dans l'application qui a été effectuée de la méthode, la vache a été prise pour référence. La concentration limite en polluant dans le sol permettant de ne pas dépasser la DJMP pour la vache (soit le paramètre CMA, la Concentration Maximum Admissible) est comparée avec les valeurs HC_x déduites des autres approches (espèces du sol et processus biologiques, d'une part, empoisonnement secondaire pour l'oiseau/le mammifère d'autre part) de façon à vérifier que les valeurs de HC_x issues des autres approches sont suffisamment précautionneuses pour prévenir aussi l'empoisonnement secondaire des herbivores pâturants.

1.8.5. Considération générale des HC_x et des valeurs CMA issues des calculs de l'empoisonnement secondaire dans l'élaboration des propositions finales de VS_E révisées

Il est prévu d'une façon générale que les résultats des calculs de l'empoisonnement secondaire seront consignés en vue de pouvoir être repris dans certains contextes où ils pourraient être utiles (études de risques, situations particulières en exploitation agricole, ...). Pour ce qui concerne leur prise en compte dans l'élaboration des VS_E , compte tenu des incertitudes qui pèsent sur certains paramètres sensibles intervenant dans les calculs (BCF_{vers} notamment), l'option méthodologique retenue est de considérer l'empoisonnement secondaire au cas par cas, en croisant l'ensemble des indications disponibles et en concertant les jugements experts.

⁴⁸ Dans ce modèle, l'exposition de l'herbivore au polluant par l'herbe et le sol qu'il consomme est fixée à 75 % de son exposition totale (les 25 autres pourcents proviennent d'une exposition autre telle que la consommation d'eau par exemple).

1.9. Attribution d'un score de confiance (SC) sur les valeurs HC_x finales

Le tableau ci-dessous (adapté de Lijzen *et al.* (2001))⁴⁹ est finalement utilisé pour attribuer un score traduisant la confiance relative avec laquelle il faut considérer les valeurs finales (ou intermédiaires) des valeurs des paramètres HC_x. Le score de confiance (SC) traduit la qualité relative des données à partir desquelles les HC_x sont établies. Il est important de noter que la portée des scores SC se limite à la comparaison entre des résultats qui seraient issus de jeux de données de qualités distinctes : l'incertitude propre à la façon dont les valeurs sont établies n'est pas prise en compte dans les facteurs SC.

Tableau 12 : Critères pour l'attribution d'un score SC qualifiant le degré de confiance à accorder aux valeurs calculées des paramètres HC_x d'après l'état des données écotoxicologiques disponibles dans la littérature.

Espèces et processus	
SC élevé (SC = 3)	≥ 4 groupes taxonomiques terrestres disponibles et utilisés
SC moyen (SC = 2)	< 4 groupes taxonomiques terrestres disponibles et utilisés
SC faible (SC = 1)	La valeur HC _x repose uniquement sur l'exploitation de données aquatiques
Empoisonnement secondaire	
SC élevé (SC = 3)	Données disponibles pour 4 espèces différentes ou plus
SC moyen (SC = 2)	Données disponibles pour moins de 4 espèces différentes
SC faible (SC = 1)	Seulement une donnée disponible

⁴⁹ Lijzen J.P.A. , A.J. Baars, P.F. Otte, M.G.J. Rikken, F.A. Swartjes, E.M.J. Verbruggen and A.P. van Wezel. (2001). Technical evaluation of the Intervention Values for Soil/sediment and Groundwater Human and ecotoxicological risk assessment and derivation of risk limits for soil, aquatic sediment and groundwater. RIVM report 711701 023, Bilthoven, The Netherlands.

Les critères du Tableau 12 sont utilisés à titre de règle générale. Les scores obtenus sont encore modulés par concertation entre les jugements experts, prenant l'ensemble des éléments disponibles en considération.

1.10. Justification des choix portés à propos des valeurs des paramètres sensibles à caractère stratégique et conventionnels : $HC_{(100-TP\%)}$, C_b et φ

Les choix à propos des trois paramètres sensibles ($HC_{(100-TP\%)}$, C_b et φ) ont fait l'objet de travaux de concertation en comité technique restreint.

Concernant les seuils caractéristiques de protection des espèces (et processus) les valeurs de HC_{20} (types d'usage I et II) et HC_{40} (usage III) ont été retenues sur l'argument principal que ces conventions stratégiques sont celles qui ont été adoptées dans le premier travail de définition des VS_E réalisé entre 2002 et 2004⁵⁰.

Pour ce qui concerne les usages les plus sensibles (types I et II) pour lesquels l'enjeu écologique est plus particulièrement important, l'idée qui a été discutée d'éventuellement opter pour des taux de protection (TP %) plus importants n'a pas été retenue sous l'argument que la première fonction des seuils recherchés est d'effectuer un tri parmi les terrains pollués pour identifier ceux susceptibles de représenter une préoccupation sérieuse (la « menace grave »). A ce titre, le seuil de protection de 80 % (HC_{20}) est d'application plus réaliste et traduit mieux la notion de risque acceptable que les options plus strictes de 90 % (HC_{10}) ou 95 % (HC_5) plutôt caractéristiques des niveaux de risques négligeables.

Les concertations ont également abouti à opter pour rendre systématiquement équivalentes les valeurs HC_x de même que les valeurs VS_E proposables pour les usages de types I et II. Ce choix s'oppose à celui qui consisterait à opérer des distinctions notamment parce que les espèces représentatives sont différentes et également que les sols des zones naturelles ont des propriétés générales (e.a. de pH et de teneur en matières organiques) significativement différentes de celles des sols des zones agricoles (arguments qui ont prévalu dans les travaux de 2004). L'option pour des HC_x et VS_E équivalentes a finalement été retenue sous les arguments : d'une part de simplifier, et d'autre part de ne pas laisser entendre que l'un ou l'autre des deux types d'affectation serait à privilégier sous l'angle de la protection écologique.

Concernant le choix à propos de la statistique descriptive à retenir pour définir la valeur de concentration de référence C_b (cf. 2.8.2. (3) *supra*), l'option de s'aligner sur la statistique (p-90 de la distribution des teneurs « habituelles ») qui avait déjà été considérée dans les travaux de

⁵⁰ SPAQuE (2004). Etablissement d'une réglementation relative à l'assainissement des sols pollués en Région wallonne - Procédure de calcul des normes pour le sol : valeur de référence (VR), valeur seuil (VS) et valeur d'intervention (VI) - Document de consultation, mars 2004. (Note : rapport repris à l'annexe D2 de la partie D du « Guide de référence pour l'étude des risques – GRER », téléchargeable sur : <http://dps.environnement.wallonie.be>)

2004 a été retenue sous l'argument que cette valeur reste précautionneuse au regard de la distribution des concentrations de fond telle qu'on peut l'établir en incluant l'ensemble des surfaces où le décret sol est d'application. Pour le cuivre, à titre d'exemple, on peut montrer que le p-90 de la distribution des valeurs de teneurs habituelles (base de données POLLUSOL 1) correspond approximativement au p-25 de la distribution des concentrations en cuivre des sols repris dans la base de données du secteur de la construction⁵¹.

Concernant le choix à propos du paramètre φ (la fraction biologiquement active ou biodisponible de la concentration de fond considérée pour le sol générique, cf. 2.8.2) il a été convenu que le choix ($\varphi = 0,3$; valeur fixée d'après une relation empirique disponible pour le cadmium) gardait une base plus intuitive que réellement scientifique. Selon toute vraisemblance, il s'agit d'un choix de type « *realistic worst case* » qui reste préférable à l'option $\varphi = 0$. Il a été convenu que la valeur de 0,3 reste à consolider dans le futur sur la base de nouvelles données scientifiques.

⁵¹ Ram-Ses (2017). Validation (éco)toxicologique des seuils de concentration d'une série de dix polluants de la liste de l'Annexe II.1 de l'AGW du 14 juin 2001 et propositions pour une révision des valeurs. VALSECO - Rapport d'avancement N°3 : Définition détaillée de la méthodologie avec application à 10 polluants.

2. Résultats

2.1. Résultats pour les métaux lourds

2.1.1. Cuivre

Seuils limites pour le cuivre corrigés (espèces et processus) pour la concentration de fond supposée inactive (14 mg/kg)									
Récepteurs écologiques	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires	
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	193	159	104	77	60	-	3	Données terrestres disponibles pour 4 groupes taxonomiques différents
	Processus du sol	200	156	90	62	46	-	3	Données terrestres disponibles pour plus de 4 processus microbiens différents
	Oiseaux	1489	1145	596	425	298	-	2	Données disponibles pour 2 espèces
	Mammifères	990	559	148	55	24	-	3	Données terrestres disponibles pour 4 espèces différentes
	Herbivores pâturants (vache)			-	-	-	87	-	
	Herbivores pâturants (mouton)						33		
	Herbivores pâturants (moyenne géom.)						53		
Minimum (espèces et processus)	193	156	90	62	46	-	3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg Cu/kg sol]	
Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	193	156	90	55	24	32	3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg Cu/kg sol]	
VSE		156	90				3	La VSE pour les usages de type I et II est plafonnée à la valeur de 53 mg/kg pour tenir compte du risque d'empoisonnement secondaire pour les herbivores pâturants	

2.1.2. Nickel

Seuils limites pour le nickel corrigés pour la concentration de fond supposée inactive (24 mg/kg)									
	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires	
Récepteurs écologiques									
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	208	166	98	77	61	-	2	Données terrestres disponibles pour moins de 4 groupes taxonomiques différents
	Processus du sol	183	146	87	69	56	-	3	Données terrestres disponibles pour plus de 4 processus microbiens différents
	Oiseaux	13515	10396	5406	3861	2703	-	1	Données disponibles pour 1 espèce
	Mammifères	1123	864	449	321	225	-	2	Données terrestres disponibles pour 4 espèces différentes
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	582	2	Une donnée terrestre disponible pour un herbivore
	Minimum (espèces et processus)	183	146	87	69	56	-	2 à 3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg Ni/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	183	146	87	69	56	582	1 à 3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg Ni/kg sol]
	V _{SE}		146	87				2 à 3	V _{SE} articulée sur les risques pour les processus du sol

2.1.3. Plomb

Seuils limites pour le plomb corrigés (espèces et processus) pour la concentration de fond supposée inactive (73,5 mg/kg)									
	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires	
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	918	723	411	315	242	-	2	Données terrestres disponibles pour 3 groupes taxonomiques distincts
	Processus du sol	824	678	438	324	257	-	3	Données terrestres disponibles pour plus de 4 processus microbiens différents
	Oiseaux	2267	1363	418	173	83	-	3	Données disponibles pour 5 espèces
	Mammifères	4887	3774	2071	1322	913	-	3	Données terrestres disponibles pour 9 espèces différentes
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	3839	-	
	Minimum (espèces et processus)	824	678	411	315	242		2 à 3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg Pb/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	824	678	411	173	83	3839	2 à 3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg Pb/kg sol]
V _{SE}		678	411				2 à 3	V _{SE} articulée sur les risques pour les espèces (HC ₂₀) et les processus du sol (HC ₄₀)	

2.1.4. Zinc

Seuils limites pour le zinc corrigés (espèces et processus) pour la concentration de fond supposée inactive (84 mg/kg)									
Récepteurs écologiques	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires	
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	514	415	256	207	170	-	2	Données terrestres disponibles pour moins de 4 groupes taxonomiques différents
	Processus du sol	1344	1102	482	359	287	-	3	Données terrestres disponibles pour plus de 4 processus microbiens différents
	Oiseaux	745	573	298	213	149	-	2	Données terrestres disponibles pour 2 espèces différentes
	Mammifères	598	377	129	58	30	-	3	Données terrestres disponibles pour plus de 4 espèces différentes
	Moyenne géométrique oiseaux et mammifères	667	465	196	111	67			
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	693	2	Une donnée terrestre disponible pour un herbivore
Minimum (espèces et processus)	514	415	256	207	170	-	2 à 3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg Zn/kg sol]	
Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	514	377	129	58	30	693	2 à 3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg Zn/kg sol]	
VSE		415	196					2 à 3	VSE articulée sur les risques pour les espèces du sol au niveau HC ₄₀ et les risques d'empoisonnement secondaire (oiseaux et mammifères) au niveau au niveau HC ₂₀

2.1.5. Arsenic

Seuils limites pour l'arsenic (mg/kg) pour une concentration de fond inactive de 12,6 mg/kg									
Récepteurs écologiques		HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	43	36	25	21	19	-	2	Données terrestres disponibles pour moins de 4 groupes taxonomiques différents
	Processus du sol	41	25	14	13	13	-	1	Données terrestres disponibles pour plus de 4 processus microbiens différents ; très grande plage de variation des données
	Oiseaux	469	361	188	134	94	-	2	Données disponibles pour 3 espèces
	Mammifères	253	191	99	61	40	-	3	Données terrestres disponibles pour 7 espèces différentes
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	226	2	Une donnée terrestre disponible pour un herbivore (mouton)
	Minimum (espèces et processus)	41	25	14	13	13	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg As/kg]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	41	25	14	13	13	-	1 à 3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg As/kg]
V _{SE}		32	21					1 à 2	V _{SE} : moyenne des valeurs HC _x pour les espèces et les processus pondérée par leurs scores de confiance respectifs

2.1.6. Cadmium

Seuils limites pour le cadmium corrigés (espèces et processus) pour la concentration de fond supposée inactive (0,41 mg/kg)

Récepteurs écologiques		HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	13,9	10,8	6,0	4,0	2,9	-	3	Données terrestres disponibles pour plus de 4 groupes taxonomiques différents
	Processus du sol	24,9	17,7	8,0	4,4	2,7	-	3	Données terrestres disponibles pour plus de 4 processus microbiens différents
	Oiseaux	13,2	8,7	3,4	1,7	1,0	-	3	Données disponibles pour 5 espèces
	Mammifères	6,2	4,3	1,8	1,0	0,6	-	3	Données terrestres disponibles pour 5 espèces différentes
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	13,9	10,8	6,0	4,0	2,7	-	3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg Cd/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	6,2	4,3	1,8	1,0	0,6	-	3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg Cd/kg sol]
V _{SE}		4,3	1,8					3	V _{SE} articulée sur les risques d'empoisonnement secondaire pour les petits mammifères

2.1.7. Chrome

Seuils limites pour le chrome (mg/kg) pour une concentration de fond inactive de 34,3 mg/kg									
Récepteurs écologiques	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires	
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	91	78	57	50	46	-	2	Données terrestres disponibles pour moins de 4 groupes taxonomiques différents
	Processus du sol	414	325	191	133	102	-	3	Données terrestres disponibles pour plus de 4 processus microbiens différents
	Oiseaux	919	707	368	263	184	-	2	Données disponibles pour 3 espèces
	Mammifères	443	237	56	19	8	-	3	Données terrestres disponibles pour 5 espèces différentes
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	91	78	57	50	46	-	2 à 3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg Cr/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	91	78	56	19	8	-	2 à 3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg Cr/kg sol]
	VSE		78	57				2 à 3	VSE articulée sur les risques pour les espèces du sol qui constituent le groupe le plus sensible

2.1.8. Mercure

Seuils limites pour le mercure corrigés (espèces et processus) pour la concentration de fond supposée inactive (0,14 mg/kg)										
Récepteurs écologiques		HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	commentaires	
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	37	28	15	11	7	-	2	Données terrestres disponibles pour moins de 4 groupes taxonomiques différents	
	Processus du sol	87	48	12	4	2	-	3	Données terrestres disponibles pour plus de 4 processus microbiens différents	
	Oiseaux	164	126	65	47	33	-	2	Données disponibles pour 3 espèces	
	Mammifères	98	75	39	28	20	-	2	Données terrestres disponibles pour 3 espèces différentes	
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Minimum (espèces et processus)	37	28	12	4	2	-	2 à 3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg Hg/kg sol]	
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	37	28	12	4	2	0	2 à 3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg Hg/kg sol]	
VSE		28	12					2 à 3	VSE articulée sur les risques pour les espèces du sol au niveau HC ₄₀ et sur les processus au niveau HC ₂₀	

2.2. Résultats pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques

2.2.1. Benzo(a)pyrène

Seuils limites pour le benzo(a)pyrène (mg/kg)									
	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires	
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	4,6	3,6	1,9	1,3	0,9	-	2	Données terrestres chroniques disponibles pour moins de 4 groupes taxonomiques différents ; 6 espèces exploitables
	Processus du sol	10,7	8,3	4,3	3,1	2,1	-	2	Données terrestres chroniques disponibles pour 4 processus différents exploitables
	Oiseaux	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Mammifères	864	665	346	247	92	-	1	Une donnée disponible (rat)
	Herbivores pâturants			-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	4,6	3,6	1,9	1,3	0,9	-	2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg BaP/kg sol]
Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	4,6	3,6	1,9	1,3	0,9	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg BaP/kg sol]	
V _{SE}		3,6	1,9					2	V _{SE} articulée sur les risques pour les espèces du sol

2.2.2. Benzo(b)fluoranthène

Seuils limites pour le benzo(b)fluoranthène (mg/kg)									
Récepteurs écologiques	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires	
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	4,3	3,3	1,7	1,2	0,9	-	1 à 2	Moyenne des résultats des traitements séparés des données terrestres aiguës, données aquatiques chroniques et données aquatiques aiguës
	Processus du sol	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Oiseaux	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Mammifères	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	4,3	3,3	1,7	1,2	0,9	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg BbF/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	4,3	3,3	1,7	1,2	0,9	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg BbF/kg sol]
	VS _E		3,3	1,7				1 à 2	VS _E articulée sur les risques pour les espèces du sol

2.2.3. Chrysène

0 Seuils limites pour le chrysène (mg/kg)									
	Récepteurs écologiques	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	3,0	2,3	1,1	0,8	0,6	-	1	moyenne géométrique des propositions issues du traitement des données terrestres (une seule donnée NOEC exploitable), des données aquatiques (8 données d'écotoxicité aiguë) et de l'application de l'approche QSAR
	Processus du sol	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Oiseaux	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Mammifères	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	3,0	2,3	1,1	0,8	0,6	-	1	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg chrysène/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	3,0	2,3	1,1	0,8	0,6	-	1	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg chrysène/kg sol]
V _{SE}			2,3	1,1				1	V _{SE} articulée sur les risques pour les espèces du sol

2.2.4. Fluoranthène

Seuils limites pour le fluoranthène (mg/kg)									
Récepteurs écologiques		HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	93,9	72,2	37,5	26,8	18,8	-	2	Données terrestres disponibles pour 3 groupes taxonomiques distincts
	Processus du sol	15,0	11,6	6,0	4,3	3,0	-	1 à 2	Données terrestres disponibles pour un seul groupe taxonomique – 1 seul résultat exploitable - 2 données écartées
	Oiseaux	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Mammifères	3099	2384	1240	885	620	-	1	Une donnée disponible
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	15,0	11,6	6,0	4,3	3,0	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg fluoranthène/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	15,0	11,6	6,0	4,3	3,0	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg fluoranthène /kg sol]
	VSE		11,6	6,0					1 à 2

2.2.5. Indéno(1,2,3-cd)pyrène

Seuils limites pour l'indéno(1,2,3,c,d)pyrène (mg/kg)									
Récepteurs écologiques	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires	
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	11,2	8,6	4,5	3,2	2,2	-	1	Moyenne des résultats du traitement par facteurs de 2 données aquatiques chroniques
	Processus du sol	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Oiseaux	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Mammifères	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	11,2	8,6	4,5	3,2	2,2	-	1	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg indéno(1,2,3-cd)pyrène/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	11,2	8,6	4,5	3,2	2,2	-	1	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg indéno(1,2,3-cd)pyrène /kg sol]
	VSE		8,6	4,5				1	VSE articulée sur les risques pour les espèces du sol

2.2.6. Phénanthrène

Seuils limites pour le phénanthrène (mg/kg)									
	Récepteurs écologiques	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires
	Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	32,4	21,0	7,6	3,6	1,9	-	3
Processus du sol		21,4	16,5	8,6	6,1	4,3	-	2	1 processus ; moyenne géométrique des résultats obtenus avec les données terrestres chroniques et aiguës
Oiseaux		-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
Mammifères		1045	804	418	299	209	-	1	Incertitude sur les valeurs BCF _{vers}
Herbivores pâturants		-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
Minimum (espèces et processus)		21,4	16,5	7,6	3,6	1,9	-	2 à 3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg phénanthrène/kg sol]
Minimum (empoisonnement secondaire inclus)		21,4	16,5	7,6	3,6	1,9	-	1 à 3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg phénanthrène /kg sol]
VSE		16,5	7,6					2 à 3	VSE articulée sur les risques pour les espèces (HC ₂₀) et les processus (HC ₄₀) du sol

2.2.7. Acénaphène

Seuils limites pour l'acénaphène (mg/kg)									
	Récepteurs écologiques	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	5,0	3,9	2,0	1,4	1,0	-	2	Données terrestres pour moins de 4 groupes taxonomiques différents ; moyenne géométrique des résultats obtenus avec les données terrestres chroniques et aiguës
	Processus du sol	87,6	67,4	35,0	25,0	17,5	-	1	Données aquatiques pour moins de 4 processus différents ; moyenne géométrique des résultats obtenus avec l'unique donnée aquatique chronique et les données aquatiques aiguës
	Oiseaux	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Mammifères	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données exploitables
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	5,0	3,9	2,0	1,4	1,0	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg acénaphène/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	5,0	3,9	2,0	1,4	1,0	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg acénaphène/kg sol]
VSE		3,9	2,0					1 à 2	VSE articulée sur les risques pour les espèces du sol

2.2.8. Acénaphthylène

Seuils limites pour l'acénaphthylène (mg/kg)									
Récepteurs écologiques	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires	
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	8,1	6,3	4,8	3,4	2,4	-	1 à 2	Données terrestres pour moins de 4 groupes taxonomiques différents ; moyenne géométrique des résultats obtenus avec les données de toxicité chronique et aiguë
	Processus du sol	11,9	9,1	4,8	3,4	2,4	-	1	Données aquatiques pour moins de 4 groupes taxonomiques différents ; moyenne géométrique des résultats obtenus avec les données aquatiques de toxicité chronique et aiguë
	Oiseaux	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Mammifères	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	8,1	6,3	4,8	3,4	2,4	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg acénaphthylène/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	8,1	6,3	4,8	3,4	2,4	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg acénaphthylène/kg sol]
VSE		6,3	4,8					1 à 2	VSE articulée sur les risques pour les espèces du sol

2.2.9. Anthracène

Seuils limites pour l'anthracène (mg/kg)									
	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires	
Récepteurs écologiques									
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	29,6	22,8	11,8	8,5	5,9	-	2	Données terrestres pour moins de 4 groupes taxonomiques différents
	Processus du sol	29,4	22,6	11,8	8,4	5,9	-	1	Données terrestres pour 1 seul processus
	Oiseaux	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Mammifères	749	576	300	214	150	-	1	Données exploitables pour une seule espèce (rat)
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	29,4	22,6	11,8	8,4	5,9	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg anthracène/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	29,4	22,6	11,8	8,4	5,9	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg anthracène/kg sol]
VSE		22,6	11,8					1 à 2	VSE articulée sur les risques pour les espèces et les processus du sol (les procédures aboutissant à des résultats concordants)

2.2.10. Benzo(a)anthracène

Seuils limites pour le benzo(a)anthracène (mg/kg)									
Récepteurs écologiques	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires	
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	-	1 à 2	Données terrestres pour moins de 4 groupes taxonomiques différents ; moyenne géométrique des résultats obtenus avec les données terrestres de toxicité chronique et aiguë ; peu de données exploitables
	Processus du sol	729	561	292	208	146	-	1	Données aquatiques pour moins de 4 processus différents ; moyenne géométrique des résultats obtenus avec les données aquatiques de toxicité chronique et aiguë
	Oiseaux	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Mammifères	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg B(a)A/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg B(a)A/kg sol]
VS _E		11,6	11,6					1 à 2	VS _E fondée sur la valeur de concentration saturante du benzo(a)anthracène calculée pour les propriétés du sol générique.

2.2.11. Benzo(g,h,i)pérylène

0 Seuils limites pour le benzo(g,h,i)pérylène (mg/kg)									
	Récepteurs écologiques	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	1,9	1,5	0,8	0,5	0,4	-	1 à 2	Données terrestres pour moins de 4 groupes taxonomiques différents ; moyenne géométrique des résultats obtenus d'une part du traitement des données de toxicité chronique et aiguë (terrestre et aquatiques) et d'autre part des de l'approche QSAR
	Processus du sol	6071	4670	2428	1735	1214	-	1	Données aquatiques de toxicité aiguë seulement pour moins de 4 processus différents . Valeurs très supérieure à la valeur de concentration saturante (5,2 mg/kg)
	Oiseaux	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Mammifères	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	1,9	1,5	0,8	0,5	0,4	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg B(ghi)P/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	1,9	1,5	0,8	0,5	0,4	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg B(ghi)P/kg sol]
VSE		1,5	0,8					1 à 2	VSE articulée sur les risques pour les espèces du sol.

2.2.12. Benzo(k)fluoranthène

Seuils limites pour le benzo(k)fluoranthène (mg/kg)									
Récepteurs écologiques	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires	
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	2,6	2,0	1,0	0,8	0,5	-	1 à 2	Données terrestres (toxicité aiguë) et données aquatiques (toxicité aiguë) pour 1 seul groupe taxonomique ; moyenne géométrique des résultats obtenus avec (1) la moyenne géométrique déduite du traitement des données terrestres et aquatiques de toxicité aiguë et (2) les résultats de l'application de relations QSAR
	Processus du sol	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Oiseaux	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Mammifères	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	2,6	2,0	1,0	0,8	0,5	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg B(k)F/kg sol]
Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	2,6	2,0	1,0	0,8	0,5	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg B(k)F/kg sol]	
VSE		2,0	1,0				1 à 2	VSE articulée sur les risques pour les espèces du sol.	

2.2.13. Dibenzo(a,h)anthracène

Seuils limites pour le dibenzo(a,h)anthracène (mg/kg)									
Récepteurs écologiques		HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	32,3	24,8	12,9	9,2	6,5	-	1	Données aquatiques pour moins de 4 groupes taxonomiques différents ; moyenne géométrique des résultats obtenus avec les données aquatiques de toxicité chronique et aiguë
	Processus du sol	52627	40482	21051	15036	10525	-	1	Données aquatiques de toxicité aiguë seulement pour moins de 4 processus différents
	Oiseaux	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Mammifères	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	32,3	24,8	12,9	9,2	6,5	-	1	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg DB(a,h)A/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	32,3	24,8	12,9	9,2	6,5	-	1	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg DB(a,h)A/kg sol]
VSE		24,8	12,9					1	VSE articulée sur les risques pour les espèces du sol.

2.2.14. Fluorène

Seuils limites pour le fluorène (mg/kg)									
	Récepteurs écologiques					CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires	
	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅				
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	25,5	16,4	5,9	2,8	1,5	-	3	Données terrestres pour plus de 4 groupes taxonomiques différents
	Processus du sol	38	29	15	11	8	-	1 à 2	Données terrestres et aquatiques pour moins de 4 processus différents ; moyenne géométrique des résultats obtenus avec les données terrestres (toxicité chronique et aiguë) et les données aquatiques (toxicité chronique et aiguë)
	Oiseaux	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Mammifères	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	25,5	16,4	5,9	2,8	1,5	-	3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg fluorène/kg sol]
Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	25,5	16,4	5,9	2,8	1,5	-	1 à 3	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg fluorène/kg sol]	
V _{SE}		16,4	5,9					3	V _{SE} articulée sur les risques pour les espèces du sol.

2.2.15. Naphtalène

Seuils limites pour le naphtalène (mg/kg)									
Récepteurs écologiques	HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires	
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	48,3	37,1	19,3	13,8	7,4	-	2	Données terrestres pour moins de 4 groupes taxonomiques différents ; 5 espèces exploitables
	Processus du sol	9,4	7,2	3,7	2,7	1,4	-	1	Données terrestres pour 1 seul processus
	Oiseaux	4969	3822	1988	1420	994	-	1	Donnée disponible pour une seule espèce
	Mammifères	1403	1079	561	401	281	-	2	Données disponibles pour 3 espèces
	Herbivores pâturants			-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
Minimum (espèces et processus)	9,4	7,2	3,7	2,7	1,4	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg naphtalène/kg sol]	
Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	9,4	7,2	3,7	2,7	1,4	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg naphtalène/kg sol]	
V _{SE}		7,2	3,7				1 à 2	V _{SE} articulée sur les risques pour les processus du sol.	

2.2.16. Pyrène

Seuils limites pour le pyrène (mg/kg)									
Récepteurs écologiques		HC ₅₀	HC ₄₀	HC ₂₀	HC ₁₀	HC ₅	CMA herbivores pâturants	SCORE de confiance	Commentaires
Récepteurs écologiques	Espèces du sol (plantes et invertébrés)	16,7	12,9	6,7	4,8	3,3	-	2	Données terrestres pour moins de 4 groupes taxonomiques différents ; 70 données
	Processus du sol	86,3	66,4	34,5	24,7	13,3	-	1	Données aquatiques pour moins de 4 groupes taxonomiques différents ; 2 données sur un processus microbien
	Oiseaux	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Mammifères	491	378	197	140	98	-	1	Données disponibles pour une seule espèce (souris domestique)
	Herbivores pâturants	-	-	-	-	-	-	-	Pas de données disponibles
	Minimum (espèces et processus)	16,7	12,9	6,7	4,8	3,3	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire exclu) [mg pyrène/kg sol]
	Minimum (empoisonnement secondaire inclus)	16,7	12,9	6,7	4,8	3,3	-	1 à 2	Valeurs de seuil limite proposées (empoisonnement secondaire inclus) [mg pyrène/kg sol]
VS		12,9	6,7					1 à 2	VSE articulée sur les risques pour les espèces du sol.