

IMPLANTATION D'UNE INSTALLATION DE MATURATION ET D'ELABORATION DE MACHEFERS D'INCINERATION

Muret (31)

INTERPRETATION DE L'ETAT DES MILIEUX - MODELISATION
DES TRANSFERTS DANS LES SOLS ET CARACTERISATION DU
RISQUE

Décembre 2024

Réf : SI TOU N°127868 – A1SUMAN

| N° Dossier | Agence | Document | Rédigé par | Date | Version | Vérifié par |
|------------------|--------|---|---------------|----------|-----------|-------------|
| 127868 – A1SUMAN | SI TOU | Interprétation de l'Etat des Milieux - Modélisation des transferts dans les sols et caractérisation du risque | Céline BORDES | 12/12/24 | Version 1 | CBO |

| | | | | | |
|------------------|--------------------|---|---------------|----------|-----------|
| 127868 – A1SUMAN | SOLER IDE Toulouse | Interprétation de l'Etat des Milieux - Modélisation des transferts dans les sols et caractérisation du risque | Céline BORDES | 12/12/24 | Version 1 |
| Dossier | Agence | Document | Rédigé par | Date | État |

SOMMAIRE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | SUBSTANCES CONCERNEES | 5 |
| 2 | TRANSFERT DANS LES SOLS | 6 |
| 2.1 | PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE | 6 |
| 2.2 | CONCENTRATION EN POLLUANTS TRACEURS A L'EMISSION DANS LES SOLS | 11 |
| 2.2.1 | CALCUL DE L'ATTENUATION DANS LES SOLS | 13 |
| 2.2.2 | CALCUL DU DEPOT TOTAL SUR LES SOLS | 14 |
| 2.2.3 | CALCUL DE LA CONCENTRATION EN POLLUANTS DANS LES SOLS | 14 |
| 3 | QUANTIFICATION PARTIELLE DES RISQUES | 15 |
| 3.1 | ETAPE 1 : SUBSTANCES CONCERNEES | 15 |
| 3.2 | ETAPE 2 : CHOIX DES VTR | 15 |
| 3.3 | ETAPE 3 : DEFINITION DU SCENARIO D'EXPOSITION | 15 |
| 3.4 | ETAPE 4 : CARACTERISATION DU RISQUE | 15 |
| 3.5 | BILAN | 19 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Valeurs des retombées atmosphériques | 5 |
| Tableau 2 : Paramètres de calcul | 11 |
| Tableau 3 : Paramètres de calcul des substances considérées..... | 12 |
| Tableau 4 : Constantes d'atténuation dans les sols | 13 |
| Tableau 5 : Dépôt total sur le sol – Environnement local | 14 |
| Tableau 6 : Concentrations dans les sols – Environnement local | 14 |
| Tableau 7 : Quantification du risque pour l'état actuel – Milieu Sol | 16 |
| Tableau 8 : Synthèse de la quantification des risques IEM – Milieu Sol..... | 19 |

1 SUBSTANCES CONCERNEES

Seules les substances et milieux sur lesquels ils n'existent pas de valeurs de référence doivent faire l'objet d'une quantification des risques pour évaluer la compatibilité des milieux. Dans le cas présent, cette étape sera étendue aux substances pour lesquelles en raison de la limite de quantification du laboratoire, aucune comparaison aux valeurs de référence n'a pu être déduite.

Le calcul d'indicateurs de risque est réalisé en considérant isolément chaque substance et chaque milieu concerné¹.

Dans le cadre de l'IME de Muret, les substances concernées sont donc :

| Milieux | Traceurs à l'émission | N° CAS |
|---------|-----------------------|-----------|
| SOLS | Arsenic (As) | 7440-38-2 |
| | Cadmium (Cd) | 7440-43-9 |
| | Cobalt (Co) | 7440-48-4 |
| | Chrome (Cr) | 7440-47-3 |
| | Antimoine (Sb) | 7440-36-0 |
| | Thallium (Tl) | 7440-28-0 |
| | Vanadium (V) | 7440-62-2 |

Des mesures de retombées atmosphériques ont été réalisées en juillet-août 2024 par le laboratoire des Pyrénées et des Landes. Les valeurs des retombées atmosphériques pour les substances concernées sont rappelées dans le tableau ci-dessous (voir détails dans le corps du rapport d'IEM/EQRS) :

Tableau 1 : Valeurs des retombées atmosphériques

| | Unité | Point 1 | Point 2 | Point 3 | Point 4 |
|----------------|------------|---------|---------|---------|---------|
| As - Arsenic | µg/m2/jour | < 8,81 | < 11,84 | < 12,30 | < 11,84 |
| Cd - Cadmium | µg/m2/jour | < 1,76 | < 2,37 | < 2,46 | < 2,37 |
| Co - Cobalt | µg/m2/jour | < 3,52 | < 4,73 | < 4,92 | < 4,74 |
| Cr - Chrome | µg/m2/jour | < 3,52 | < 4,73 | < 4,92 | < 4,74 |
| Sb - Antimoine | µg/m2/jour | < 4,40 | < 5,92 | < 6,15 | < 5,92 |
| Tl - Thallium | µg/m2/jour | < 17,61 | < 23,67 | < 24,60 | < 23,68 |
| V - Vanadium | µg/m2/jour | < 8,81 | < 11,84 | < 12,30 | < 11,84 |

Pour les différents composés étudiés, les mesures des retombées sont inférieures au seuil de détection. **Pour les calculs, il a donc été considéré que le niveau de dépôt était égal à la limite de détection (hypothèse majorante).**

¹ INERIS, août 2013, Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées

2 TRANSFERT DANS LES SOLS

Les méthodologies présentées dans les guides MPE² et HHRAP³ au niveau du calcul des transferts dans l'environnement sont très semblables.

Toutefois, le modèle HHRAP a été mis à jour récemment (2005) alors que le modèle MPE date de 1998. De plus, les rédacteurs du guide HHRAP se sont notamment appuyés sur le guide MPE. Par conséquent, seront retenues les équations présentées dans le guide HHRAP pour évaluer la concentration en polluants dans le sol.

2.1 PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE

1. Equation de calcul de la concentration cumulée dans le sol

a. Cas d'un effet cancérigène

Lorsque la durée d'exposition est incluse dans la durée de fonctionnement de l'installation, la concentration moyenne de polluant dans le sol pendant la période d'exposition se calcule de la façon suivante :

- Pour $T_2 \leq t_D$:

$$C_s = \frac{D_s}{k_s(t_D - T_1)} \left[\left(t_D + \frac{\exp(-k_s t_D)}{k_s} \right) - \left(T_1 + \frac{\exp(-k_s T_1)}{k_s} \right) \right]$$

Si la durée d'exposition est supérieure à la durée de fonctionnement prévue pour l'installation :

- Pour $T_1 < t_D < T_2$:

$$C_s = \frac{\left(\frac{D_s t_D - C_{S_0}}{k_s} \right) + \left(\frac{C_{S_0}}{k_s} \right) (1 - \exp[-k_s (T_2 - t_D)])}{(T_2 - T_1)}$$

b. Cas d'un effet non cancérigène

$$C_{S_0} = \frac{D_s [1 - \exp(-k_s t_D)]}{k_s}$$

Avec :

- C_s : Concentration moyenne de polluant dans le sol pendant la durée d'exposition (en mg de polluant / kg de sol)
- D_s : Dépôts particulaire et gazeux de polluant sur le sol (en mg de polluant / kg de sol / an)
- k_s : Constante d'atténuation de la concentration en polluant dans les sols (en an⁻¹)
- t_D : Temps durant lequel la déposition s'effectue (période de fonctionnement de l'installation) (en année)
- T_1 : Début de la période d'exposition (en année)
- T_2 : Fin de la période d'exposition (en année)
- C_{S_0} : Concentration dans le sol à l'instant t_D (en mg / kg)

² US-EPA, 1998, Methodology for Assessing Health Risks Associated with Multiple Pathways of Exposure to Combustor Emissions (EPA 600/R-98/137)

³ US-EPA, September 2005, Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities (EPA 530-R-05-006)

2. Calcul de la constante d'atténuation dans le sol

L'atténuation de la concentration en polluants dans le sol est liée à plusieurs phénomènes :

- lixiviation
- ruissellement
- érosion
- dégradation biotique et abiotique
- volatilisation

Ainsi, la constante d'atténuation globale correspond à la somme des constantes d'atténuation propres à chacun des phénomènes cités ci-dessus.

$$k_s = k_{sg} + k_{se} + k_{sr} + k_{sl} + k_{sv}$$

Avec :

- k_s : Constante d'atténuation globale de la concentration en polluant dans les sols (en an^{-1})
- k_{sg} : Constante d'atténuation de la concentration en polluant dans les sols due à la dégradation biotique et abiotique du polluant (en an^{-1})
- k_{se} : Constante d'atténuation de la concentration en polluant due à l'érosion des sols (en an^{-1})
- k_{sr} : Constante d'atténuation de la concentration en polluant dans les sols due au ruissellement (en an^{-1})
- k_{sl} : Constante d'atténuation de la concentration en polluant dans les sols due à la lixiviation (en an^{-1})
- k_{sv} : Constante d'atténuation de la concentration en polluant dans les sols due à la volatilisation du polluant (en an^{-1})

a. Constante d'atténuation de la concentration en polluant dans les sols due à la dégradation biotique et abiotique du polluant

La base de données du protocole HHRAP fournit cette valeur qui est spécifique à un composé considéré.

$$k_{sg} = \text{variable selon le polluant}$$

b. Constante d'atténuation de la concentration en polluant dans les sols due à l'érosion

Conformément aux recommandations de l'US-EPA, les rédacteurs du protocole HHRAP recommande de considérer cette constante comme nulle : $k_{se} = 0$.

c. Constante d'atténuation de la concentration en polluant due au ruissellement

$$k_{sr} = \frac{RO}{\theta_{sw} \cdot Z_s} \left(\frac{1}{1 + \left[\frac{Kd_s \cdot BD}{\theta_{sw}} \right]} \right)$$

Avec :

- k_{sr} : Constante d'atténuation de la concentration en polluant dans les sols due au ruissellement (en an^{-1})
- RO : Moyenne annuelle du ruissellement de surface sur les zones perméables (en cm/an)
- θ_{sw} : Volume d'eau contenu dans le sol (en $\text{mL d'eau} / \text{cm}^3$ de sol)
- Z_s : Epaisseur de la zone de mélange du sol (en cm)

- K_{ds} : Coefficient de partage sol / eau (en mL d'eau / g de sol)
- B_D : Densité du sol (g de sol / cm³ de sol)

Le coefficient de partage sol / eau est spécifique au polluant considéré. Par contre, les autres paramètres sont abordés dans la page suivante au sein du paragraphe 4 intitulé « Autres paramètres ».

d. Constante d'atténuation de la concentration en polluant due à la lixiviation

$$k_{sl} = \frac{P + I - RO - E_v}{\theta_{sw} \cdot Z_s \cdot \left(1 + \left[\frac{K_{ds} \cdot BD}{\theta_{sw}} \right] \right)}$$

Avec :

- k_{sl} : Constante d'atténuation de la concentration en polluant dans les sols due à la lixiviation (en an⁻¹)
- P : Moyenne annuelle des précipitations (en cm / an)
- I : Irrigation moyenne annuelle (en cm / an)
- RO : Moyenne annuelle du ruissellement de surface sur les zones perméables (en cm / an)
- E_v : Evapotranspiration moyenne annuelle (en cm / an)
- θ_{sw} : Volume d'eau contenu dans le sol (en mL d'eau / cm³ de sol)
- Z_s : Epaisseur de la zone de mélange du sol (en cm)
- K_{ds} : Coefficient de partage sol / eau (en mL d'eau / g de sol)
- B_D : Densité du sol (g de sol / cm³ de sol)

Le coefficient de partage sol / eau est spécifique au polluant considéré. Par contre, les autres paramètres sont abordés dans la page suivante au sein du paragraphe 4 intitulé « Autres paramètres ».

e. Constante d'atténuation de la concentration en polluant due à la volatilisation

$$k_{sv} = \left(\frac{3.1536 \cdot 10^{+7} \cdot H}{Z_s \cdot K_{ds} \cdot R \cdot T_a \cdot BD} \right) \left(\frac{D_a}{Z_s} \right) \left[1 - \left(\frac{BD}{\rho_{sol}} \right) - \theta_{sw} \right]$$

Avec :

- k_{sv} : Constante d'atténuation de la concentration en polluant dans les sols due à la volatilisation du polluant (en an⁻¹)
- 3.1536.10+7 : Facteur de conversion d'unité (secondes / an)
- H : Constante de Henry (en atm.m³/mol)
- Z_s : Epaisseur de la zone de mélange du sol (en cm)
- K_{ds} : Coefficient de partage sol / eau (en mL d'eau / g de sol)
- R : Constante des gaz parfaits où R = 8,205.10-5 atm.m³/mol/°K
- T_a : Température ambiante où T = 298 °K (soit 25 °C)
- B_D : Densité du sol (g de sol / cm³ de sol)
- D_a : Diffusivité du polluant dans l'air (en cm²/s)
- ρ_{sol} : Densité des particules solides (en g/cm³)
- θ_{sw} : Volume d'eau contenu dans le sol (en mL d'eau / cm³ de sol)

Les paramètres spécifiques au polluant considérés sont les suivants : la constante de Henry, le coefficient de partage sol / eau et la diffusivité du polluant dans l'air.

Les autres inconnues sont abordées au sein du paragraphe 4 intitulé « Autres paramètres ».

3. Calcul du dépôt total sur le sol

$$D_s = \left[\frac{100 \cdot Q}{Z_s \cdot BD} \right] \cdot [F_v \cdot (D_{ydv} + D_{yvv}) + (1 - F_v) \cdot (D_{ydp} + D_{ywp})] = \left[\frac{100}{Z_s \cdot BD} \right] \cdot [(D_{dv} + D_{wv}) + (D_{dp} + D_{wp})]$$

Avec :

- D_s : Dépôts particulaire et gazeux de polluant sur le sol (en mg de polluant / kg de sol / an)
- 100 : Facteur de conversion d'unité
- $100 = [10^{+3} \text{ mg / g de polluant}] \cdot [10^{-4} \text{ m}^2 / \text{cm}^2 \text{ de sol}] / [10^{-3} \text{ kg / g de sol}]$
- Q = Flux d'émission du polluant (en g/s)
- Z_s : Epaisseur de la zone de mélange du sol (en cm)
- BD : Densité du sol (g de sol / cm³ de sol)
- F_v : Fraction de la concentration de polluant dans l'air qui se retrouve dans la phase vapeur (-)
- D_{ypv} = Dépôt gazeux sec annuel moyen unitaire (en s/m²/an)
- D_{yvv} = Dépôt gazeux humide annuel moyen unitaire (en s/m²/an)
- D_{ydp} = Dépôt particulaire sec annuel moyen unitaire (en s/m²/an)
- D_{ywd} = Dépôt particulaire humide annuel moyen unitaire (en s/m²/an)
- D_{dv} : Dépôt sec de contaminant sous forme gazeuse (en g/m²/an)
- D_{wv} : Dépôt humide de contaminant sous forme gazeuse (en g/m²/an)
- D_{dp} : Dépôt sec de contaminant sous forme particulaire (en g/m²/an)
- D_{wp} : Dépôt humide de contaminant sous forme particulaire (en g/m²/an)

Certains modèles de dispersion fournissent les données de dépôts unitaires réclamées par les équations de calcul fournies par le protocole HHRAP. **Dans le cas présent, les analyses réalisées par le laboratoire des Pyrénées et des Landes permet d'obtenir le dépôt total en g/m²/an.**

Les paramètres « épaisseur de la zone de mélange du sol » et « densité du sol » sont abordés dans la partie ci-après.

4. Autres paramètres

Le calcul de la concentration dans le sol nécessite certains paramètres spécifiques au site étudié :

- l'épaisseur de la zone de mélange du sol (Z_s),
- la densité du sol (BD),
- la densité des particules solides du sol (ρ_{sol}),
- la quantité d'eau disponible dans le sol ($P+I-RO-E_v$),
- le volume d'eau contenu dans le sol (θ_{sw}).

a. Epaisseur de la zone de mélange du sol

Le protocole HHRAP distingue deux types de zones différentes :

- soit le terrain considéré est labouré et sert pour des plantations dans ce cas l'épaisseur de la zone de mélange du sol recommandée est : **Zs = 20 cm**
- soit le sol n'est pas remué et dans ce cas : **Zs = 2 cm**.

b. Densité du sol

BD correspond au ratio entre la masse de sol et son volume total. La valeur recommandée par les rédacteurs du protocole HHRAP est :

$$BD = 1,50 \text{ g / cm}^3$$

c. Densité des particules solides du sol

La valeur recommandée par le guide HHRAP est basée sur les études de Blake et Hartge (1996) et Hillel (1980) qui suggèrent toutes deux que la moyenne des densités des particules solides du sol est 2,7 g/cm³.

$$\rho_{sol} = 2,70 \text{ g / cm}^3$$

d. Quantité d'eau disponible dans le sol (P+I-RO-Ev)

Les paramètres « Précipitations » et « Evapotranspiration » sont accessibles à partir des données climatiques spécifiques au site étudié (données Météo-France).

Les valeurs pour l'irrigation et le ruissellement sont plus délicats à déterminer.

Concernant l'irrigation, le protocole HHRAP précise que cette valeur est comprise entre 0 et 100 cm/an d'après une étude américaine (Baes et al, 1984).

e. Volume d'eau disponible dans le sol

La valeur par défaut recommandée par les rédacteurs du protocole HHRAP est :

$$\theta_{sw} = 0,2 \text{ mL / cm}^3$$

2.2 CONCENTRATION EN POLLUANTS TRACEURS A L'EMISSION DANS LES SOLS

Concernant les données météorologiques, les hypothèses suivantes sont considérées :

- précipitations P constatées sur la station Météo France de Toulouse-Blagnac⁴,
- ruissellement extérieur : 20% P (caractéristiques des espaces verts),
- évapotranspiration moyenne annuelle calculée par Météo France sur la station de Toulouse-Blagnac (ETP Penmann = 1058,4 mm) étant supérieure à la moyenne des précipitations, l'évaporation est donc prise égale à P – RO.

Concernant l'irrigation, ce paramètre sera négligé étant donné la cible étudiée (jardins d'habitations et non zones agricoles) pour ne pas surestimer le facteur d'atténuation de la concentration dû à la lixiviation des sols.

Selon la voie d'exposition considérée, il a été supposé que le dépôt de polluant était homogénéisé sur :

- 2 cm d'épaisseur (sol superficiel ingéré directement par l'Homme),
- 20 cm d'épaisseur (contamination des végétaux par transfert racinaire).

Les paramètres utilisés pour les calculs sont présentés dans le tableau en page suivante.

Tableau 2 : Paramètres de calcul

| Paramètres spécifiques au site | | |
|--|-------------------------------|----------|
| | Unité | Valeurs |
| Période de fonctionnement de l'installation (t_D) | en années | 70 |
| Début de la période d'exposition (T_1) | en années | 0 |
| Précipitation annuelle sur le site | en cm/an | 62,7 |
| Irrigation | en cm/an | 0 |
| Ruissellement (RO) | en cm/an | 12,54 |
| Evapotranspiration | en cm/an | 50,16 |
| Epaisseur de la zone de mélange (Z_s) – contamination du sol superficiel | en cm | 20 |
| Epaisseur de la zone de mélange (Z_s) – contamination du sol racinaire | en cm | 2 |
| Autres paramètres (valeurs données par le protocole HHRAP par défaut) | | |
| | Unité | Valeurs |
| Température ambiante | en °K | 298,15 |
| Constante des gaz parfaits | en atm.m ³ /mol/°K | 8,21E-05 |
| Densité du sol (BD) | en g/cm ³ | 1,5 |
| Densité des particules solides du sol | en g/cm ³ | 2,7 |
| Volume d'eau disponible dans le sol | en mL/cm ³ | 0,2 |
| Constante d'atténuation en polluant dans les sols due à l'érosion | en an ⁻¹ | 0 |

⁴ Source : Fiche climatologique Météo-France de Toulouse-Blagnac (Statistiques 1991-2020 et records) – Station la plus proche pour laquelle les 2 données, pluviométrie et évaporation potentielle, sont disponibles

Les paramètres de calcul pour polluants atmosphériques considérés sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Paramètres de calcul des substances considérées

| | Unité | Propriétés physico-chimiques des substances considérées | | | | | | |
|--|-------------------------|---|---------------|--------------|--------------|-----------------|----------------|---------------|
| | | Arsenic As | Cadmium Cd | Cobalt Co | Chrome Cr | Antimoine Sb | Thallium Tl | Vanadium V |
| Constante de Henry H | atm.m ³ /mol | 7,73E-01 | 3,10E-02 | 0 | 0 | 0,025 | 0 | 0 |
| | Pa.m ³ /mol | 78 324 | 3141 | 0 | 0 | 2 533 | 0 | 0 |
| Coefficient de partage sol/eau Kds | en mL/g | 29 | 75 | 13,22 | 19 | 45 | 71 | 13,22 |
| Diffusivité du polluant dans l'air Da | en cm ² /s | 0,0772 | 0,0772 | 0 | 0,1265 | 0,0772 | 0,0772 | 0 |
| Constante d'atténuation en polluant dans les sols due à la dégradation biotique et abiotique ksg | en an ⁻¹ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Source : Si la valeur de H ou celle de Da n'est pas disponible, une valeur de 0 a été assignée pour le métal conformément aux données du guide HHRAP.

2.2.1 CALCUL DE L'ATTENUATION DANS LES SOLS

Les résultats obtenus pour les différentes constantes d'atténuation sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Constantes d'atténuation dans les sols

| Phénomène d'atténuation | Constante associée | Unité | Pour le sol racinaire contaminant par transfert les végétaux | | | | | | |
|-------------------------|--------------------|---------|--|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| | | | Arsenic | Cadmium | Cobalt | Chrome | Antimoine | Thallium | Vanadium |
| Dégradation | ksg | en an-1 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Erosion | kse | en an-1 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Ruissellement | ksr | en an-1 | 1,43E-02 | 5,56E-03 | 3,13E-02 | 2,18E-02 | 9,26E-03 | 5,88E-03 | 3,13E-02 |
| Lixiviation | ksl | en an-1 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Volatilisation | ksv | en an-1 | 1,08E+03 | 1,68E+01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,25E+01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| TOTAL | ks | en an-1 | 1,08E+03 | 1,68E+01 | 3,13E-02 | 2,18E-02 | 2,25E+01 | 5,88E-03 | 3,13E-02 |

| Phénomène d'atténuation | Constante associée | Unité | Pour le sol superficiel directement ingéré par l'Homme | | | | | | |
|-------------------------|--------------------|---------|--|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| | | | Arsenic | Cadmium | Cobalt | Chrome | Antimoine | Thallium | Vanadium |
| Dégradation | ksg | en an-1 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Erosion | kse | en an-1 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Ruissellement | ksr | en an-1 | 1,43E-01 | 5,56E-02 | 3,13E-01 | 2,18E-01 | 9,26E-02 | 5,88E-02 | 3,13E-01 |
| Lixiviation | ksl | en an-1 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Volatilisation | ksv | en an-1 | 1,08E+05 | 1,68E+03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,25E+03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| TOTAL | ks | en an-1 | 1,08E+05 | 1,68E+03 | 3,13E-01 | 2,18E-01 | 2,25E+03 | 5,88E-02 | 3,13E-01 |

2.2.2 CALCUL DU DEPOT TOTAL SUR LES SOLS

Le résultat du calcul du dépôt total sur les sols pour chacun des composés considérés est présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Dépôt total sur le sol – Environnement local

| | | Arsenic | Cadmium | Cobalt | Chrome | Antimoine | Thallium | Vanadium | |
|------------------|-------------------------|-----------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| Dépôt total | en g/m ² /an | 4,49E-03 | 8,98E-04 | 1,80E-03 | 1,80E-03 | 2,24E-03 | 8,98E-03 | 4,49E-03 | |
| Dépôt total (Ds) | en mg/kg/an | Sol racinaire | 1,50E-02 | 2,99E-03 | 5,99E-03 | 5,99E-03 | 7,48E-03 | 2,99E-02 | 1,50E-02 |
| | | Sol superficiel | 1,50E-01 | 2,99E-02 | 5,99E-02 | 5,99E-02 | 7,48E-02 | 2,99E-01 | 1,50E-01 |

2.2.3 CALCUL DE LA CONCENTRATION EN POLLUANTS DANS LES SOLS

Dans le calcul de la concentration des sols en polluants, on considère que la durée d'exposition d'un individu est comprise dans la période de fonctionnement de l'installation (hypothèse majorante).

Les concentrations dans les sols au niveau des zones d'habitations les plus exposées sont présentées dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 6 : Concentrations dans les sols – Environnement local

| | | Unité | Arsenic | Cadmium | Cobalt | Chrome | Antimoine | Thallium | Vanadium |
|---------------------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| Concentration dans le sol racinaire | Effet cancérigène | en mg/kg | 1,38E-05 | 1,78E-04 | 1,14E-01 | 1,34E-01 | 3,32E-04 | 9,18E-01 | 2,84E-01 |
| | Effet non cancérigène | en mg/kg | 1,38E-05 | 1,79E-04 | 1,70E-01 | 2,15E-01 | 3,32E-04 | 1,72E+00 | 4,25E-01 |
| Concentration dans le sol superficiel | Effet cancérigène | en mg/kg | 1,38E-06 | 1,79E-05 | 1,83E-01 | 2,56E-01 | 3,32E-05 | 3,88E+00 | 4,56E-01 |
| | Effet non cancérigène | en mg/kg | 1,38E-06 | 1,79E-05 | 1,91E-01 | 2,74E-01 | 3,32E-05 | 5,01E+00 | 4,78E-01 |

3 QUANTIFICATION PARTIELLE DES RISQUES

3.1 ETAPE 1 : SUBSTANCES CONCERNEES

Dans le cadre de l'IME de Muret, les substances concernées sont récapitulées en partie 1.

3.2 ETAPE 2 : CHOIX DES VTR

La définition des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) et des effets associés ainsi que les modalités de choix des VTR sont précisées dans la partie EQRS au paragraphe « **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** REF_Ref184370063 \h **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ».

Les tableaux en annexe fournissent les VTR pour les composés listés en partie précédente.

3.3 ETAPE 3 : DEFINITION DU SCENARIO D'EXPOSITION

La progressivité de la démarche d'IEM conduit d'abord à évaluer les risques théoriques liés à l'ingestion par les enfants, scénario d'exposition qui est le plus sensible (cf. guide du Ministère de l'Environnement : La démarche d'Interprétation des Milieux [9]).

Le scénario d'exposition des enfants à la terre du jardin est défini avec les paramètres suivants [9] :

- Quantité de sol ingéré par jour où l'enfant fréquente le jardin : 100 mg,
- Durée d'exposition théorique pour un enfant : 6 années,
- Nombre de jours d'exposition théorique par année (nombre de jours par année où l'enfant fréquente le jardin) : 300,
- Poids corporel de l'enfant : 15 kg,
- Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition (pour une substance avec effet sans seuil de dose) : prise conventionnellement égale à 70 ans.

3.4 ETAPE 4 : CARACTERISATION DU RISQUE

Ces données sont introduites dans la feuille de calcul « SOL » jointe au guide IEM et recommandée pour réaliser ce type de calcul⁵. Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux suivants :

Remarque : Etant donné le scénario d'exposition considéré, les concentrations dans le sol superficiel (sol d'une épaisseur de 2 cm potentiellement ingéré directement par l'Homme) ont été considéré pour la caractérisation du risque.

⁵ INERIS, août 2013, Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées

Tableau 7 : Quantification du risque pour l'état actuel – Milieu Sol

| Voie d'exposition unique : Ingestion de sol | | | | | | Grille de calcul IEM | | V0 | |
|--|--|---|---|------------------------------|--|------------------------------|--|---------------------|--------------------------|
| Facteurs de l'équation : | | Cs | Qs | T | Ef | P | Tm | VTR | |
| <p>Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation</p> | | Concentration de la substance dans le sol | Quantité journalière de sol ingérée | Durée d'exposition théorique | Nombre de jour d'exposition théorique annuelle | Poids corporel de l'individu | Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition (substance sans seuil d'effet : Tm est assimilée à la durée de la vie entière, prise conventionnellement égale à 70 ans) | VTR (seuil d'effet) | VTR (sans seuil d'effet) |
| | | mg/kg | mg/j | année | jour | kg | année | mg/kg/j | (mg/kg/j) ⁻¹ |
| Paramètres du scénario | | 1,3847E-06 | 100 | 6 | 300 | 15 | 70 | 0,0003 | 1,5 |
| Substance testée | | Donnée du diagnostic | Données issues de bases de données ou d'enquêtes de terrain | | | | Quotient de danger : | | 0,0 |
| Arsenic | | | | | | | Excès de risque individuel : | | 9,8E-13 |

| Voie d'exposition unique : Ingestion de sol | | | | | | Grille de calcul IEM | | V0 | |
|--|--|---|---|------------------------------|--|------------------------------|--|---------------------|--------------------------|
| Facteurs de l'équation : | | Cs | Qs | T | Ef | P | Tm | VTR | |
| <p>Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation</p> | | Concentration de la substance dans le sol | Quantité journalière de sol ingérée | Durée d'exposition théorique | Nombre de jour d'exposition théorique annuelle | Poids corporel de l'individu | Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition (substance sans seuil d'effet : Tm est assimilée à la durée de la vie entière, prise conventionnellement égale à 70 ans) | VTR (seuil d'effet) | VTR (sans seuil d'effet) |
| | | mg/kg | mg/j | année | jour | kg | année | mg/kg/j | (mg/kg/j) ⁻¹ |
| Paramètres du scénario | | 1,7859E-05 | 100 | 6 | 300 | 15 | 70 | 0,00035 | Pas de VTR |
| Substance testée | | Donnée du diagnostic | Données issues de bases de données ou d'enquêtes de terrain | | | | Quotient de danger : | | 0,0 |
| Cadmium | | | | | | | Excès de risque individuel : | | |

| Voie d'exposition unique : Ingestion de sol | | | | | | Grille de calcul IEM | | V0 | |
|--|--|---|---|------------------------------|--|------------------------------|--|---------------------|--------------------------|
| Facteurs de l'équation : | | Cs | Qs | T | Ef | P | Tm | VTR | |
| <p>Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation</p> | | Concentration de la substance dans le sol | Quantité journalière de sol ingérée | Durée d'exposition théorique | Nombre de jour d'exposition théorique annuelle | Poids corporel de l'individu | Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition (substance sans seuil d'effet : Tm est assimilée à la durée de la vie entière, prise conventionnellement égale à 70 ans) | VTR (seuil d'effet) | VTR (sans seuil d'effet) |
| | | mg/kg | mg/j | année | jour | kg | année | mg/kg/j | (mg/kg/j) ⁻¹ |
| Paramètres du scénario | | 0,1912274 | 100 | 6 | 300 | 15 | 70 | 0,0016 | Pas de VTR |
| Substance testée | | Donnée du diagnostic | Données issues de bases de données ou d'enquêtes de terrain | | | | Quotient de danger : | | 0,0 |
| Cobalt | | | | | | | Excès de risque individuel : | | |

| Voie d'exposition unique : Ingestion de sol | | | | | | | Grille de calcul IEM | | V0 | |
|---|-------------------------------------|------------------------------|--|------------------------------|--|---------------------|--------------------------|--|----|--|
| Facteurs de l'équation : | | | | | | | | | | |
| Cs | Qs | T | Ef | P | Tm | VTR | | | | |
| Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation | | | | | | | | | | |
| Concentration de la substance dans le sol | Quantité journalière de sol ingérée | Durée d'exposition théorique | Nombre de jour d'exposition théorique annuelle | Poids corporel de l'individu | Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition (substance sans seuil d'effet : Tm est assimilée à la durée de la vie entière, prise conventionnellement égale à 70 ans) | VTR (seuil d'effet) | VTR (sans seuil d'effet) | | | |
| mg/kg | mg/j | année | jour | kg | année | mg/kg/j | (mg/kg/j) ⁻¹ | | | |
| Paramètres du scénario | | | | | | | | | | |
| 0,27400026 100 6 300 15 70 Pas de VTR Pas de VTR | | | | | | | | | | |
| Substance testée | | | | | | | | | | |
| Donnée du diagnostic | | | | | | | | | | |
| Données issues de bases de données ou d'enquêtes de terrain | | | | | | | | | | |
| Quotient de danger : | | | | | | | | | | |
| Chrome | | | | | | | | | | |
| Excès de risque individuel : | | | | | | | | | | |

| Voie d'exposition unique : Ingestion de sol | | | | | | | Grille de calcul IEM | | V0 | |
|---|-------------------------------------|------------------------------|--|------------------------------|--|---------------------|--------------------------|--|----|--|
| Facteurs de l'équation : | | | | | | | | | | |
| Cs | Qs | T | Ef | P | Tm | VTR | | | | |
| Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation | | | | | | | | | | |
| Concentration de la substance dans le sol | Quantité journalière de sol ingérée | Durée d'exposition théorique | Nombre de jour d'exposition théorique annuelle | Poids corporel de l'individu | Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition (substance sans seuil d'effet : Tm est assimilée à la durée de la vie entière, prise conventionnellement égale à 70 ans) | VTR (seuil d'effet) | VTR (sans seuil d'effet) | | | |
| mg/kg | mg/j | année | jour | kg | année | mg/kg/j | (mg/kg/j) ⁻¹ | | | |
| Paramètres du scénario | | | | | | | | | | |
| 0,27400026 100 6 300 15 70 0,3 Pas de VTR | | | | | | | | | | |
| Substance testée | | | | | | | | | | |
| Donnée du diagnostic | | | | | | | | | | |
| Données issues de bases de données ou d'enquêtes de terrain | | | | | | | | | | |
| Quotient de danger : | | | | | | | | | | |
| Chrome III | | | | | | | | | | |
| 0,0 | | | | | | | | | | |
| Excès de risque individuel : | | | | | | | | | | |

Dans les sols, le chrome se trouve essentiellement sous la forme de de CrIII (Sources : INERIS, Portail des substances chimiques (<https://substances.ineris.fr/>) (et ATSDR, Toxicological Profile for Chromium (<https://www.cdc.gov/TSP/>)), c'est pourquoi le chrome total a été assimilé à du chrome III pour le calcul des risques par ingestion de l'IEM.

| Voie d'exposition unique : Ingestion de sol | | | | | | | | Grille de calcul IEM | V0 | |
|---|--|---|---|------------------------------|--|------------------------------|--|----------------------|--------------------------|------------|
| Facteurs de l'équation : | | Cs | Qs | T | Ef | P | Tm | VTR | | |
| <p style="background-color: yellow; text-align: center;">Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation</p> | | Concentration de la substance dans le sol | Quantité journalière de sol ingérée | Durée d'exposition théorique | Nombre de jour d'exposition théorique annuelle | Poids corporel de l'individu | Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition (substance sans seuil d'effet : Tm est assimilée à la durée de la vie entière, prise conventionnellement égale à 70 ans) | VTR (seuil d'effet) | VTR (sans seuil d'effet) | |
| | | mg/kg | mg/j | année | jour | kg | année | mg/kg/j | (mg/kg/j) ⁻¹ | |
| | | Paramètres du scénario | 3,3217E-05 | 100 | 6 | 300 | 15 | 70 | 0,006 | Pas de VTR |
| Substance testée | | Donnée du diagnostic | Données issues de bases de données ou d'enquêtes de terrain | | | | Quotient de danger : | | 0,0 | |
| Antimoine | | | | | | | Excès de risque individuel : | | | |

| Voie d'exposition unique : Ingestion de sol | | | | | | | | Grille de calcul IEM | V0 | |
|---|--|---|---|------------------------------|--|------------------------------|--|----------------------|--------------------------|------------|
| Facteurs de l'équation : | | Cs | Qs | T | Ef | P | Tm | VTR | | |
| <p style="background-color: yellow; text-align: center;">Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation</p> | | Concentration de la substance dans le sol | Quantité journalière de sol ingérée | Durée d'exposition théorique | Nombre de jour d'exposition théorique annuelle | Poids corporel de l'individu | Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition (substance sans seuil d'effet : Tm est assimilée à la durée de la vie entière, prise conventionnellement égale à 70 ans) | VTR (seuil d'effet) | VTR (sans seuil d'effet) | |
| | | mg/kg | mg/j | année | jour | kg | année | mg/kg/j | (mg/kg/j) ⁻¹ | |
| | | Paramètres du scénario | 5,01006415 | 100 | 6 | 300 | 15 | 70 | Pas de VTR | Pas de VTR |
| Substance testée | | Donnée du diagnostic | Données issues de bases de données ou d'enquêtes de terrain | | | | Quotient de danger : | | | |
| Thallium | | | | | | | Excès de risque individuel : | | | |

| Voie d'exposition unique : Ingestion de sol | | | | | | | | Grille de calcul IEM | V0 | |
|---|--|---|---|------------------------------|--|------------------------------|--|----------------------|--------------------------|------------|
| Facteurs de l'équation : | | Cs | Qs | T | Ef | P | Tm | VTR | | |
| <p style="background-color: yellow; text-align: center;">Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation</p> | | Concentration de la substance dans le sol | Quantité journalière de sol ingérée | Durée d'exposition théorique | Nombre de jour d'exposition théorique annuelle | Poids corporel de l'individu | Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition (substance sans seuil d'effet : Tm est assimilée à la durée de la vie entière, prise conventionnellement égale à 70 ans) | VTR (seuil d'effet) | VTR (sans seuil d'effet) | |
| | | mg/kg | mg/j | année | jour | kg | année | mg/kg/j | (mg/kg/j) ⁻¹ | |
| | | Paramètres du scénario | 0,4780685 | 100 | 6 | 300 | 15 | 70 | Pas de VTR | Pas de VTR |
| Substance testée | | Donnée du diagnostic | Données issues de bases de données ou d'enquêtes de terrain | | | | Quotient de danger : | | | |
| Vanadium | | | | | | | Excès de risque individuel : | | | |

3.5 BILAN

Pour les différents composés étudiés, les mesures des retombées sont inférieures au seuil de détection. Pour les calculs, il a donc été considéré que le niveau de dépôt était égal à la limite de détection (hypothèse majorante). Les résultats obtenus sont synthétisés dans les tableaux suivants :

Tableau 8 : Synthèse de la quantification des risques IEM – Milieu Sol

| | | Arsenic | Cadmium | Cobalt | Chrome | Chrome III | Antimoine | Thallium | Vanadium |
|--|--|----------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| Dépôt total (au point max) | en $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jr}$ | < 12,3 | < 2,46 | < 4,92 | < 4,92 | / | < 6,15 | < 24,6 | < 12,3 |
| | en $\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$ | 4,49E-03 | 8,98E-04 | 1,80E-03 | 1,80E-03 | / | 2,24E-03 | 8,98E-03 | 4,49E-03 |
| Dépôt total (D_s) sur le sol superficiel * | en $\text{mg}/\text{kg}/\text{an}$ | 1,50E-01 | 2,99E-02 | 5,99E-02 | 5,99E-02 | / | 7,48E-02 | 2,99E-01 | 1,50E-01 |
| Concentration dans le sol superficiel * | en mg/kg | 1,38E-06 | 1,79E-05 | 1,91E-01 | 2,74E-01 | 2,74E-01 ** | 3,32E-05 | 5,01E+00 | 4,78E-01 |
| Résultats de la grille de calcul | Quotient de dangers (= Indice de Risque) | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | Pas de VTR | < 0,1 | < 0,1 | Pas de VTR | Pas de VTR |
| | Excès de risque individuel | 9,8E-13 | Pas de VTR | Pas de VTR | Pas de VTR | Pas de VTR | Pas de VTR | Pas de VTR | Pas de VTR |

* sol superficiel = sol d'une épaisseur de 2 cm potentiellement ingéré directement par l'Homme

** Dans les sols, le chrome se trouve essentiellement sous la forme de de CrIII (Sources : INERIS, Portail des substances chimiques (<https://substances.ineris.fr/>) (et ATSDR, Toxicological Profile for Chromium (<https://wwwn.cdc.gov/TSP/>)), c'est pourquoi le chrome total a été assimilé à du chrome III pour le calcul des risques par ingestion de l'IEM.



SOLER IDE Toulouse

Bureau d'études et de conseils en Environnement

4, impasse René Couzinet

31500 TOULOUSE

Tél : 05 62 16 72 72