

**PIECE JOINTE N°109**  
**EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES DE L'ETUDE**  
**D'IMPACT**

## BUREAU VERITAS EXPLOITATION

Service Maitrise des Risques HSE

27 allée du Chargement

59650 VILLENEUVE D'ASCQ

Tel : 03.20.19.25.00

Fax : 03.20.19.25.39



## SOCCRAM

### Démarche intégrée ERS/IEM

N° affaire : 7286759-1 / 1-4JHN750	
INDICE	0
DATE	10/03/2020
Rédacteur	Julien TANGHE

## **SOMMAIRE**

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>10</b>
<b>II.</b>	<b>EVALUATION DES EMISSIONS ATMOSPHERIQUES GENEREES PAR SOCCRAM .....</b>	<b>11</b>
1)	INVENTAIRE ET DESCRIPTION DES SOURCES D'EMISSION DU SITE.....	11
2)	LES APPAREILS .....	12
<b>III.</b>	<b>EVALUATION DES ENJEUX ET DES VOIES D'EXPOSITION.....</b>	<b>14</b>
1)	LOCALISATION DU SITE ET DE LA ZONE D'ETUDE .....	14
2)	CARACTERISATION DES POPULATIONS ET DES USAGES .....	16
<b>IV.</b>	<b>SCHEMA CONCEPTUEL .....</b>	<b>21</b>
<b>V.</b>	<b>DETERMINATION DES SUBSTANCES D'INTERET.....</b>	<b>23</b>
<b>VI.</b>	<b>SELECTION DES POLLUANTS TRACEURS .....</b>	<b>28</b>
<b>VII.</b>	<b>EVALUATION DE L'ETAT DES MILIEUX .....</b>	<b>35</b>
<b>VIII.</b>	<b>EVALUATION DE L'EXPOSITION HUMAINE .....</b>	<b>38</b>
1)	ELABORATION DES SCENARII D'EXPOSITION.....	38
2)	TERMES SOURCES.....	38
3)	CHOIX DU MODELE DE DISPERSION.....	42
4)	EVALUATION DE L'EXPOSITION – PRESENTATION DES RESULTATS DE LA MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE	46
<b>IX.</b>	<b>EVALUATION DE L'EXPOSITION – VOIES ET SCENARIOS D'EXPOSITION RETENUS.....</b>	<b>53</b>
1)	VOIES D'EXPOSITION.....	53
2)	EVALUATION DES EXPOSITIONS PAR INHALATION.....	54
3)	EVALUATION DES EXPOSITIONS PAR INGESTION .....	58
<b>X.</b>	<b>CONCLUSIONS DE L'ETUDE.....</b>	<b>62</b>
<b>XI.</b>	<b>INCERTITUDES.....</b>	<b>63</b>
1)	INTRODUCTION.....	63
2)	INCERTITUDES SUR LES DONNEES TOXICOLOGIQUES.....	63
3)	INCERTITUDES SUR LA QUANTIFICATION DES EMISSIONS .....	64
4)	INCERTITUDES LIEES AU MODELE DE DISPERSION ATMOSPHERIQUE .....	64
5)	INCERTITUDES LIEES AUX CALCULS D'EXPOSITION PAR INGESTION .....	65
6)	INCERTITUDES SUR L'EXPOSITION DES POPULATIONS ET SUR LA VARIABILITE DES ETRES HUMAINS.....	65
7)	CONCLUSION SUR LES INCERTITUDES .....	66

FIGURE 1 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU RACCORDEMENT DES CHAUDIERES EXISTANTES.....	11
FIGURE 2 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU RACCORDEMENT DES GENERATEURS DANS LA CONFIGURATION FUTURE.....	11
FIGURE 3 : LOCALISATION DU SITE .....	15
FIGURE 4 : HABITATIONS PROCHES DU SITE .....	15
FIGURE 5 : PLAN DE SITUATION DES ETABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT .....	17
FIGURE 6 : PLAN DE LOCALISATION DES ERP ALENTOURS .....	19
FIGURE 7 : LOCALISATION DES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES PROCHES .....	20
FIGURE 8 : SCHEMA D'EXPOSITION AUX COMPOSES BIOACCUMULABLES (METAUX, DIOXINES) .....	22
FIGURE 9 : SCHEMA D'EXPOSITION AUX COMPOSES NON BIOACCUMULABLES (POUSSIERES, SO2.....)	22
FIGURE 10 : STABILITE ATMOSPHERIQUE DE LA STATION REIMS PRUNAY.....	43
FIGURE 11 : ROSE DES VENTS PAR CLASSES DE VITESSE MODELISEE AU NIVEAU DU SITE – PERIODE 2017/2019 .....	44
FIGURE 12 : HABITATIONS AUX ALENTOURS DU SITE.....	47
FIGURE 13 : LOCALISATION DES CIBLES ETUDIEES.....	53
FIGURE 14 : DOSE JOURNALIERE D'EXPOSITION (DJE) POUR L'INGESTION POUR LE PLOMB CALCULE PAR MODUL'ERS .....	59

## **ACRONYMES**

**AFSSET** : Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (devenue ANSES en 2010)

**ANSES** : Agence Nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

**AP** : Arrêté Préfectoral

**ATSDR** : Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Agence pour l'Enregistrement des Substances Toxiques et des Maladies)

**Ba** : Facteur de biotransfert

**BCF** : Facteur de bioconcentration

**CI** : concentration moyenne inhalée

**CIRC** : Centre International de Recherche sur le Cancer

**COV** : Composés Organiques Volatils

**DJE** : Dose Journalière d'Exposition

**EFSA** : Autorité Européenne de Sécurité des Aliments

**ERI** : Excès de Risque Individuel

**ERS** : Evaluation des Risques Sanitaires

**ERU** : Excès de Risque Unitaire

**FET** : Facteur d'équivalence toxique

**FINESS** : Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux

**HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

**HSDB** : Hazardous Substances Data Bank, banque de Données sur les Substances Dangereuses de la Bibliothèque Nationale de Médecine des Etats-Unis (National Library of Medicine),

**ICPE** : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

**IEM** : Interprétation de l'Etat des Milieux

**INERIS** : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

**INRS** : Institut National de Recherche et de Sécurité

**INSEE** : Institut National de Statistique des Etudes Economiques

**InVS** : Institut de Veille Sanitaire

**IRIS** : Integrated Risk Information System (de l'US-EPA)

**ITER** : International Toxicity Estimates for Risk

**MRL** : Niveau de Risque Minimum (Minimal Risk Levels).

**MS** : Matières Sèches

**NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>** : Dioxyde d'azote / Oxydes d'azote

**OEHHA** : Office of Environmental Health Hazard Assessment

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**PM<sub>x</sub>** : particules fines avec un diamètre aérodynamique inférieur à x µm

**PCB-DL** : PCB de type dioxine (PCB « dioxin like »)

**PCDD/F** : Polychlorodibenzodioxines et polychlorodibenzofuranes

**QD** : Quotient de Danger

**RIVM** : Rijkinstituut voor volksgezondheid en milieu

**SSP** : Sites et Sols Pollués

**TCEQ** : Texas Commission on Environmental Quality

**TEQ** : Facteur d'Equivalence Toxique

**VLE** : Valeur Limite d'Emission

**VTR** : Valeur Toxicologique de Référence

**US-EPA** : United States Environmental Protection Agency

## **GLOSSAIRE – DEFINITIONS**

Ces définitions sont issues du :

- Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impacts (février 2000) de l'Institut de Veille Sanitaire.
- Guide méthodologique « *Evaluation des risques sanitaires liés aux substances chimiques dans l'étude d'impact des installations classées pour la protection de l'environnement* » de l'INERIS de 2003.
- Rapport « *Estimation de l'impact sanitaire d'une pollution environnementale et évaluation quantitative des risques sanitaires* », InVS, AFSSET, novembre 2007.
- Guide « *Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires* », INERIS, août 2013.

**Bioaccumulation** : Processus d'accumulation d'une substance dans un organisme vivant, via la chaîne alimentaire ou un écosystème. Processus d'échange entre un être vivant et son milieu, entraînant des concentrations plus élevées à l'intérieur de cet organisme que dans son environnement ou sa nourriture.

**Bioconcentration** : Processus d'accumulation d'une substance dans un organisme vivant, par captation directe à partir du milieu environnant.

**Cancérogène** : Propriété d'un agent dangereux pour la santé (ou d'un mélange d'agents dangereux) qui exprime la capacité à favoriser ou à provoquer le développement d'un cancer ou d'une lésion pouvant constituer le point de départ d'un cancer.

**Cible** : Organisme, système ou (sous-)groupe impacté par un polluant.

**Concentration moyenne inhalée (C<sub>i</sub>)** : La concentration moyenne inhalée est l'estimation de la concentration moyenne en agent toxique dans l'air ambiant en un lieu donné, en tenant compte de la fréquence et de la durée d'une exposition. Elle s'exprime en mg ou en µg/m<sup>3</sup>.

**Concentration de Référence** : valeur toxicologique de référence (VTR) utilisée pour les effets toxiques à seuil quand l'exposition a lieu par voie respiratoire. Elle s'exprime généralement en mg ou en µg/m<sup>3</sup> (milligramme ou microgramme de substance chimique par mètre cube d'air ambiant). Elle définit pour une durée d'exposition spécifiée la teneur maximale théorique de l'air ambiant en agent toxique qu'un individu, issu d'un groupe sensible ou non, peut inhaler sans que survienne un effet nuisible à sa santé.

**Danger** : Propriété d'un agent, ou situation de causer des effets néfastes à l'organisme qui y est exposé.

Situation ou possibilité pour une substance, du fait de ses caractéristiques ou propriétés intrinsèques, de provoquer des dommages aux personnes, aux biens et à l'environnement. Effet sanitaire indésirable comme le changement d'une fonction ou d'une valeur biologique, de l'aspect ou de la morphologie d'un organe, une malformation fœtale, une maladie transitoire ou définitive, une invalidité ou une incapacité, un décès.

**Dose** : quantité d'agent dangereux mise en contact avec un organisme vivant. Pour l'exposition humaine ou animale aux substances chimiques, elle s'exprime en milligramme par kilo de poids corporel et par jour. A défaut de précision, la dose est externe ou administrée (intake).

**Dose journalière admissible (DJA)** (ou Dose Journalière Tolérable – DJA, ou Dose de référence RfD) : la dose journalière admissible est la valeur toxicologique de référence utilisée pour les effets toxiques à seuil quand l'exposition a lieu par voie orale ou cutanée. Elle s'exprime généralement en mg/kg.j (milligramme de substance chimique par kilo de

poids corporel et par jour). La DJA définit la quantité maximale théorique d'agent toxique qui peut être administrée à un individu, issu d'un groupe sensible ou non, sans provoquer d'effet nuisible à sa santé.

**Dose Journalière d'Exposition (DJE)** : quantité de polluant ingérée rapportée à la masse corporelle et moyennée sur la durée d'exposition. Elle s'exprime en mg ou µg de polluant par kilogramme de masse corporelle et par jour (mg/kg/j ou µg/kg/j).

**Effet à seuil (de dose)** : effet nocif pour la santé (ou danger) qui ne se manifeste qu'au-delà d'une certaine dose ou concentration d'exposition.

**Effet sans seuil (de dose)** : effet nocif pour la santé (ou danger) qui se manifeste quelle que soit la dose ou concentration d'exposition si elle est non nulle.

**Evaluation de la relation dose-effet** : définit une relation quantitative entre la dose ou concentration administrée ou absorbée et l'incidence de l'effet délétère

**Excès de risque individuel (ERI)** : probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu développe au cours de sa vie entière l'effet associé à une exposition à un agent dangereux

**Excès de risque unitaire (ERU)** : cet indice est la valeur toxicologique de référence (VTR) pour les effets toxiques sans seuil. Il représente en général la pente de la borne supérieure de l'intervalle de confiance de la courbe dose-réponse et s'exprime, pour une exposition orale ou cutanée, en  $(\text{mg/kg.j})^{-1}$  et pour une exposition par inhalation en  $(\mu\text{g/m}^3)^{-1}$ . Par exemple, pour l'exposition au benzène par inhalation, l' $\text{ERU}_{\text{inhalation}}$  est de  $6.10^{-6}(\mu\text{g/m}^3)^{-1}$  : ce chiffre signifie qu'une exposition via l'inhalation de un million de personnes pendant une vie entière (70 ans) 24 h sur 24 à la concentration de  $1 \mu\text{g/m}^3$  de benzène est susceptible d'induire un excès de décès par leucémies de 6 cas.

**Exposition** : désigne, dans le domaine sanitaire, le contact entre une situation ou un agent dangereux et un organisme vivant. L'exposition peut aussi être considérée comme la concentration d'un agent dangereux dans le ou les milieux pollués mis en contact avec l'homme. L'exposition aiguë varie de quelques minutes à quelques jours. L'exposition chronique varie de quelques années à la vie entière.

**Génotoxique** : propriété d'un agent dangereux pour la santé qui exprime la capacité d'altérer de manière directe le matériel génétique. Parmi les effets génotoxiques, on distingue des effets aneugènes (se dit d'un agent qui provoque des anomalies dans le nombre de chromosomes), clastogènes (se dit d'un agent qui provoque des cassures de chromosomes) et mutagènes (se dit d'un agent qui provoque des mutations au niveau du matériel génétique).

**Indice de Risque (IR) (ou Quotient de Danger - QD)** : Rapport entre l'estimation d'une exposition (exprimée par une dose ou une concentration pour une période de temps spécifiée) et la VTR de l'agent dangereux pour la voie et la durée d'exposition correspondantes. L'indice de risque (sans unité) n'est pas une probabilité et concerne uniquement les effets à seuil.

**Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM)** : Démarche de gestion à mettre en œuvre pour apprécier l'acceptabilité des impacts d'un site ou d'une installation sur leur environnement. D'une manière plus générale, cette démarche de gestion permet de vérifier la compatibilité entre l'état des sites et des milieux et leurs usages, lorsque ces usages sont déjà fixés, c'est-à-dire les usages constatés.

**Meilleure Technique Disponible** : stade de développement le plus récent des activités, de leurs procédés et de leur mode d'exploitation pouvant être employées sur un site à une échelle industrielle, dans des conditions économiquement viables, et permettant d'obtenir un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble.

**Mode d'exposition** : descriptif des conditions d'exposition à une substance toxique. Le mode d'exposition peut être direct (ingestion de sols et de poussières, ingestion d'eau,...) ou indirect (ingestion de produits de consommation susceptibles d'être eux-mêmes pollués comme les produits du jardin).

**Modélisation** : équation mathématique permettant de reproduire un phénomène physique, biologique ou chimique. Elle est notamment utilisée pour : i) simuler le devenir et le transfert des polluants dans les différents compartiments environnementaux ; ii) quantifier l'exposition humaine par les voies orale, cutanée et respiratoire ; iii) extrapoler la courbe dose-réponse, pour les effets cancérogènes, des fortes doses vers les faibles doses ; iv) quantifier l'excès de risque individuel ou collectif.

**Mutagène** : agent susceptible d'induire des mutations de l'ADN, du gène, du chromosome, ce qui constitue l'étape initiale de la cancérogénèse, à condition que la mutation porte sur des gènes impliqués dans le processus de cancérogénèse.

**Organe cible** : l'organe ou le système du corps qui est généralement affecté le premier quand la dose de la substance est augmentée à partir de 0. Pour une toxicité systémique, l'effet critique apparaît dans l'organe cible primaire. Souvent, des organes ou systèmes multiples sont affectés par une substance à sa dose ou concentration effective la plus faible.

**Relation dose-effet** : relation spécifique d'une voie entre des niveaux d'exposition à un agent dangereux (exprimée par une dose ou une concentration dans l'air) et la survenue d'effets observés qui peuvent varier en nature et en gravité. La relation dose-effet fournit donc la nature ou la gravité d'un effet toxique en fonction de l'exposition.

**Relation dose-réponse** : relation spécifique d'une voie entre des niveaux d'exposition à un agent dangereux (exprimée par une dose ou une concentration dans l'air) et l'incidence observée (« réponse ») d'un effet donné. La relation dose-réponse exprime donc la fréquence de survenue d'un effet en fonction de l'exposition. Les VTR sont établies à partir de relations dose-réponse établies chez l'homme ou à défaut chez l'animal.

**Risque** : probabilité de survenue d'un danger, d'une maladie, ou de la mort dans des circonstances spécifiques. En termes quantitatifs, le risque s'exprime par un intervalle allant de 0 (représentant la certitude qu'aucun danger ne va apparaître) à 1 (représentant la certitude d'apparition d'un danger).

**Scénario d'exposition** : définit toutes les caractéristiques physiologiques et comportementales de l'être humain qui sont utilisées pour modéliser l'exposition, notamment : l'âge, le poids, le sexe, le volume respiratoire, la surface cutanée, le budget espace-temps, l'activité réalisée sur le site, la consommation alimentaire, l'ingestion de sol, etc.

**Schéma conceptuel** : représentation et/ou description synthétique du site et de son environnement comprenant toutes les informations acquises lors des diagnostics du site et des milieux, et permettant une présentation claire et simplifiée de la problématique rencontrée sur le site étudié.

**Seuil** : la dose ou l'exposition en dessous de laquelle aucun effet adverse n'est attendu. On distingue les substances à effet seuil (à quelques exceptions, les toxiques systémiques) et les substances sans effet seuil (les cancérigènes).

**Toxicité** : propriété intrinsèque d'une substance susceptible de provoquer des effets biologiques néfastes à un organisme qui est exposé.

**Valeur toxicologique de référence (VTR)** : appellation générique regroupant tous les types d'indice toxicologique qui permettent d'établir une relation entre une dose et un effet (toxique à seuil d'effet) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxique sans seuil d'effet). Les VTR sont établies par des instances internationales (l'OMS par exemple) ou des structures nationales (US-EPA et ATSDR aux Etats-Unis, RIVM aux Pays-Bas, Health Canada, etc.).

**Voie d'exposition** : voie de passage d'une substance de la source vers une cible. Une voie d'exposition inclut une source, un point d'exposition et une voie d'administration. Si le point d'exposition diffère de la source, il existe également un mécanisme de propagation et un compartiment intermédiaire où le polluant est transporté.

## **I. Introduction**

---

La présente étude porte sur les impacts liés aux installations de combustion du site SOCCRAM, notamment suite au projet de substitution d'une chaudière charbon par une chaudière bois B.

La méthodologie suivie dans cette étude se réfère :

- Au guide méthodologique de l'INERIS « Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires » (Août 2013).
- Au « Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact », document publié par l'Institut national de Veille Sanitaire (février 2000).

Nous utilisons une approche permettant d'obtenir une cartographie de l'impact des émissions atmosphériques sur une longue période afin d'obtenir des résultats utilisables pour l'évaluation des risques sanitaires qui s'intéresse aux effets des expositions des populations potentiellement exposées sur de longues durées (exposition chronique).

Les outils de modélisation utilisés correspondent aux recommandations de l'US-EPA et de l'INERIS pour l'étude d'impact sanitaire des rejets atmosphériques des sources fixes.

Remarque : Cette étude a été réalisée avec les connaissances actuelles. La méthode et les outils utilisés sont ceux connus et validés à la date de rédaction du rapport.

L'Evaluation des Risques Sanitaires est menée en 6 étapes :

- 1) Evaluation des émissions atmosphériques du site : inventaire et description des émissions attendues.
- 2) Evaluation des enjeux et des voies d'exposition : Description de l'environnement du site, de la population et des usages ; Elaboration du schéma conceptuel d'exposition.
- 3) Schéma conceptuel
- 4) Détermination des substances d'intérêt : Hiérarchisation des substances susceptibles d'être émises : identification des traceurs d'émission, traceurs de risque ; Justification du choix des substances retenues pour la campagne de mesures dans l'environnement.
- 5) Evaluation et interprétation de l'état des milieux : Recensement des données de qualité de l'air disponibles ; Comparaison aux valeurs de référence ; Conclusion sur la compatibilité de l'état des milieux actuels avec les usages.
- 6) Evaluation prospective des risques sanitaires : Evaluation des émissions prévues ; Identification des dangers et évaluation de la relation dose-réponse ; Evaluation de l'exposition via une modélisation de la dispersion atmosphérique et mise en œuvre si nécessaire d'un modèle de transfert multi-milieux ; Caractérisation des risques.

## II. Evaluation des émissions atmosphériques générées par SOCCRAM

### 1) Inventaire et description des sources d'émission du site

SOCCRAM dispose actuellement de 7 chaudières installées en parallèle pour assurer la production d'eau chaude surchauffée vers le réseau de chaleur de la Croix Rouge de la commune de Reims, pour une puissance thermique de 145,1 MW.

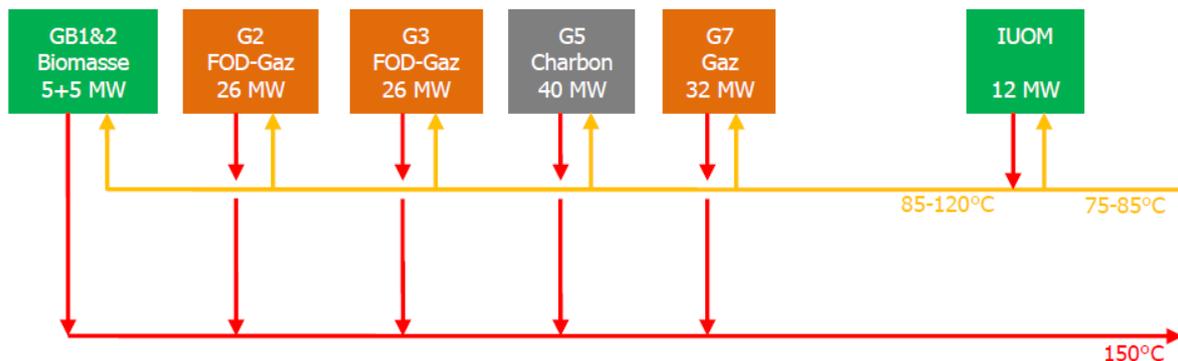


Figure 1 : Représentation schématique du raccordement des chaudières existantes.

Dans la configuration future, la chaufferie assurera la production de chaleur d'une puissance thermique de 130,1 MW, soit environ 10% de moins que dans l'état actuel de fonctionnement du site.

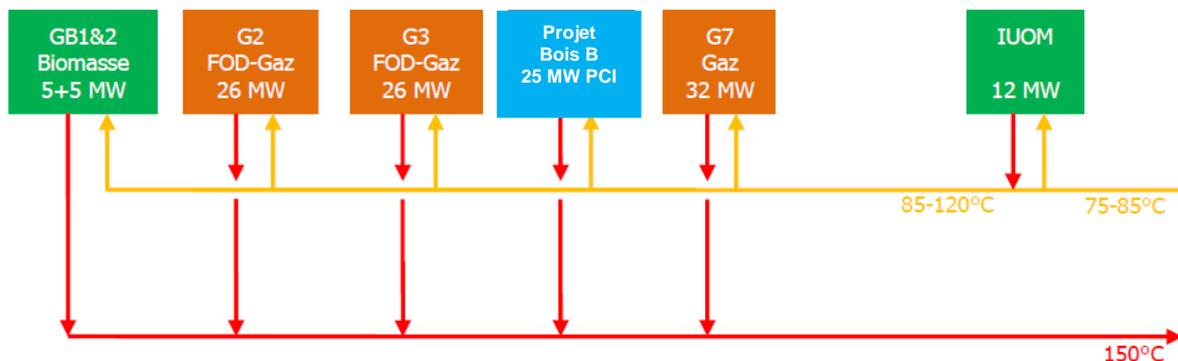


Figure 2 : Représentation schématique du raccordement des générateurs dans la configuration future.

## 2) Les appareils

Le mode de fonctionnement des installations actuelles sera modifié. Actuellement, la biomasse est le combustible principal, suivi de près par le charbon et le gaz naturel.

Dans le cadre du projet, le combustible charbon ne sera plus utilisé. Le générateur G5 sera donc démantelé (date prévisionnelle d'arrêt au 31 mars 2020, fin de l'exercice hivernal). Le Bois B deviendra le combustible principal suivi par la biomasse, puis le gaz. Le FOD sera en ultime secours.

Les appareils restants ne seront pas modifiés dans le cadre du projet et fonctionneront toujours soit au gaz naturel, au FOD ou au Bio-fioul, soit à la biomasse.

Les sources canalisées de rejets atmosphériques de la chaufferie sont ainsi constituées :

- des générateurs existants :
  - deux générateurs G2 et G3 fonctionnant alternativement au fioul lourd, au « bio-fioul » et au gaz, d'une puissance thermique unitaire de 25,8 MW,
  - un générateur G5 fonctionnant au charbon, d'une puissance thermique de 40,7 MW, qui sera désinstallé dans le cadre du projet.
  - deux générateurs G7 et G8 fonctionnant au gaz naturel et dont les puissances thermiques sont respectivement de 30,8 MW et 12 MW.
  - Deux chaudières biomasse GB1 et GB2 d'une puissance de 5 MW chacune.
- Une chaudière Bois B en projet d'une puissance de 25 MW entrée PCI ( $\Leftrightarrow$  22 MW en puissance utile), en lieu et place de la chaudière charbon G5

Le tableau ci-dessous indique le mode de fonctionnement et la part d'utilisation de combustible des appareils existants restants, dans la configuration future du site :

*Installations Classées pour la Protection de l'Environnement*  
**Evaluation des Risques Sanitaires / Interprétation de l'état des milieux**

Appareil	Puissance (MW)	Combustible	Mode de fonctionnement (en h/an)	Hauteur de cheminée	Autorisée en / dernière modif substantielle
G2	25,8	Gaz naturel FOD Bio-fioul	Gaz : 1500 FOD : 500 Bio-fioul : 200	72,5	(28/04/1972) 12/2016
G3	25,8	Gaz naturel FOD Bio-fioul	Gaz : 1500 FOD : 500 Bio-fioul : 200	72,5	(05/05/1972) 12/2016
<b>G5 (remplacée en 2021 – arrêt prévisionnel au 31/03/2020)</b>	40,7	Charbon	2880 h (Hiver)	72,5	(10/07/1987) 03/2018
G7	30,8	Gaz naturel	3000 h (Intersaison et été en appoint)	72,5	21/07/1970 12/2016
G8	12	Gaz naturel	500 h (Intersaison et été en appoint)	72,5	16/09/2003
GB1	5	Biomasse	4450 h (Hiver et intersaison)	21	09/2012
GB2	5	Biomasse	4450 h (Hiver et intersaison)	21	09/2012
<b>Générateur bois B (mise en place en 2021)</b>	25	Bois de classe B	Hivers et inter-saison 5760 h/an	72,5 m reprise du conduit charbon existant)	Projet 2021

### **III. Evaluation des enjeux et des voies d'exposition**

Ce paragraphe a pour but de caractériser les populations pouvant être exposées ainsi que les usages du milieu.

En effet, des impacts sur la santé publique ne peuvent être envisageables que si trois paramètres essentiels sont réunis :

- Une ou plusieurs sources de pollution : le ou les « dangers » ;
- Une ou plusieurs cibles, c'est-à-dire des populations susceptibles d'être impactées par la pollution,
- Un mode de transfert allant des sources de pollution vers les populations « cibles ».

#### **1) Localisation du site et de la zone d'étude**

L'établissement SOCCRAM est situé dans une zone de type industriel et commercial. Son environnement immédiat est donc composé essentiellement d'entreprises et d'établissements recevant du public.

On recense au plus proche du projet :

- En bordure Est de l'établissement, la départementale D951 (avenue de Champagne), et de l'autre côté de la voie publique la ZAC de Murigny (établissements recevant du public), ainsi que des habitats individuels et collectifs ; Les premières habitations sont situées à environ 250 mètres à l'est du site,
- En bordure Nord de l'établissement, l'Avenue du Marchal Juin, et de l'autre côté de la voie publique des établissements recevant du public, ainsi que des habitats collectifs ;
- A l'Ouest, la déchèterie Reims – Croix Rouge, un centre de lavage automobile (SARL CENTRE AUTO LAVAGE), la voie publique « impasse de la chaufferie » puis au-delà des terrains viticoles ;
- Au Sud, le site de RTE (Réseau de Transport d'Electricité), puis des terrains viticoles.

Ci-dessous un extrait du plan cadastral intégrant les éléments ci-dessus, ainsi que le site SOCCRAM.

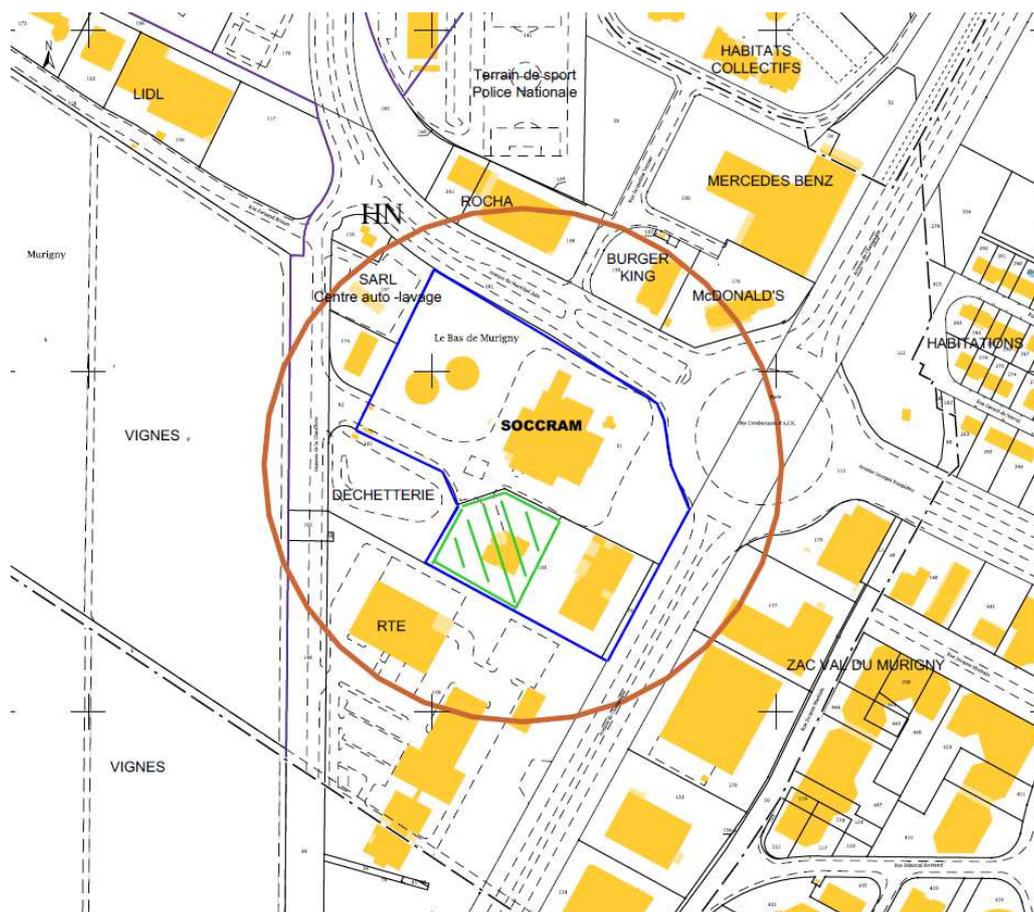


Figure 3 : Localisation du site

On recense dans un rayon de 300 mètres autour du site deux zones d'habitation :

- Une zone d'habitat collectif (92 hab. environ) à 180 m au Nord/Nord est des limites du site
- Une zone d'habitat individuel et collectif (115 hab. environ) à 150 m à l'est.

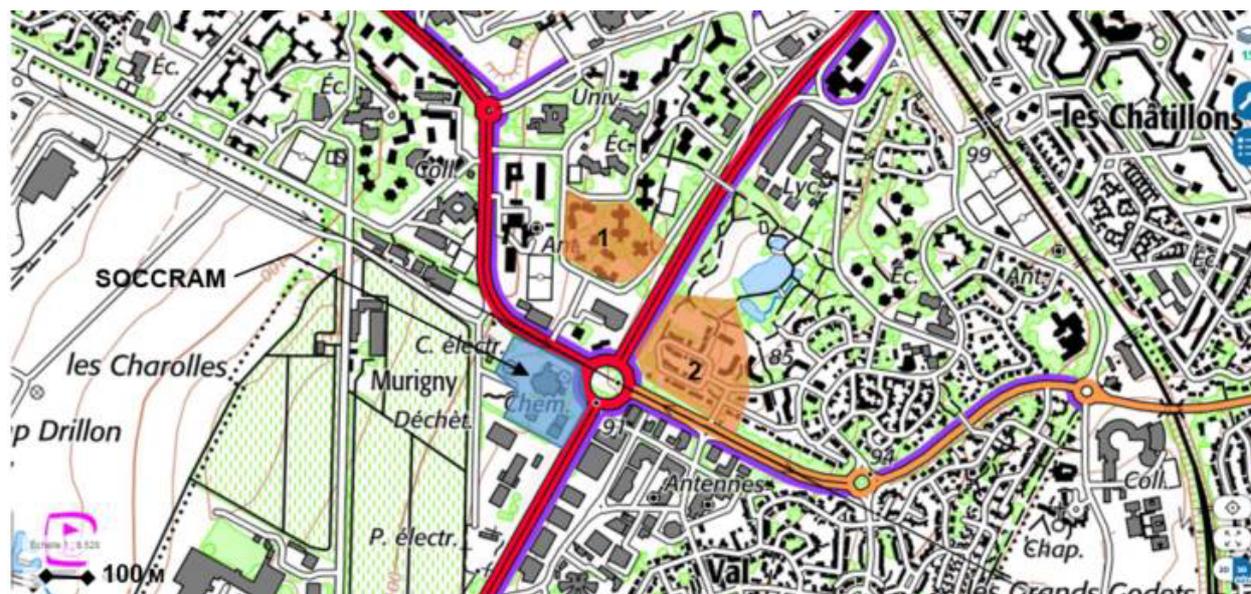


Figure 4 : Habitations proches du site

## 2) Caractérisation des populations et des usages

### **Population**

La population résidant à Reims est estimée à 183 113 habitants (source INSEE recensement 2016). La population globale intégrant les zones urbaines périphériques atteint 320 276 habitants (source INSEE 2014).

	Hommes	Femmes	Ensemble
Moins de 3 ans	3 455	3 427	6 882
3 à 5 ans	3 489	3 370	6 859
6 à 10 ans	5 237	4 946	10 183
11 à 17 ans	6 907	6 434	13 341
18 à 24 ans	13 948	14 930	28 878
25 à 39 ans	19 282	19 463	38 744
40 à 54 ans	14 771	16 056	30 827
55 à 64 ans	8 542	10 502	19 044
65 à 79 ans	8 204	10 767	18 971
80 ans ou plus	2 776	6 606	9 383
Ensemble	86 611	96 502	183 113

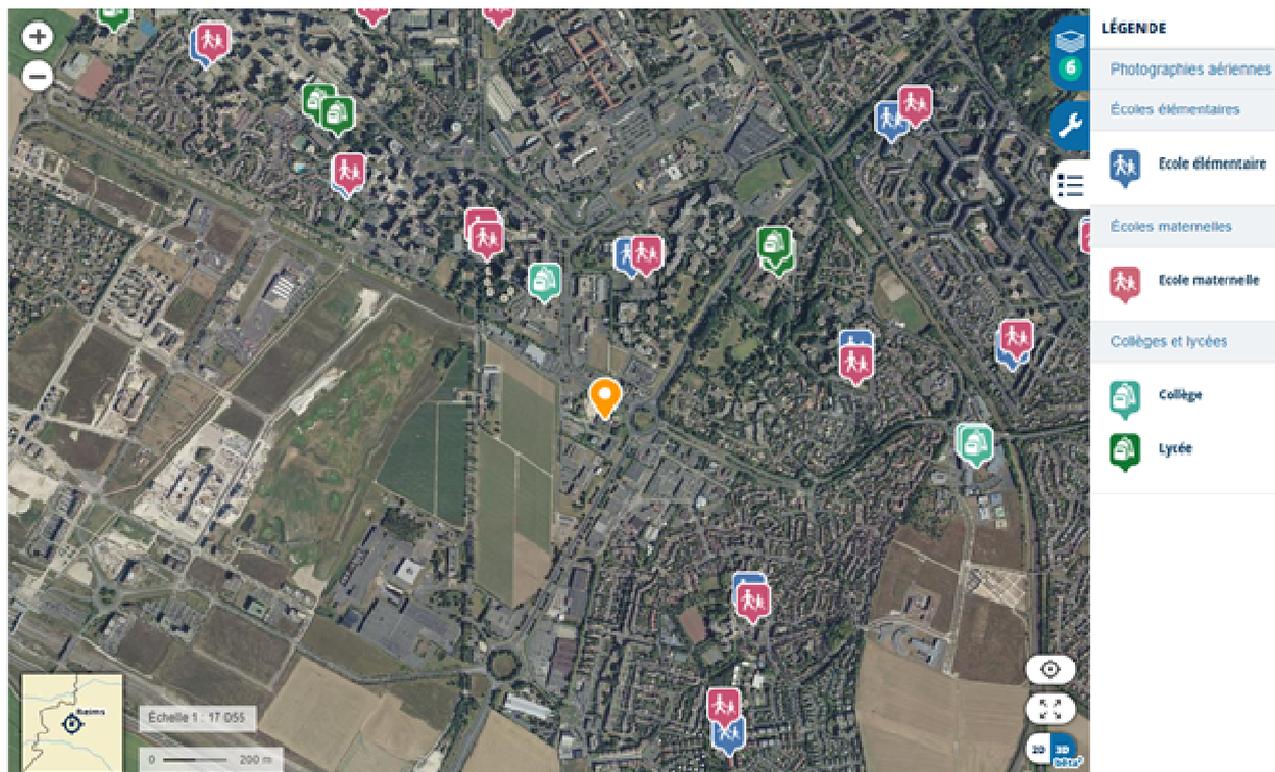
### **Etablissements sensibles**

Il s'agit des établissements scolaires, de la petite enfance, des établissements hospitaliers, des maisons de retraite,...

Ces établissements font l'objet d'une attention particulière dans le cadre d'une évaluation des risques sanitaires étant donné qu'ils constituent des lieux de présence de populations sensibles à la pollution.

### **Enseignement**

On recense plus d'une centaine d'établissements sur la commune de Reims (écoles maternelles, primaires, collèges, lycées). Les plus proches du site sont représentés ci-après.



**Figure 5 : Plan de situation des établissements d'enseignement**

Les établissements les plus proches sont :

- L'école élémentaire/maternelle Blanche CAVARROT (700 m au nord-ouest)
- Le collège Georges BRAQUE (400 m au nord)
- L'école primaire/maternelle Jean D'AULAN (400 m au nord)
- Le lycée George BRIERE (650 m au nord-est)
- L'école primaire/maternelle TURENNE (800 m à l'est)
- L'école primaire MAZARIN (700 m au sud-ouest)

**Petite enfance**

La commune de Reims compte plusieurs dizaines d'établissements dédiés à la petite enfance. L'établissement le plus proche est la crèche de Murigny, à 600 m au Nord du site.

**Etablissements recevant du public**

On notera la présence dans l'aire d'étude d'établissements recevant du public. Les ERP proches du site sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Désignation	Distance aux limites de propriété	Description	Capacité d'accueil	Type*
Lidl	150 m à l'Ouest	Discount alimentaire, supermarchés, hypermarchés	< 200 pers.	M ERP cat. 5
Collège Georges Braque	240 m au Nord / Nord-Ouest	Etablissement scolaire	301 – 700 pers.	R ERP cat.3

Désignation	Distance aux limites de propriété	Description	Capacité d'accueil	Type*
Ecole nationale de police	120 m au Nord	Intérieur, sécurité (services publics)	301 – 700 pers.	R ERP cat.3
Rocha	40 m au Nord	Vente de matériel agricole et motoculture	< 200 pers.	M ERP cat.5
Burger King	55 m au Nord	Restaurant	< 200 pers.	N ERP cat. 5
McDonald's	55 m au Nord	Restaurant	< 200 pers.	N ERP cat.5
Mercedes Tenedor Reims	110 m au Nord	Concessionnaire automobile	< 200 pers.	M ERP cat.5
Leader Price	80 m à l'Est	Supermarché discount	< 200 -pers.	M ERP cat. 5
Thiriet	45 m à l'Est	Magasin de produits surgelés	< 200 pers.	M ERP cat.5
Le Kongming	80 m à l'Est	Restaurant	< 200 pers.	N ERP cat.5
Lapeyre	45 m à l'Est	Magasin de meubles	< 200 pers.	M ERP cat.5
Aldi	80 m au Sud	Discount alimentaire, supermarchés, hypermarchés	< 200 pers.	M ERP cat. 5
Petitcolin	120 m au Sud	Magasin de meubles	< 200 pers.	M ERP cat.5
Bruschi	180 m au Sud	Vente et installation de cuisine, salle de bain	< 200 pers.	M ERP cat.5
Bouley	204 m au Sud	Magasin de literie	< 200 pers.	M ERP cat.5
Rochebobois	230 m au Sud	Magasin de meuble	< 200 pers.	M ERP cat.5

(\*) : M : magasin de vente et centre commercial ; R : établissement d'enseignement et de formation ; N : restaurant et débit de boisson.

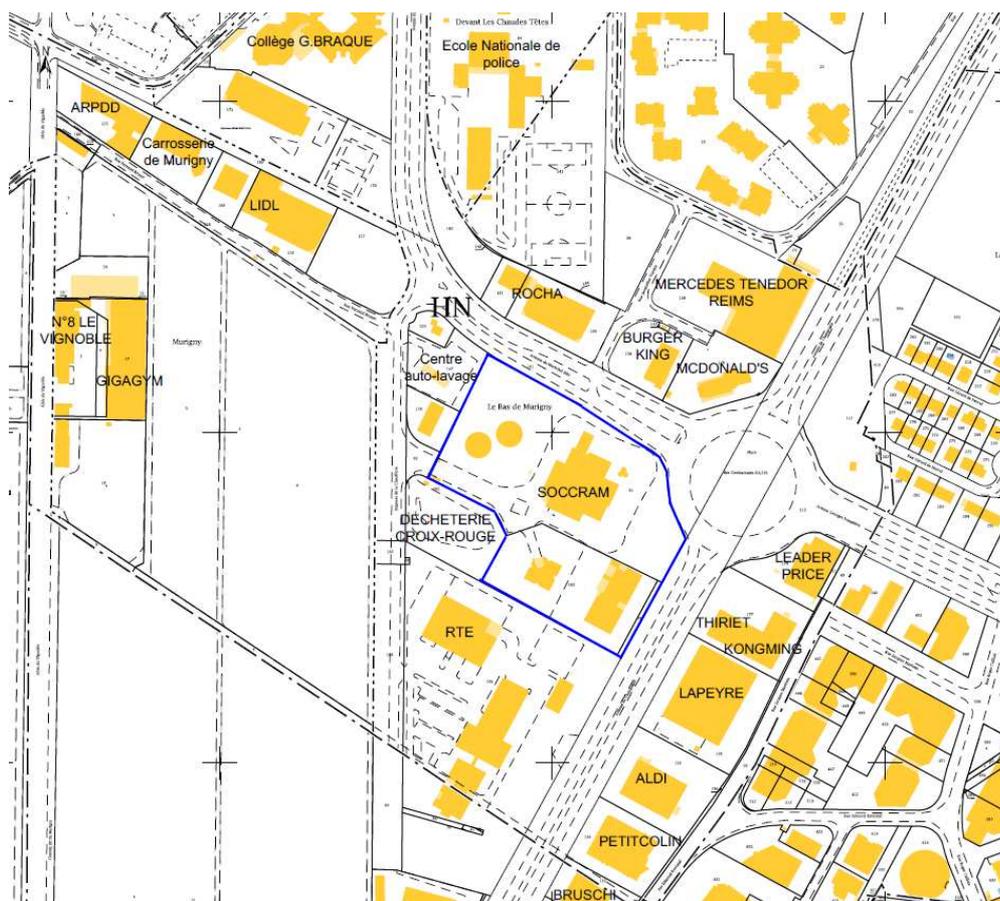


Figure 6 : Plan de localisation des ERP alentours

### Établissements sanitaires

Les établissements les plus proches sont le CHU de Reims (700 m au Nord) et la clinique Terre de France (1 km au Sud Ouest)

### Autres activités polluantes

Dans la zone considérée, la pollution de l'air provient :

- De la circulation automobile,
- Des installations de chauffage,
- Des rejets industriels des installations proches du site.

### **Circulation automobile :**

Le site est implanté à 1500 m au nord de l'Autoroute A4. On retrouve en limite de propriété à l'est la RD951.

Les émissions liées au trafic routier sont en général évaluées sur la base des paramètres suivants : dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), poussières (PM), monoxyde de carbone (CO), oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et composés organiques volatils (COV) dont essentiellement le benzène.

### **Installations industrielles :**

Géorisques recense 5 installations industrielles dans un rayon de 1 km autour du site :

- La déchetterie de la Croix Rouge : enregistrement en 2710-2 (Collecte de déchets non dangereux)
- ITRON : autorisation en 2565 (Traitement des métaux et matières plastiques) et 2940-1 (Vernis, peinture, colle, ... application, cuisson, séchage)

- PH-CH : autorisation en 2251 (vins) et 2275 (fabrication de levure)
- Chanoine : autorisation en 2251 (vins)
- Palmer&Co : enregistrement en 2251 (vins)



**Figure 7 : Localisation des installations industrielles proches**

Le risque d'effets cumulés avec les installations industrielles voisines est limité au regard des activités observées.

## **IV. Schéma conceptuel**

Les émissions atmosphériques d'une installation industrielle sont potentiellement à l'origine :

- d'une contamination de l'air (polluants atmosphériques),
- d'une contamination des sols, en particulier les polluants bioaccumulables,
- d'une contamination des végétaux (transferts sol / plante et dépôts sur les parties aériennes des végétaux), en particulier pour les polluants bioaccumulables,
- d'une contamination des produits animaux (viande, œufs, lait), en particulier pour les polluants bioaccumulables.

L'exposition des populations est donc susceptible de se faire par les voies d'exposition suivantes :

- Inhalation directe : exposition aux concentrations atmosphériques.
- Ingestion directe de sol en particulier chez les enfants (jeux à l'extérieur,...).
- Ingestion indirecte via les légumes et les fruits.
- Ingestion indirecte via les produits animaux (viande, lait, œufs,...). La contamination des animaux provient de l'ingestion directe de sol (pâturage) et de végétaux contaminés.

Les voies d'exposition des populations potentiellement exposées aux émissions atmosphériques de SOCCRAM dans sa configuration prévue sont retenues sur la base du schéma conceptuel d'exposition. Ce dernier est établi en considérant :

- La nature des polluants susceptibles d'être émis par l'installation et de leurs caractéristiques (en particulier, leur potentiel de bioaccumulation) ;
- Ceci permet d'identifier les voies de transfert possibles ;
- L'inventaire des usages et des différents milieux d'exposition potentielle ;
- L'inventaire des cibles.

Compte tenu du fait que les émissions atmosphériques de certains équipements de combustion peuvent contenir des métaux (Générateurs 2 et 3 en configuration fioul domestique et bio-fioul) et des dioxines (générateur bois B), qui sont des polluants bioaccumulables et persistants dans différents compartiments environnementaux, nous avons donc considéré qu'il y avait une exposition possible par ingestion pour ces composés.

L'occupation des sols et l'inventaire des usages mettent en évidence la présence potentielle de jardins potagers dans la zone d'étude

L'exposition par ingestion directe de sol, de fruits et légumes, de certains produits animaux (œufs) est donc retenue.

Ainsi, le schéma conceptuel d'exposition aux substances émises par SOCCRAM, et présentant les voies d'exposition est présenté ci-après.

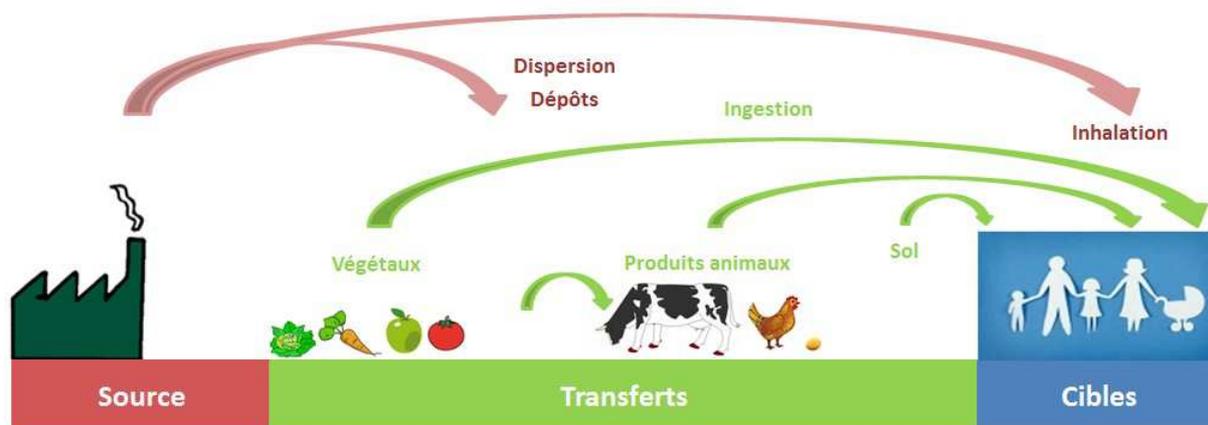


Figure 8 : Schéma d'exposition aux composés bioaccumulables (métaux, dioxines)

Tous les autres polluants étudiés et retenus comme traceurs du risque sont considérés comme non bioaccumulables. La seule voie d'exposition à ces polluants est l'inhalation.

Le schéma conceptuel d'exposition présentant cette voie d'exposition par inhalation est le suivant :

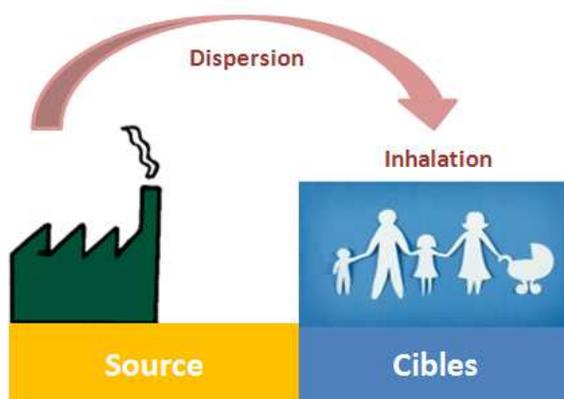


Figure 9 : Schéma d'exposition aux composés non bioaccumulables (Poussières, SO<sub>2</sub>...)

## **V. Détermination des substances d'intérêt**

Le choix des substances d'intérêt est réalisé en fonction des critères suivants :

- Le flux de polluants émis
- Le devenir dans les compartiments environnementaux,
- La toxicité de la substance.

### **- *Caractéristiques intrinsèques des substances***

L'ensemble des substances présentées précédemment est caractérisé en annexe 1, avec des fiches spécifiques à chaque composé. Sont décrits :

- Le comportement de la substance dans l'environnement ;
- La pénétration et devenir de la substance dans l'organisme,
- Les effets systémiques,
- Les effets cancérigènes,
- Les effets sur la reproduction et le développement,
- Les mentions de danger de la substance.

### **- *Etablissement des relations dose-réponse***

Les relations dose - réponse font le lien entre une dose d'exposition à une substance suivant une voie d'exposition, et l'apparition d'un ou plusieurs effets néfastes sur la santé.

Ce paragraphe consiste à rechercher et sélectionner les VTR (Valeurs Toxicologiques de Référence) qui permettent ensuite de hiérarchiser des substances et également de quantifier le risque sanitaire.

### **- *Critères de choix des Valeurs toxicologiques de référence (VTR)***

Les composés peuvent être rangés en 2 catégories en fonction de leur mécanisme d'action :

- **Les toxiques à seuil**, pour lesquels il existe des valeurs toxicologiques de référence en dessous desquelles l'exposition est réputée sans risque,
- **Les toxiques sans seuil**, tels certains produits cancérigènes pour lesquels il n'est pas possible de définir un niveau d'exposition sans risque pour la population. Pour ces produits, des excès de risque unitaire (ERU) sont fournis. Ils correspondent au nombre de cas de cancers attendus pour une exposition pendant la vie entière ou une très longue durée.

Les VTR dépendent notamment :

- des voies d'exposition,
- du type de substance (à effet avec seuil ou à effet sans seuil),
- des durées d'exposition lors des études épidémiologiques, des facteurs d'incertitude utilisés...

Les bases de données consultées pour caractériser les VTR des différentes substances présentées précédemment sont principalement les suivantes :

- IRIS (Integrated Risk Information System), de l'US-EPA (United-States Environmental Protection Agency) qui est l'Agence de Protection de l'Environnement des Etats-Unis,
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) qui est l'Agence pour l'Enregistrement des Substances Toxiques et des Maladies,
- Health Canada,

- ITER (International Toxicity Estimates for Risk) : valeurs définies par des parties indépendantes puis validées par des experts,
- OMS : Organisation Mondiale pour la Santé,
- RIVM (Rijkinstituut voor volksgezondheid en milieu),
- OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment),
- Base Furetox,
- L'Agence Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA),
- L'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES),
- Fiches INERIS.

Les critères de choix des VTR sont basés sur la note d'information DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués à savoir :

1. Les VTR de l'ANSES deviennent prioritaires, puis celles choisies à l'issue d'une expertise nationale (si existante et réalisée après la parution de la VTR la plus récente).
2. A défaut, la VTR la plus récente proposée par les bases de données USEPA, ATSDR, OMS est retenue.
3. A défaut, la VTR la plus récente des bases de données Santé-Canada, RIVM, OEHHA, EFSA est retenue.

Les VTR sont basées sur les connaissances scientifiques actuelles et les études menées, ce qui explique que celles-ci ne soient pas forcément disponibles pour chaque composé. Aussi, en l'absence de données VTR, les valeurs retenues comme éléments de comparaison seront des valeurs guides, réglementaires ou recommandations disponibles.

Parmi les substances ainsi sélectionnées, nous nous assurons que certaines d'entre elles soient bien bioaccumulables/persistantes dans l'environnement afin de ne pas risquer de sous-estimer les expositions par ingestion. Le tableau suivant présente :

- La quantification des émissions.
- Les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) retenues au moment de la rédaction du présent dossier
- Le classement Cancérigène, Mutagène et toxique pour la Reproduction (CMR) des substances étudiées.
- Le devenir des substances dans l'environnement (en particulier la persistance et le potentiel de bioaccumulation).

*Installations Classées pour la Protection de l'Environnement*  
**Evaluation des Risques Sanitaires / Interprétation de l'état des milieux**

Polluant / substance	Flux garantis à l'émission (kg/an), dans une approche majorante	N°CAS	Effet à seuil						Effet sans seuil				Classement Cancérigène, Mutagène et toxique pour la Reproduction (CMR) <sup>(2)</sup>		Persistance (biodégradabilité) et/ou potentiel de bioaccumulation dans l'environnement
			Inhalation (µg/m <sup>3</sup> )	Organe cible ou effet sur ...	Référence	Ingestion (mg/kg/j)	Organe cible ou effet sur ...	Référence	Inhalation (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Référence	Ingestion (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	Référence	Classification réglementaire CMR	Classement cancérogène du CIRC	
Particules (assimilées aux PM10)	4188 kg/an de poussières totales	-	20	-	Ligne Directrice (OMS)								Non classé CMR	Particules dans l'air extérieur : Groupe 1	Non bioaccumulable
			30	-	Objectif de qualité de l'air (Code de l'Environnement)										
			40	-	Valeur Limite pour la protection de la santé humaine (Code de l'Environnement)										
Particules (assimilées aux PM2,5)	4188 kg/an de poussières totales	-	10	-	Ligne Directrice de (OMS)								Non classé CMR	Particules dans l'air extérieur : Groupe 1	Non bioaccumulable
			10		Objectif de qualité de l'air (Code de l'Environnement)										
			25		Valeur Limite pour la protection de la santé humaine (Code de l'Environnement)										
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	30441	7446-09-5	20	-	Ligne Directrice (OMS)								Non classé CMR	Groupe 3	Non bioaccumulable
			50	-	Objectif de qualité de l'air et Valeur Limite pour la protection de la santé humaine (Code de l'Environnement)										
Oxyde d'azote en équivalent NO <sub>2</sub>	72009	10102-44-0	20	-	VGAI (Anses), 2013								Non classé CMR	Non évalué	Non bioaccumulable
Monoxyde de carbone (CO)	45932	630-08-0	10000	-	Pour une exposition de 8h Afsset, 2007								Reprotoxique 1A	Non évalué	Non bioaccumulable
Acide chlorhydrique (HCl)	3517	7647-01-0	20	Système respiratoire	US-EPA, 1995								Non classé CMR	Groupe 3	Non bioaccumulable
Acide fluorhydrique (HF)	1194,3	7664-39-3	14	Os	OEHHA, 2003 (recommandé par l'INERIS)								Non classé CMR	Non évalué	Non bioaccumulable
Ammoniac (NH <sub>3</sub> )	5843	7664-41-7	500	Système respiratoire	Anses, 2018								Non classé CMR	Non évalué	Non bioaccumulable
Benzène - COV	8628	71-43-2	10	Système immunitaire	Anses, 2008				2,60E-05	Anses, 2014			Cancérigène 1 Mutagène 2	Groupe 1	Non bioaccumulable

*Installations Classées pour la Protection de l'Environnement*  
**Evaluation des Risques Sanitaires / Interprétation de l'état des milieux**

Polluant / substance	Flux garantis à l'émission (kg/an), dans une approche majorante	N°CAS	Effet à seuil						Effet sans seuil				Classement Cancérigène, Mutagène et toxique pour la Reproduction (CMR) <sup>(2)</sup>		Persistance (biodégradabilité) et/ou potentiel de bioaccumulation dans l'environnement
			Inhalation (µg/m <sup>3</sup> )	Organe cible ou effet sur ...	Référence	Ingestion (mg/kg/j)	Organe cible ou effet sur ...	Référence	Inhalation (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Référence	Ingestion (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	Référence	Classification réglementaire CMR	Classement cancérogène du CIRC	
<b>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) assimilés au benzo(a)pyrène</b>	<b>7,7</b>	50-32-8	0,002	Fœtus	Pour le benzo(a)pyrène : US-EPA, 2017	3,00E-04	Système nerveux	Pour le benzo(a)pyrène : US-EPA, 2017	1,10E-03	Pour le benzo(a)pyrène : OEHHA, 2008	1	Pour le benzo(a)-pyrène : USEPA 2017	Cancérigène 2 Mutagène 2 Reprotoxique 2	Groupe 1	Bioaccumulable et persistant
<b>Dioxines - furanes</b>	<b>3,04E-05</b>	1746-01-6 (2378TCDD)	4E-05	Foie et système immunitaire	OEHHA, 2000	7E-07	Fertilité	USEPA, 2012	-	-	130000	OEHHA, 2002	Cancérigène 1	Groupe 1 (2378TCDD)	Bioaccumulable et persistant
<b>Arsenic</b>	<b>6,16</b>	7440-38-2	1,50E-02	Diminution des capacités intellectuelles et des effets néfastes sur le comportement	OEHHA, 2008	4,50E-04	Peau	FoBiG, 2009	1,50E-04	Retenu par l'Anses : TCEQ 2012	1,5	US-EPA, 2009 et OEHHA, 1998	Non classé CMR Les oxydes d'arsenic sont classés Cancérogènes 1	Groupe 1	Bioaccumulable et persistant
<b>Cadmium</b>	<b>3,7</b>	7440-43-9	0,3	Incidence combinée des tumeurs pulmonaires)	Anses, 2012	3,50E-04	Reins	ANSES, 2019	1,80E-03	US-EPA, 1987			Cancérogène 2, Mutagène 3 et Reprotoxique 3	Groupe 1	Bioaccumulable et persistant
<b>Chrome</b>	<b>132</b>	7440-47-3				1,00E-03	Hépatotoxicité, irritation ou corrosion de la muqueuse gastrique	Santé Canada 2010					Non classé CMR	Groupe 3	Bioaccumulable et persistant
<b>Chrome hexavalent</b>	<b>132</b>	18540-29-9 1333-82-0	3,00E-02	-	Chrome VI sous forme de particules OMS CICAD 2013	1E-03	Système digestif	ATSDR 2012 (retenu par l'INERIS)	4,00E-02	OMS CICAD 2013	0,5	OEHHA 2011 (retenu par l'INERIS)	Cancérogène 2	Groupe 1	Bioaccumulable et persistant
<b>Cobalt</b>	<b>132</b>	7440-48-4	1,00E-01	Système respiratoire	ATSDR, 2004 et OMS CICAD 2006	1,50E-03	-	Afssa 2010 (retenu par l'Anses)					Non classé CMR	Groupe 2B	Bioaccumulable et persistant
<b>Cuivre</b>	<b>132</b>	7440-50-8	1	-	RIVM, 2001	1,4	Hépatotoxique et effets gastro-intestinaux	Santé Canada, 2018					Non classé CMR	Non évalué	Bioaccumulable et persistant
<b>Mercure</b>	<b>6,7</b>	7439-97-6	3,00E-02	Système nerveux	OEHHA, 2008	5,70E-04	-	EFSA, 2012					Non classé CMR	Groupe 3	Bioaccumulable et persistant
<b>Manganèse</b>	<b>132</b>	7439-96-5	3,00E-01	Système neurologique	ATSDR, 2012	5,5E-02	Effets sur le nourrisson	INSPQ 2017					Non classé CMR	Non évalué	Bioaccumulable et persistant
<b>Nickel</b>	<b>132</b>	7440-02-0	2,30E-01	-	TCEQ 2011 (Texas Commission on Environmental Quality) (retenu par l'Anses)	2,80E-03	Effets reprotoxiques	EFSA 2015 (recommandé par l'Anses)	1,70E-04	TCEQ 2011 (Texas Commission on Environmental Quality) (retenu par l'Anses)			Cancérigène 3	Groupe 2B	Bioaccumulable et persistant

*Installations Classées pour la Protection de l'Environnement*  
**Evaluation des Risques Sanitaires / Interprétation de l'état des milieux**

Polluant / substance	Flux garantis à l'émission (kg/an), dans une approche majorante	N°CAS	Effet à seuil						Effet sans seuil				Classement Cancérigène, Mutagène et toxique pour la Reproduction (CMR) <sup>(2)</sup>		Persistance (biodégradabilité) et/ou potentiel de bioaccumulation dans l'environnement
			Inhalation (µg/m <sup>3</sup> )	Organe cible ou effet sur ...	Référence	Ingestion (mg/kg/j)	Organe cible ou effet sur ...	Référence	Inhalation (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Référence	Ingestion (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	Référence	Classification réglementaire CMR	Classement cancérogène du CIRC	
<b>Plomb</b>	<b>1,23</b>	7439-92-1	9,00E-01	Plombémie protégeant l'ensemble de la population de la toxicité rénale	Anses, 2013 (recommandé par l'INERIS, 2016), correspond à 15 µg/L (VTR interne construite par l'ANSES)	6,30E-04	Plombémie protégeant l'ensemble de la population de la toxicité rénale	Anses, 2013 (recommandé par l'INERIS, 2016) correspond à 15 µg/L (VTR interne construite par l'ANSES)	1,20E-05	OEHHA, 2011	8,50E-03	OEHHA, 2011 (retenu par l'INERIS)	Reprotoxique 1 et 3 pour les composés du plomb	Groupe 2B	Bioaccumulable et persistant
<b>Antimoine</b>	<b>132</b>	7440-36-0	0,3	Système respiratoire	ATSDR, 2019	6,00E-03	-	OMS, 2003					Non classé CMR	Non évalué	Bioaccumulable et persistant
<b>Sélénium</b>	<b>6,16</b>	7782-49-2	20	Sélénose	OEHHA, 2001	5,00E-03	Sélénose	US-EPA, 1991					Non classé CMR	Groupe 3	Bioaccumulable et persistant
<b>Etain</b>	<b>132</b>	7440-31-5				2,00E-01	-	RIVM, 2009					Non classé CMR	Non évalué	Bioaccumulable et persistant
<b>Thallium</b>	<b>3,7</b>	7440-28-0											Non classé CMR	Non évalué	Bioaccumulable et persistant
<b>Vanadium</b>	<b>132</b>	7440-62-2	1	Système respiratoire	RIVM, 2009	2,00E-03	-	Valeur provisoire : RIVM, 2009					Non classé CMR	Non évalué	Bioaccumulable et persistant

**Valeurs toxicologiques de référence pour l'ensemble des substances émises**

## **VI. Sélection des polluants traceurs**

Les critères de sélection des polluants traceurs sont :

- l'existence d'une VTR (ou ligne directrice de l'OMS par défaut...) qui est nécessaire pour quantifier le risque sanitaire
- la toxicité du polluant
- la quantité de polluant susceptible d'être émise.

Les deux derniers facteurs doivent être étudiés simultanément. Un polluant A émis en très faible quantité mais très toxique peut présenter un risque sanitaire plus important qu'un polluant B émis en très grande quantité mais peu toxique.

Concrètement, la méthodologie que nous avons utilisée pour sélectionner les polluants « traceurs » est la suivante :

- **sélection systématique des polluants disposant d'une VTR pour les effets sans seuil.**
- Les substances dont le ratio représente **plus de 1% du ratio maximum** pour la voie d'exposition considérée (inhalation ou ingestion) et pour le type d'effet considéré sont retenues comme traceur de risque pour les effets seuil

*Installations Classées pour la Protection de l'Environnement*  
**Evaluation des Risques Sanitaires / Interprétation de l'état des milieux**

**Choix des polluants à seuil**

Polluant / substance	Flux garantis à l'émission (kg/an), dans une approche majorante	Effet à seuil									Retenu comme substance d'intérêt	
		Inhalation (µg/m <sup>3</sup> )	Organe cible ou effet sur ...	Référence	Ratio Flux / VTR	% du ratio max	Ingestion (mg/kg/j)	Organe cible ou effet sur ...	Référence	Ratio Flux / VTR		% du ratio max
<b>Poussières totales</b>	<b>4188 kg/an de poussières totales</b>	20	-	Ligne Directrice (OMS)	209,4	4,76%						<b>Oui</b>
<b>Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)</b>	<b>30441</b>	20	-	Ligne Directrice (OMS)	1522,05	34,59%						<b>Oui</b>
<b>Oxyde d'azote en équivalent NO<sub>2</sub></b>	<b>72009</b>	20	-	VGAI (Anses), 2013	3600,45	81,83%						<b>Oui</b>
<b>Acide chlorhydrique (HCl)</b>	<b>3517</b>	20	Système respiratoire	US-EPA, 1995	175,85	4,00%						<b>Oui</b>
<b>Acide fluorhydrique (HF)</b>	<b>1194,3</b>	14	Os	OEHHA, 2003 (recommandé par l'INERIS)	85,3	1,94%						<b>Oui</b>
<b>Ammoniac (NH<sub>3</sub>)</b>	<b>5843</b>	500	Système respiratoire	Anses, 2018	11,6	0,26%						Non
<b>Benzène</b>	<b>8628</b>	10	Système immunitaire	Anses, 2008	862,8	19,61%						<b>Oui</b>
<b>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) assimilés au benzo(a)pyrène</b>	<b>7,7</b>	0,002	Fœtus	Pour le benzo(a)pyrène : US-EPA, 2017	3850	87,50%	3,00E-04	Système nerveux	Pour le benzo(a)pyrène : US-EPA, 2017	25666,67	19,44%	<b>Oui</b>
<b>Dioxines - furanes</b>	<b>3,04E-05</b>	4E-05	Foie et système immunitaire	OEHHA, 2000	0,76	0,02%	7E-07	Fertilité	USEPA, 2012	43,43	0,03%	Non
<b>Arsenic</b>	<b>6,16 (somme)</b>	1,50E-02	Diminution des capacités intellectuelles et des effets néfastes sur le comportement	OEHHA, 2008	410,66	9,33%	4,50E-04	Peau	FoBiG, 2009	13688,89	10,37%	<b>Oui</b>

*Installations Classées pour la Protection de l'Environnement*  
**Evaluation des Risques Sanitaires / Interprétation de l'état des milieux**

Polluant / substance	Flux garantis à l'émission (kg/an), dans une approche majorante	Effet à seuil									Retenu comme substance d'intérêt	
		Inhalation (µg/m <sup>3</sup> )	Organe cible ou effet sur ...	Référence	Ratio Flux / VTR	% du ratio max	Ingestion (mg/kg/j)	Organe cible ou effet sur ...	Référence	Ratio Flux / VTR		% du ratio max
<b>Cadmium</b>	<b>3,7</b>	0,3	Incidence combinée des tumeurs pulmonaires)	Anses, 2012	12,33	0,28%	3,50E-04	Reins	ANSES, 2019	10571,43	8,01%	<b>Oui</b>
<b>Chrome hexavalent</b>	<b>132 (somme)</b>	3,00E-02	-	Chrome VI sous forme de particules OMS CICAD 2013	4400	100,00%	1E-03	Système digestif	ATSDR 2012 (retenu par l'INERIS)	132000,00	100,00%	<b>Oui</b>
<b>Cobalt</b>	<b>132 (somme)</b>	1,00E-01	Système respiratoire	ATSDR, 2004 et OMS CICAD 2006	1320	30,00%	1,50E-03	-	Afssa 2010 (retenu par l'Anses)	88000,00	66,67%	<b>Oui</b>
<b>Cuivre</b>	<b>132 (somme)</b>	1	-	RIVM, 2001	132	3,00%	1,4	Hépatotoxique et effets gastro-intestinaux	Sante Canada, 2018	94,29	0,07%	<b>Oui</b>
<b>Mercure</b>	<b>6,7</b>	3,00E-02	Système nerveux	OEHHA, 2008	223,33	5,08%	5,70E-04	-	EFSA, 2012	11754,39	8,90%	<b>Oui</b>
<b>Manganèse</b>	<b>132 (somme)</b>	3,00E-01	Système neurologique	ATSDR, 2012	440	10,00%	5,5E-02	Effets sur le nourrisson	INSPQ 2017	2400,00	1,82%	<b>Oui</b>
<b>Nickel</b>	<b>132 (somme)</b>	2,30E-01	-	TCEQ 2011 (Texas Commission on Environmental Quality) (retenue par l'Anses)	573,9	13,04%	2,80E-03	Effets reprotoxiques	EFSA 2015 (recommandé par l'Anses)	47142,86	35,71%	<b>Oui</b>
<b>Plomb</b>	<b>1,2</b>	9,00E-01	Plombémie protégeant l'ensemble de la population de la toxicité rénale	Anses, 2013 (recommandé par l'INERIS, 2016), correspond à 15 µg/L (VTR interne construite par l'ANSES)	1,33	0,03%	6,30E-04	Plombémie protégeant l'ensemble de la population de la toxicité rénale	Anses, 2013 (recommandé par l'INERIS, 2016) correspond à 15 µg/L (VTR interne construite par l'ANSES)	1904,76	1,44%	<b>Oui</b>
<b>Antimoine</b>	<b>132 (somme)</b>	0,3	Système respiratoire	ATSDR, 2019	440	10,00%	6,00E-03	-	OMS, 2003	22000,00	16,67%	<b>Oui</b>
<b>Sélénium</b>	<b>6,16 (somme)</b>	20	Sélénose	OEHHA, 2001	0,308	0,01%	5,00E-03	Sélénose	US-EPA, 1991	1232,00	0,93%	Non
<b>Etain</b>	<b>132 (somme)</b>				-	-	2,00E-01	-	RIVM, 2009	660,00	0,50%	Non

*Installations Classées pour la Protection de l'Environnement*  
**Evaluation des Risques Sanitaires / Interprétation de l'état des milieux**

Polluant / substance	Flux garantis à l'émission (kg/an), dans une approche majorante	Effet à seuil									Retenu comme substance d'intérêt	
		Inhalation ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Organe cible ou effet sur ...	Référence	Ratio Flux / VTR	% du ratio max	Ingestion (mg/kg/j)	Organe cible ou effet sur ...	Référence	Ratio Flux / VTR		% du ratio max
<b>Thallium</b>	<b>3,7</b>				-	-					0,00%	Non
<b>Vanadium</b>	<b>132 (somme)</b>	1	Système respiratoire	RIVM, 2009	132	3,00%	2,00E-03	-	Valeur provisoire : RIVM, 2009	66000,00	50,00%	Oui

**Choix des polluants sans seuil**

Polluant / substance	Flux garantis à l'émission (kg/an), dans une approche majorante	N°CAS	Effet sans seuil				Classement Cancérigène, Mutagène et toxique pour la Reproduction (CMR) <sup>(2)</sup>		Persistance (biodégradabilité) et/ou potentiel de bioaccumulation dans l'environnement	Retenu comme substance d'intérêt
			Inhalation ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1</sup>	Référence	Ingestion (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	Référence	Classification réglementaire CMR	Classement cancérogène du CIRC		
<b>Particules (assimilées aux PM10)</b>	<b>4188 kg/an de poussières totales</b>	-					Non classé CMR	Particules dans l'air extérieur : Groupe 1	Non bioaccumulable	Non
<b>Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)</b>	<b>30441</b>	7446-09-5					Non classé CMR	Groupe 3	Non bioaccumulable	Non
<b>Oxyde d'azote en équivalent NO<sub>2</sub></b>	<b>72009</b>	10102-44-0					Non classé CMR	Non évalué	Non bioaccumulable	Non
<b>Monoxyde de carbone (CO)</b>	<b>45932</b>	630-08-0					Reprotoxique 1A	Non évalué	Non bioaccumulable	Non
<b>Acide chlorhydrique (HCl)</b>	<b>3517</b>	7647-01-0					Non classé CMR	Groupe 3	Non bioaccumulable	Non
<b>Acide fluorhydrique (HF)</b>	<b>1194,3</b>	7664-39-3					Non classé CMR	Non évalué	Non bioaccumulable	Non
<b>Ammoniac (NH<sub>3</sub>)</b>	<b>5843</b>	7664-41-7					Non classé CMR	Non évalué	Non bioaccumulable	Non
<b>Benzène</b>	<b>8628 en COVT</b>	71-43-2	2,60E-05	Anses, 2014			Cancérigène 1 Mutagène 2	Groupe 1	Non bioaccumulable	Oui

*Installations Classées pour la Protection de l'Environnement*  
**Evaluation des Risques Sanitaires / Interprétation de l'état des milieux**

Polluant / substance	Flux garantis à l'émission (kg/an), dans une approche majorante	N°CAS	Effet sans seuil				Classement Cancérigène, Mutagène et toxique pour la Reproduction (CMR) <sup>(2)</sup>		Persistance (biodégradabilité) et/ou potentiel de bioaccumulation dans l'environnement	Retenu comme substance d'intérêt
			Inhalation (µg/m³) <sup>-1</sup>	Référence	Ingestion (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	Référence	Classification réglementaire CMR	Classement cancérigène du CIRC		
<b>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) assimilés au benzo(a)pyrène</b>	<b>7,7</b>	50-32-8	1,10E-03	Pour le benzo(a)pyrène : OEHHA, 2008	1	Pour le benzo(a)pyrène : USEPA 2017	Cancérigène 2 Mutagène 2 Reprotoxique 2	Groupe 1	Bioaccumulable et persistant	<b>Oui</b>
<b>Dioxines - furanes</b>	<b>3,04E-05</b>	1746-01-6 (2378TCDD)	-	-	130000	OEHHA, 2002	Cancérigène 1	Groupe 1 (2378TCDD)	Bioaccumulable et persistant	<b>Oui</b>
<b>Arsenic</b>	<b>6,16 (somme)</b>	7440-38-2	1,50E-04	Retenu par l'Anses : TCEQ 2012	1,5	US-EPA, 2009 et OEHHA, 1998	Non classé CMR Les oxydes d'arsenic sont classés Cancérigènes 1	Groupe 1	Bioaccumulable et persistant	<b>Oui</b>
<b>Cadmium</b>	<b>3,7</b>	7440-43-9	1,80E-03	US-EPA, 1987			Cancérigène 2, Mutagène 3 et Reprotoxique 3	Groupe 1	Bioaccumulable et persistant	<b>Oui</b>
<b>Chrome hexavalent</b>	<b>132 (somme)</b>	18540-29-9 1333-82-0	4,00E-02	OMS CICAD 2013	0,5	OEHHA 2011 (retenu par l'INERIS)	Cancérigène 2	Groupe 1	Bioaccumulable et persistant	<b>Oui</b>
<b>Cobalt</b>	<b>132 (somme)</b>	7440-48-4					Non classé CMR	Groupe 2B	Bioaccumulable et persistant	Non
<b>Cuivre</b>	<b>132 (somme)</b>	7440-50-8					Non classé CMR	Non évalué	Bioaccumulable et persistant	Non
<b>Mercure</b>	<b>6,7</b>	7439-97-6					Non classé CMR	Groupe 3	Bioaccumulable et persistant	Non
<b>Manganèse</b>	<b>132 (somme)</b>	7439-96-5					Non classé CMR	Non évalué	Bioaccumulable et persistant	Non

*Installations Classées pour la Protection de l'Environnement*  
**Evaluation des Risques Sanitaires / Interprétation de l'état des milieux**

Polluant / substance	Flux garantis à l'émission (kg/an), dans une approche majorante	N°CAS	Effet sans seuil				Classement Cancérigène, Mutagène et toxique pour la Reproduction (CMR) <sup>(2)</sup>		Persistance (biodégradabilité) et/ou potentiel de bioaccumulation dans l'environnement	Retenu comme substance d'intérêt
			Inhalation (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Référence	Ingestion (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	Référence	Classification réglementaire CMR	Classement cancérogène du CIRC		
<b>Nickel</b>	<b>132 (somme)</b>	7440-02-0	1,70E-04	TCEQ 2011 (Texas Commission on Environmental Quality) (retenue par l'Anses)			Cancérigène 3	Groupe 2B	Bioaccumulable et persistant	<b>Oui</b>
<b>Plomb</b>	<b>1,2</b>	7439-92-1	1,20E-05	OEHHA, 2011	8,50E-03	OEHHA, 2011 (retenu par l'INERIS)	Reprotoxique 1 et 3 pour les composés du plomb	Groupe 2B	Bioaccumulable et persistant	<b>Oui</b>
<b>Antimoine</b>	<b>132 (somme)</b>	7440-36-0					Non classé CMR	Non évalué	Bioaccumulable et persistant	Non
<b>Sélénium</b>	<b>6,16 (somme)</b>	7782-49-2					Non classé CMR	Groupe 3	Bioaccumulable et persistant	Non
<b>Etain</b>	<b>132 (somme)</b>	7440-31-5					Non classé CMR	Non évalué	Bioaccumulable et persistant	Non
<b>Thallium</b>	<b>3,7</b>	7440-28-0					Non classé CMR	Non évalué	Bioaccumulable et persistant	Non
<b>Vanadium</b>	<b>132 (somme)</b>	7440-62-2					Non classé CMR	Non évalué	Bioaccumulable et persistant	Non

Le tableau, ci-dessous, récapitule l'ensemble des polluants, les « polluants traceurs » choisis et les effets pour lesquels les traceurs seront étudiés :

Polluant / substance	Inhalation		Ingestion	
	Effets à seuil	Effets sans seuil	Effets à seuil	Effets sans seuil
Poussières (assimilées aux PM10)	Oui	Non	Non	Non
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	Oui	Non	Non	Non
Oxyde d'azote en équivalent NO <sub>2</sub>	Oui	Non	Non	Non
Acide chlorhydrique (HCl)	Oui	Non	Non	Non
Acide fluorhydrique (HF)	Oui	Non	Non	Non
Ammoniac (NH <sub>3</sub> )	Non	Non	Non	Non
Composés Organiques Volatils (COV) assimilés au benzène	Oui	Oui	Non	Non
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) assimilés au benzo(a)pyrène	Oui	Oui	Oui	Oui
Dioxines-furanes	Non	Non	Non	Oui
Arsenic	Oui	Oui	Oui	Oui
Cadmium	Non	Oui	Oui	Non
Chrome (assimilé au chrome hexavalent)	Oui	Oui	Oui	Oui
Cobalt	Oui	Oui	Non	Non
Cuivre	Oui	Non	Non	Non
Mercure	Oui	Non	Non	Non
Manganèse	Oui	Non	Non	Non
Nickel	Oui	Oui	Non	Non
Plomb	Non	Oui	Oui	Oui
Antimoine	Oui	Non	Oui	Non
Sélénium	Non	Non	Non	Non
Etain	Non	Non	Non	Non
Thallium	Non	Non	Non	Non
Vanadium	Oui	Non	Oui	Non

## **VII. Evaluation de l'état des milieux**

---

La démarche d'évaluation et d'interprétation de l'état des milieux (IEM) a un double objectif :

- D'une part de déterminer si les émissions de l'établissement contribuent à la dégradation des milieux ;
- D'autre part, d'évaluer si la situation actuelle de l'environnement est compatible avec les usages.

L'évaluation et l'interprétation de l'état des milieux est réalisée pour les substances d'intérêt retenues ci-avant et pour les voies de transfert et d'exposition identifiées dans le schéma conceptuel d'exposition : l'inhalation (pour toutes les substances) et l'ingestion (pour les métaux) (liée à la contamination des sols par retombées ou le suivi de matrices pertinentes).

L'évaluation et l'interprétation de l'état des milieux sont basées sur les données recensées au niveau des différentes stations ATMO et des campagnes ponctuelles de mesures. Les données ATMO en accès libre ont été utilisées.

La qualité de l'air est notamment mesurée sur les polluants suivants :

- Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) : il provient des chauffages (domestiques ou industriels) au fioul et au charbon et des procédés industriels de métallurgie ;
- Les poussières en suspension (Ps) : particules respirables et pouvant atteindre les poumons d'origines diverses (automobiles diesels, industries, chauffage) ; deux types de poussières sont distinguées : les PM<sub>2,5</sub> et les PM<sub>10</sub> (diamètre)
- Le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) : il provient des gaz d'échappement des véhicules automobiles essence, des industries (engrais, explosifs) et des installations de combustion (fioul, charbon) ;
- Les Composés Organiques Volatils (COV) : ils jouent un rôle majeur dans le mécanisme de formation de l'ozone troposphérique ; leurs effets sont très variables selon la nature du composé chimique ;
- Le plomb : les principales sources d'émissions sont l'incinération des déchets, la métallurgie des métaux ferreux et non ferreux et quelques autres procédés industriels ;
- L'arsenic : il provient des combustibles minéraux solides ainsi que du fioul lourd et de certaines matières premières, utilisées notamment dans des procédés industriels comme la production de verre, de métaux ferreux et non ferreux ;
- Le cadmium : comme le plomb, il provient essentiellement de l'incinération des déchets, la métallurgie des métaux ferreux et non ferreux et quelques autres procédés industriels.

Plusieurs sources de données sont utilisées :

- La station Reims Jean d'Aulan, située à quelques centaines de mètres au nord du site, sert de base pour le NO<sub>2</sub>, le SO<sub>2</sub> et les poussières
- La station Reims Doumer, située à 3 kilomètres au nord, pour les niveaux de benzène.
- Une série de mesures hebdomadaires (entre 5 et 8) réalisées chaque année pour les métaux, à 2,5 km au nord est du site, rue Saint Léonard.

Les moyennes annuelles mesurées sur la station Jean d'Aulan sont les suivantes :

Paramètre	Valeurs réglementaires (µg/m <sup>3</sup> )	2015	2016	2017	2018	2019
NO2	40 (Valeur Limite pour la protection de la santé humaine)	17	18	17	17	16
SO2	20 Ligne Directrice (OMS)	1	1	1	1	1
PM2.5	10 (Ligne Directrice de (OMS))	14	12	12	14	11
	10 (Objectif de qualité de l'air)					
	25 (Valeur Limite pour la protection de la santé humaine)					
PM10	20 (Ligne Directrice (OMS))	20	18	16	19	17
	30 (Objectif de qualité de l'air (Code de l'Environnement))					
	40 (Valeur Limite pour la protection de la santé humaine (Code de l'Environnement))					

Les abords du site présentent des niveaux satisfaisants en matière de niveaux annuels en NO<sub>2</sub>, en SO<sub>2</sub> et en PM<sub>10</sub>, respectant les valeurs limites et les lignes directrices de l'OMS sur ces paramètres.

Les valeurs en PM 2.5 dépassent légèrement les objectifs de qualité tout en respectant les valeurs limites.

Les moyennes annuelles en benzène mesurées sur la station Doumer sont les suivantes :

Paramètre	Valeur réglementaire (µg/m <sup>3</sup> )	Moyenne des prélèvements mensuels
Benzène	Valeurs limites en moyenne annuelle : 5	0,81 µg/m <sup>3</sup>
	Objectifs de qualité en moyenne annuelle : 2	

Les niveaux mesurés respectent les valeurs réglementaires.

Les moyennes annuelles en métaux lourds sont les suivants :

Paramètre	Valeurs réglementaires ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2017	2018	2019
As	Valeur cible : 0,006 (Année)	0,585 $\text{ng}/\text{m}^3$	0,5 $\text{ng}/\text{m}^3$	0,73 $\text{ng}/\text{m}^3$
Cd	Valeur cible : 0,005 (Année)	0,165 $\text{ng}/\text{m}^3$	0,144 $\text{ng}/\text{m}^3$	0,17 $\text{ng}/\text{m}^3$
Pb	Valeur limite : 0,5 (Année)	0,0009 $\text{ng}/\text{m}^3$	0,005 $\text{ng}/\text{m}^3$	0,0083 $\text{ng}/\text{m}^3$
	Objectif de qualité : 0,25 (Année)			
Ni	Valeur cible : 0,02 (année)	0,663 $\text{ng}/\text{m}^3$	0,948 $\text{ng}/\text{m}^3$	1,04 $\text{ng}/\text{m}^3$

Les niveaux en métaux respectent les valeurs cibles et les objectifs de qualité.

## **VIII. Evaluation de l'exposition humaine**

Dans ce paragraphe, nous présentons successivement :

- L'évaluation des dangers et la caractérisation de la relation dose-réponse des substances d'intérêt ;
- L'évaluation de l'exposition par la réalisation d'une modélisation de la dispersion atmosphérique ;
- Les voies d'exposition retenues ;
- Le choix des scénarios d'exposition ;
- La démarche de caractérisation du risque sanitaire ;
- L'Evaluation des risques sanitaires des populations riveraines aux émissions attribuables à SOCCRAM dans sa configuration prévue.

### **1) Elaboration des scénarii d'exposition**

Les principales voies d'exposition retenues pour les populations avoisinantes sont :

- l'inhalation directe des composés gazeux et particulaires émis par le site
- l'ingestion de métaux lourds et HAP via une remontée dans la chaîne alimentaire.

Le scénario d'exposition retenu est par conséquent le suivant :

- Exposition par inhalation de composés émis à l'atmosphère,
- Exposition par ingestion (pour les métaux et les HAP) :
  - ingestion directe de sol (en particulier chez les enfants),
  - ingestion indirecte via les légumes et fruits « contaminés ».

Etant donné le contexte fortement urbanisé du site, l'exploitation agricole (cultures de céréales, élevage) n'est pas intégrée dans l'étude.

En revanche, l'exposition par le biais de la consommation de produits d'origine animale contaminés apparaît justifiée, notamment pour l'exposition aux dioxines (œufs notamment)

Nous avons ainsi considéré que les riverains disposent de jardins potagers dont ils consomment fruits, légumes et œufs.

Le scénario que nous prenons en compte dans cette étude est largement majorant : nous avons considéré le cas d'une famille étant exposée 24h/24, 365j/an et durant 70 ans aux valeurs maximales modélisées de dépôts sur le sol et de concentrations dans l'air (ces valeurs maximales n'étant pas forcément localisées au même endroit ni situées dans des zones d'habitation).

### **2) Termes sources**

Par terme source, on entend les caractéristiques des émissions des différents composés pour chacun des points de rejets.

Les données utilisées pour la modélisation de dispersion atmosphérique (flux totaux) sont récapitulées dans les tableaux suivants

*Installations Classées pour la Protection de l'Environnement*  
**Evaluation des Risques Sanitaires / Interprétation de l'état des milieux**

Caractéristiques	G2	G3	G7	G8	GB1	GB2	Générateur Bois B
Hauteur du rejet/sol (m)	72,5	72,5	72,5	72,5	21	21	72,5
Diamètre de la cheminée (m)	1,48	1,48	1,48	1,48	0,85	0,85	1,95
Vitesse d'éjection (m/s)	8	8	8	8	6	6	12
Température des rejets (°C)	140	140	140	140	180	180	180
Nombre d'heures de fonctionnement par an	Gaz : 1500 FOD : 500 Bio-fioul : 200	Gaz : 1500 FOD : 500 Bio-fioul : 200	3000 h	500 h	4450 h	4450 h	5760 h

Source	Composés émis (en t/an) – Approche majorante avec la somme des métaux considérés											Pb
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Ps	HCl	HF	COV	HAP	Dioxine	Somme As+Se+Te	Somme Cd+Hg+Tl	Somme Sb+Cr+Co+Cu+Sn+Mn+Ni+V+Z	
G2	1,47	3,745	0,313	-	-	4,28E-02	0,33E-03	-	3,08E-03	3,08E-04	2,03E-02	6,16E-04
G3	1,47	3,745	0,313	-	-	4,28E-02	0,33E-03	-	3,08E-03	3,08E-04	2,03E-02	6,16E-04
G7	0,630	6,210	0,300	-	-	6,00E-02	6,00E-03	-	-	-	-	-
G8	0,105	1,035	0,050	-	-	1,00E-02	1,00E-03	-	-	-	-	-
GB1	8,233	16,465	0,846	0,85	0,45	2,71	-	-	-	-	-	-
GB2	8,233	16,465	0,846	0,85	0,45	2,71	-	-	-	-	-	-
GBB	9,129	24,344	1,522	1,83	0,30	3,04	-	3,04E-08	-	3,04E-03	9,13E-02	-

Afin de mener l'évaluation de l'impact sur la santé d'une manière plus réaliste, il est nécessaire de travailler substance par substance. Ainsi, dans le cadre des rejets de SOCCRAM, il est nécessaire d'affiner les émissions en métaux, les flux présentés correspondant à une somme de métaux.

Pour cela, l'estimation de la part de chaque métal susceptible d'être émis par groupe de métaux est basée sur :

- la moyenne des résultats de mesures disponibles pour le fonctionnement des équipements au fioul
- une estimation arbitraire pour la chaudière Bois B

La quantification substance par substance est donc réalisée en appliquant la part de chaque polluant spécifique (voir calcul dans le tableau ci-après) à la valeur garantie à l'émission du groupe de métaux correspondant.

Paramètres	Part moyenne de chaque métal dans le groupe de métal (en %)		
	G2	G3	%
Somme des métaux : As+Se+Te	0,0197	0,00285	-
As	0,000952	0,0018	12%
Somme métaux : Sb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Zn	0,1182	0,2528	-
Co	0,00166	0	0,31%
Cr total	0,0569	0,00265	11,05%
Cu	0,0126	0,000554	2,44%
Mn	0,0217	0,00419	4,80%
Ni	0,0623	0,00296	12,11%
Sb	0,000186	0	0,03%
V	0,00107	0,000513	0,29%

Pour la chaudière Bois B, il a été considéré que chaque métal constituait 10% de la valeur garantie à l'émission.

Pour le chrome, il a été considéré que le Chrome VI représente 10% du chrome total émis par les équipements.

Les flux étudiés sont ainsi considérés :

*Installations Classées pour la Protection de l'Environnement*  
**Evaluation des Risques Sanitaires / Interprétation de l'état des milieux**

Composés émis (en t/an) – Flux étudiés par équipements (Approche réaliste)																			
Sour ce	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Ps	HCl	HF	COV	HAP	Dioxine	As	Cd	Hg	Co	Cr VI	Cu	Mn	Ni	Sb	V	Pb
G2	1,47	3,745	0,313	-	-	4,28E-02	0,33E-03	-	3,70E-04	1,1E-04	1,1E-04	6,25E-05	2,13E-04	4,95e-04	9,75E-04	2,46E-03	7,01E-06	5,96E-05	6,16E-04
G3	1,47	3,745	0,313	-	-	4,28E-02	0,33E-03	-	3,70E-04	1,1E-04	1,1E-04	6,25E-05	2,13E-04	4,95e-04	9,75E-04	2,46E-03	7,01E-06	5,96E-05	6,16E-04
G7	0,630	6,210	0,300	-	-	6,00E-02	6,00E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G8	0,105	1,035	0,050	-	-	1,00E-02	1,00E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GB1	8,233	16,465	0,846	0,85	0,45	2,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GB2	8,233	16,465	0,846	0,85	0,45	2,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GBB	9,129	24,344	1,522	1,83	0,30	3,04	-	3,04E-08	-	3,04E-03	6,09E-03	9,13E-03	9,13E-04	9,13E-03	9,13E-03	9,13E-03	9,13E-03	9,13E-03	-

### **3) Choix du modèle de dispersion**

Le modèle utilisé pour la modélisation de la dispersion atmosphérique et l'analyse statistique associée est le logiciel ARIA Impact. Ce logiciel permet de déterminer l'impact des émissions rejetées par une ou plusieurs sources ponctuelles, linéiques ou surfaciques. Il permet d'utiliser des chroniques météorologiques pour évaluer la dispersion des polluants de façon plus représentative. En effet, pour un fonctionnement des installations constant d'une année sur l'autre, des données météorologiques ponctuelles pourraient biaiser l'évaluation de la dispersion.

Compte tenu des durées d'exposition, nous n'avons pas considéré les transformations photochimiques des polluants.

#### **Description des données météorologiques :**

Les paramètres les plus importants pour les problèmes liés à la pollution atmosphérique sont :

- la direction du vent,
- la vitesse du vent,
- la température extérieure,
- la stabilité de l'atmosphère.

Ces paramètres, variables dans le temps et dans l'espace, résultent de la superposition de phénomènes atmosphériques à grande échelle (régime cyclonique ou anticyclonique) et de phénomènes locaux (influence de la rugosité, de l'occupation des sols).

#### **Justification du choix des données météorologiques :**

La station météorologique retenue est celle de Reims Prunay, localisée à 10 kilomètres à l'est du site.

Les paramètres nécessaires à la modélisation atmosphériques sont les mesures de vent (direction et force), de température, de nébulosité et de pluviométrie.

Conformément au Guide INERIS Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires de 2013, il a été retenu 3 années de données : les données horaires du 1<sup>er</sup> janvier 2017 au 31 décembre 2019 ont été acquises et intégrées au modèle de dispersion atmosphérique.

#### **Analyse de la stabilité de l'atmosphère :**

La stabilité de l'atmosphère est le paramètre le plus complexe à connaître car, dans la majorité des cas, elle n'est pas mesurée. Ce paramètre destiné à quantifier les propriétés diffusives de l'air dans les basses couches, conduit à distinguer 6 catégories de stabilité de l'atmosphère :

<b>Classe A</b> : Très fortement instable	Dans de telles situations, la dispersion des polluants est facilitée. Ces situations apparaissent par fort réchauffement du sol. Elles se retrouvent principalement le jour en l'absence de vent fort.
<b>Classe B</b> : Très instable	
<b>Classe C</b> : Instable	
<b>Classe D</b> : Neutre	Ces situations permettent la dispersion des polluants. Elles correspondent aux situations de vents modérés ou à des situations de ciel couvert.

<b>Classe E</b> : Stable	De telles situations freinent le déplacement des masses d'air. Elles sont notamment induites par des inversions thermiques près du sol, ce qui limite la dispersion des polluants. Ces situations se retrouvent principalement la nuit par vent faible.
<b>Classe F</b> : Très stable	

Ces classes de stabilité sont déterminées à partir de la vitesse du vent et de la nébulosité. Ces paramètres, variables dans le temps et dans l'espace, résultent de la superposition de phénomènes atmosphériques à grande échelle (régime cyclonique ou anticyclonique) et de phénomènes locaux (influence de la rugosité, de l'occupation des sols et de la topographie). C'est pourquoi, il est nécessaire de rechercher des chroniques météorologiques représentatives de la climatologie du site.

Les données utilisées proviennent de la station de Reims Prunay, qui est située à 10 km à l'ouest du site. Il s'agit de mesures horaires couvrant une période de 3 ans (1er janvier 2017 – 31 décembre 2019). Une chronique de 3 années est suffisamment longue pour mettre en évidence le comportement climatique de la région.

Le diagramme suivant présente la répartition des observations en fonction de la stabilité atmosphérique

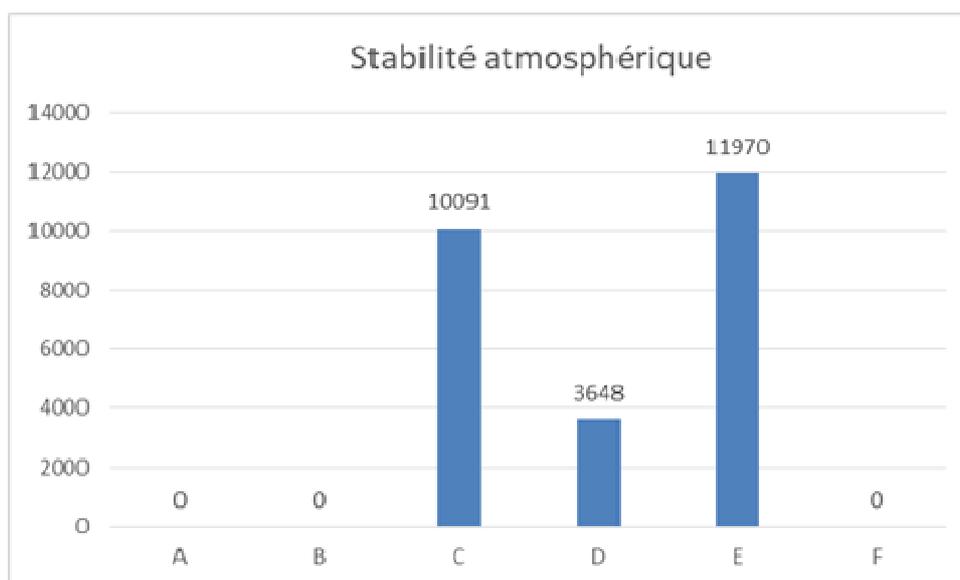
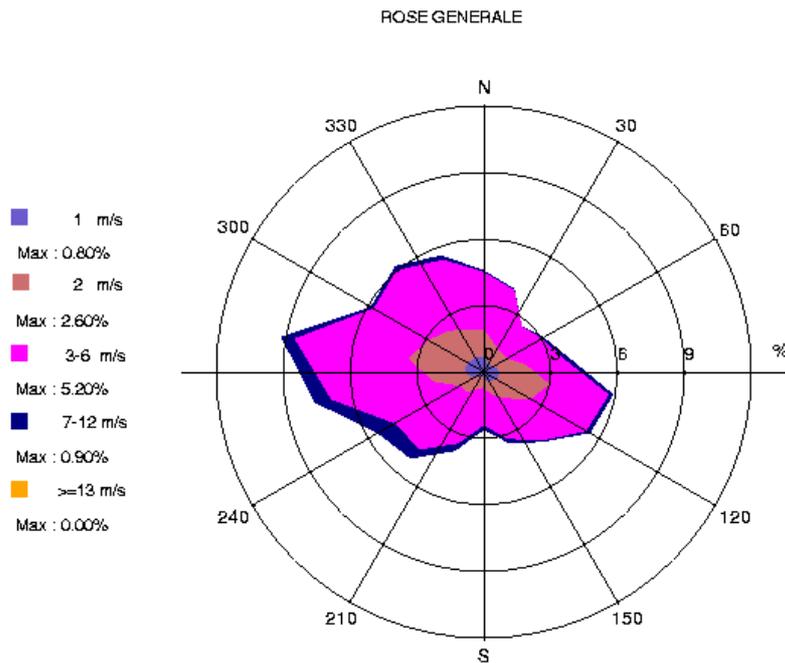


Figure 10 : Stabilité atmosphérique de la station Reims Prunay

Les conditions de dispersion sont relativement peu favorables puisque plus de 53,5 % des observations présentent une atmosphère neutre à très instable (A à D ; conditions assez favorables à la dispersion), tandis que 46,5 % présentent une atmosphère stable à très stable (E et F, conditions peu favorables à la dispersion).

#### Analyse des données météo :

La rose des vents générale modélisée au niveau du site pour les années 2017 à 2019 est présentée ci-après.



**Figure 11 : Rose des vents par classes de vitesse modélisée au niveau du site – Période 2017/2019**

La rose des vents générale présente une direction prédominante de l'ouest (240-330°), ainsi qu'une tendance plus mineure venant de l'est (90-120°).

La vitesse moyenne du vent (toutes classes confondues) est relativement faible (3 m/s soit 10,8 km/h) et le pourcentage de vents calmes est très faible (528 sur 27531 soit 2%).

On constate que :

- Les vents les plus fréquents sont les vents de vitesse 3 à 6 m/s
- Les vents forts viennent majoritairement en provenance de l'ouest

### **Occupation des sols :**

Le modèle permet de choisir entre plusieurs types de substrats au sol (couvertures végétales, milieux humides ou neige) permettant de jouer sur la rugosité du sol, le pouvoir réfléchissant ou albédo du sol et ceci pour chaque mois de l'année.

A titre d'exemple, « urbain » est caractérisé par une forte rugosité et un faible albédo, tandis que « prairie » est caractérisée par une très faible rugosité et un fort albédo.

Le projet est implanté en tissu urbain. Nous avons donc choisi de modéliser la dispersion en choisissant « urbain » pour l'occupation des sols.

### **Caractéristiques du rejet :**

Les rejets sont caractérisés par les paramètres suivants :

- la localisation des émissions,
- la hauteur d'émission,
- le diamètre d'émission,
- la température du rejet,
- les caractéristiques des polluants étudiés (densité, vitesse de dépôt, coefficient de lessivage pour les dépôts humides).

Le modèle permet de choisir le type de calcul à effectuer. Pour effectuer la dispersion, nous choisissons la méthode de Pasquill (formulation standard).

### **Caractérisation des espèces**

Les paramètres suivants ont été sélectionnés :

Substances	Phase de la substance	Vitesse de dépôt sec au sol (m/s)	Coefficient de lessivage (s-1)	Diamètre des particules (Qm)
NOx, COV	Gaz	0	$1,00.10^{-5}$	-
SO <sub>2</sub>	Gaz	0	$1,00.10^{-5}$	-
Poussières	Particules	$1,30.10^{-2}$	$4,00.10^{-4}$	10
Acide fluorhydrique	Gaz	0	$1,00.10^{-5}$	-
Acide chlorhydrique	Gaz	0	$1,00.10^{-5}$	-
HAP	Particules	$5.10^{-4}$	$1.10^{-5}$	1,3
Antimoine	Particules	$4,1.10^{-3}$	$5.10^{-5}$	2
Arsenic	Particules	$2,2.10^{-3}$	$5.10^{-5}$	2
Cadmium	Particules	$4,5.10^{-3}$	$5.10^{-5}$	2
Chrome	Particules	$5.10^{-3}$	$5.10^{-5}$	2
Cobalt	Particules	$4,1.10^{-3}$	$5.10^{-5}$	2
Cuivre	Particules	$4,5.10^{-3}$	$5.10^{-5}$	2
Manganèse	Particules	$5,6.10^{-3}$	$5.10^{-5}$	2
Mercuré	Gaz	$5.10^{-4}$	$3,5.10^{-5}$	-
Nickel	Particules	$4,5.10^{-3}$	$5.10^{-5}$	2
Plomb	Particules	$3.10^{-3}$	$3,3.10^{-5}$	2
Vanadium	Particules	$4,1.10^{-3}$	$5.10^{-5}$	2

### **Autres données**

Les modélisations ont été effectuées en considérant :

- un domaine d'étude de 10 km x 10 km centré sur le site,
- une occupation du sol de type urbain (présence de bâtiments); le choix de cet usage de sol permet de déterminer une rugosité, un rapport de Bowen (rapport entre le flux de chaleur sensible et le flux de chaleur latente à la surface) et un indice d'albédo (rapport entre le rayonnement solaire réfléchi sur le rayonnement solaire incident) qui influencent l'expansion du panache,
- les classes de stabilité de Pasquill, qui sont la formulation standard des classes de stabilité,

- le calcul des surhauteurs de cheminées à partir de la formule de Briggs : elle surestime les surélévations en cas d'atmosphère instable ; il s'agit de la formule standard EPA,
- une génération du profil de vent et de température : les données issues des stations météorologiques correspondent en effet à des situations pour une altitude de 10 mètres ; pour des cheminées assez hautes (ce qui est le cas ici), le vent en altitude n'est pas le même que celui au niveau de la station, ce qui influence le calcul de surhauteur de cheminées,
- la prise en compte des vents calmes.

#### **4) Evaluation de l'exposition – Présentation des résultats de la modélisation de la dispersion atmosphérique**

Pour rappel, les cibles principales sont les riverains vivant à proximité du site (exposition par inhalation), et consommant les végétaux / œufs liés à leur jardin ou potager

##### **Présentation des cartes de concentrations atmosphériques modélisées :**

Les résultats de l'étude sont donnés sous forme de cartes. Ils ne concernent que la contribution des rejets étudiés. Les cartes sont formées de zones colorées représentant chacune un intervalle de concentration.

Les résultats de modélisation sont présentés sous forme de cartographies pour chaque composé. Ceux-ci sont exprimés en :

- concentration moyenne annuelle en polluant dans l'air au niveau du sol (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour tous les composés,
- dépôt moyen annuel au sol (en  $\text{mg}/\text{m}^2$ ) pour les composés sous forme particulaire (métaux et HAP). Il s'agit du dépôt total, constitué de la somme du dépôt sec et du dépôt humide (dû au lessivage des polluants par la pluie).

Ces résultats ne concernent que la contribution des rejets provenant de la chaufferie ; les rejets liés au trafic routier ou aux activités industrielles voisines ne sont pas pris en compte. Les cartes sont constituées de zones colorées représentant chacune un intervalle de concentration.

Pour rappel, les premières habitations sont situées dans le quartier du Val de Murigny, à environ 200 mètres à l'est des cheminées.



**Figure 12 : Habitations aux alentours du site**

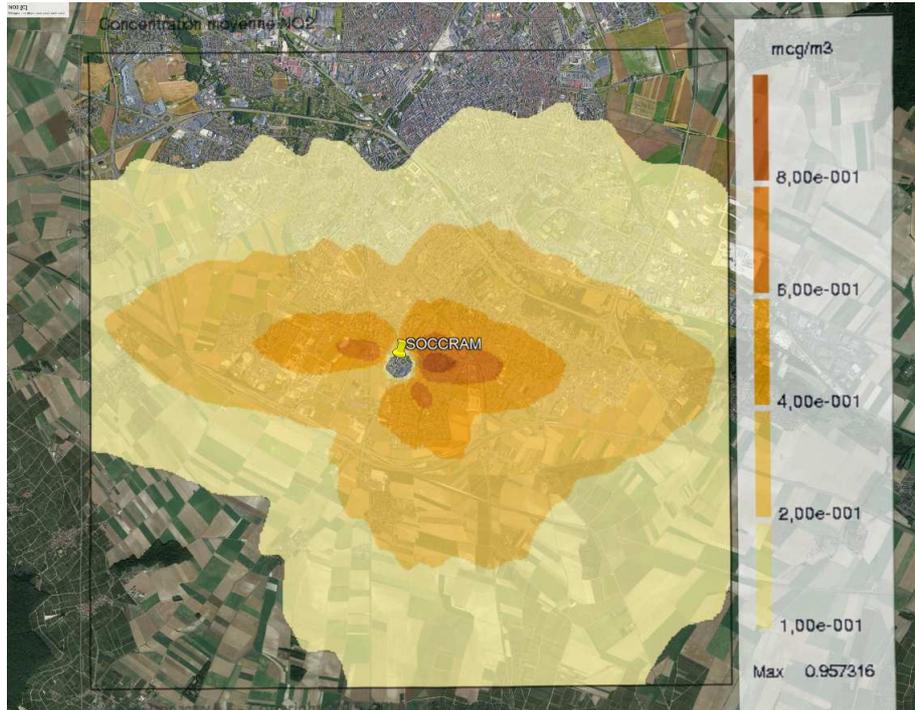
Les cartes suivantes sont données pour quelques polluants retenus en exemple. En effet, tous les polluants n'ont pas le même comportement dans l'atmosphère selon leurs caractéristiques physiques (gaz / particule, poids moléculaire, vitesse de dépôts, diamètre de particule, vitesse de lessivage).

Les polluants étudiés dans le cadre de la présente étude peuvent donc être classés en 3 familles :

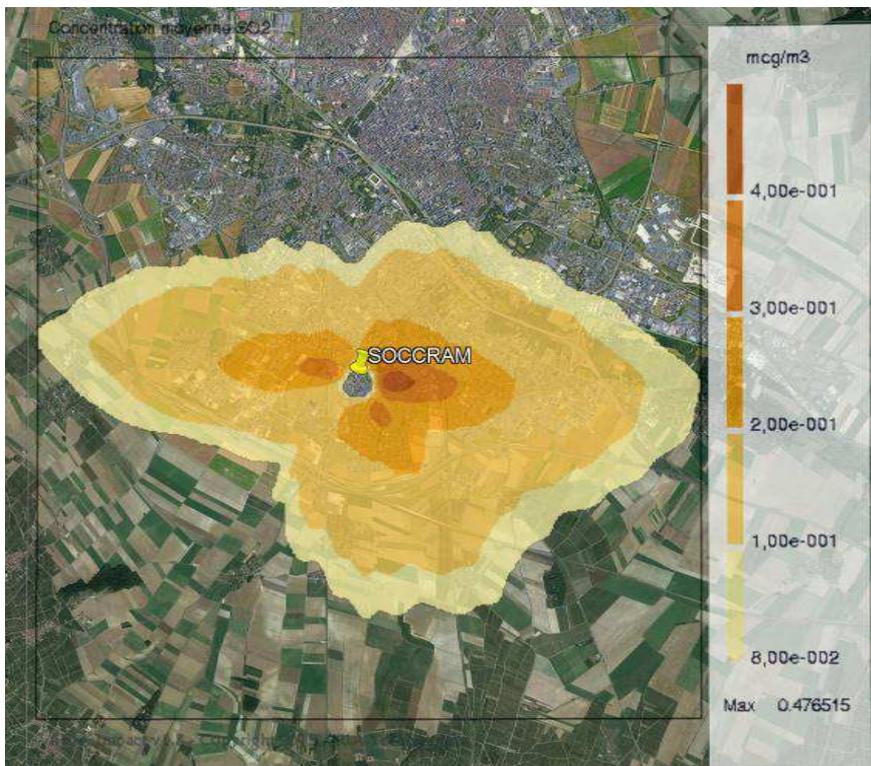
- Les polluants gazeux : les oxydes d'azote (assimilés au  $\text{NO}_2$ ), les Composés Organiques Volatils (COV), l'acide chlorhydrique (HCl), le sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ) et le mercure (Hg).
- Les polluants gazeux pouvant s'agglomérer à des particules : le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ).
- Les polluants particulaires : les poussières (PM10 et PM2.5) et les métaux (sauf le mercure).

### **Cartes des concentrations atmosphériques**

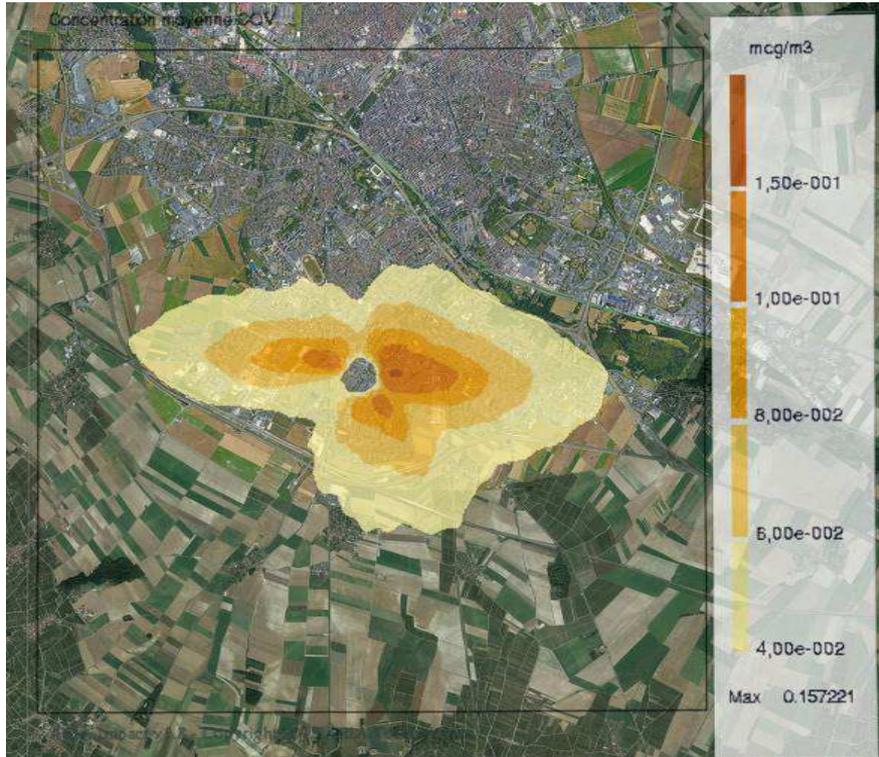
**Oxyde d'azote (NO2)**



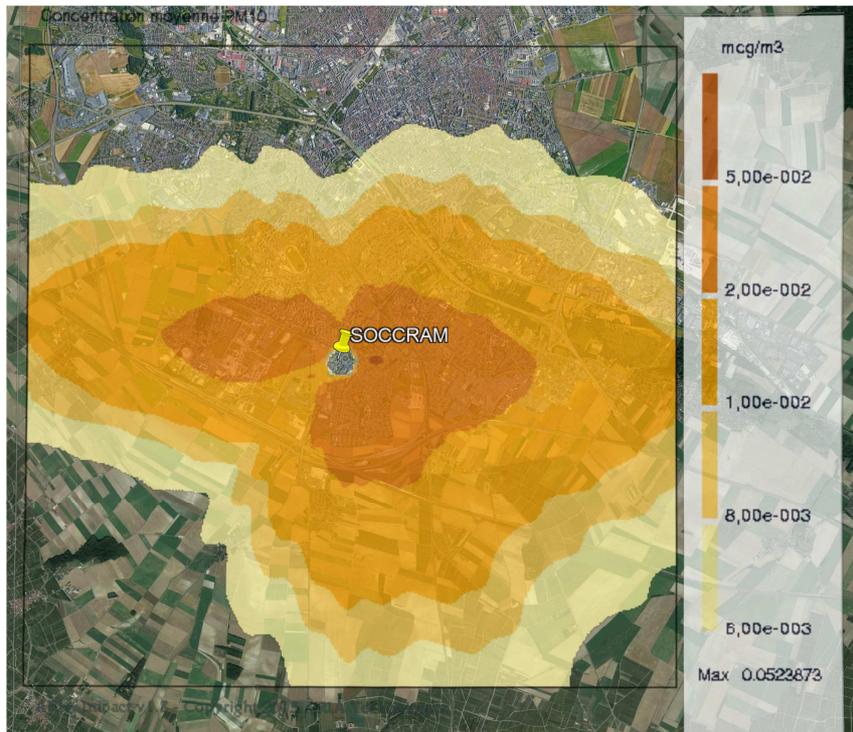
**Dioxyde de soufre (SO2)**



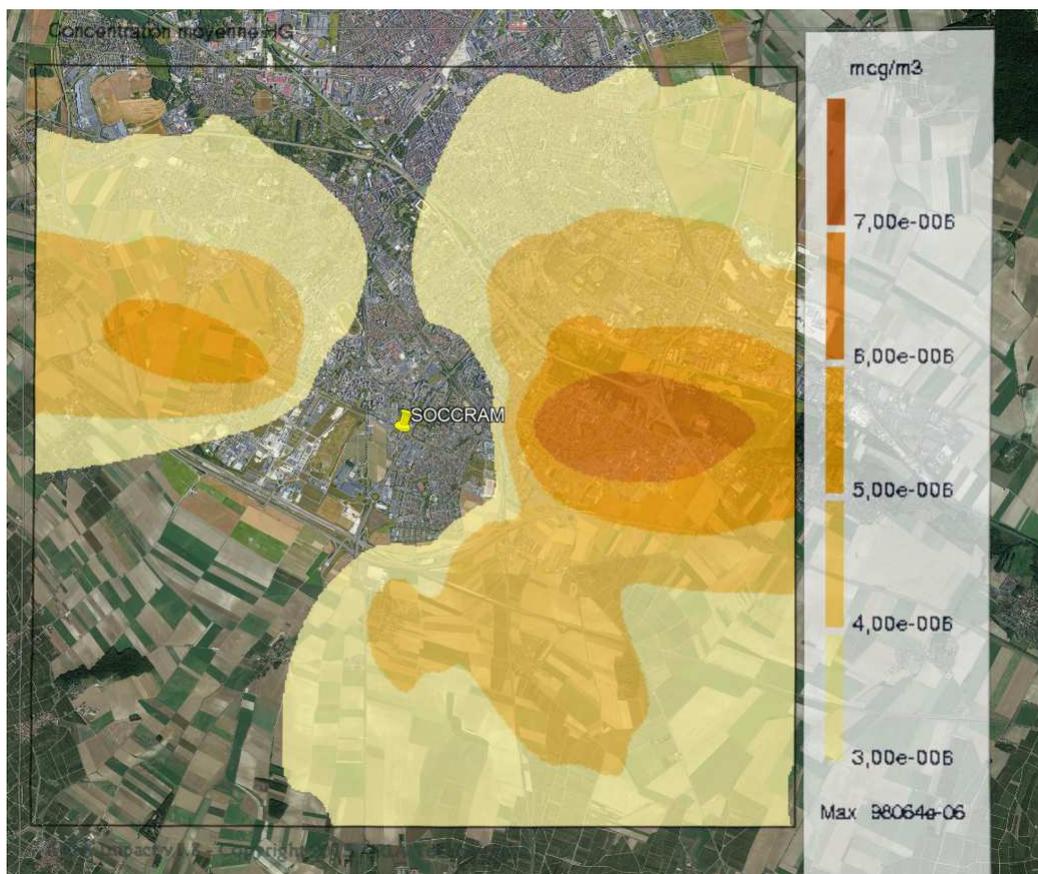
**COV (benzène)**



**PM10**



## Mercurure



### Conclusion sur les concentrations atmosphériques :

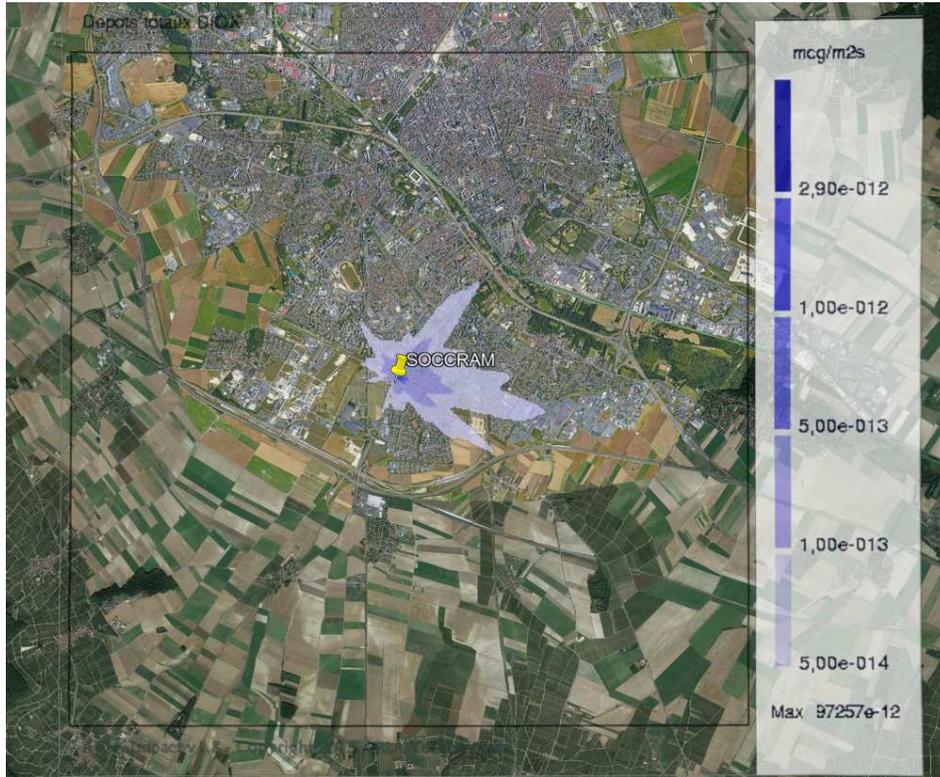
Selon les polluants modélisés, les concentrations atmosphériques maximales sont retrouvées :

- Pour les polluants gazeux et les poussières, à environ 500 mètres à l'est du site
- Pour les autres polluants (métaux, HAP, dioxines), de 2000 à 2750 mètres à l'est du site

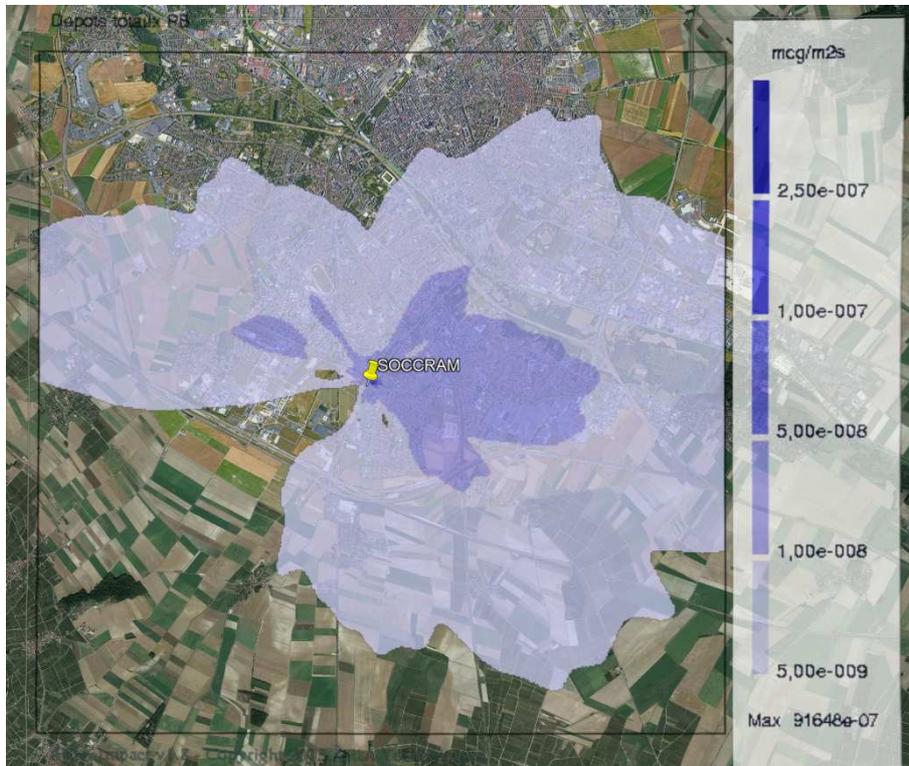
### Cartes des dépôts totaux

Les cartes suivantes présentent les iso-dépôts totaux, c'est-à-dire le dépôt sec (dépôt gravitaire) et le dépôt humide (lessivage des concentrations atmosphériques par la pluie) pour les polluants bioaccumulables sur l'ensemble du domaine d'étude.

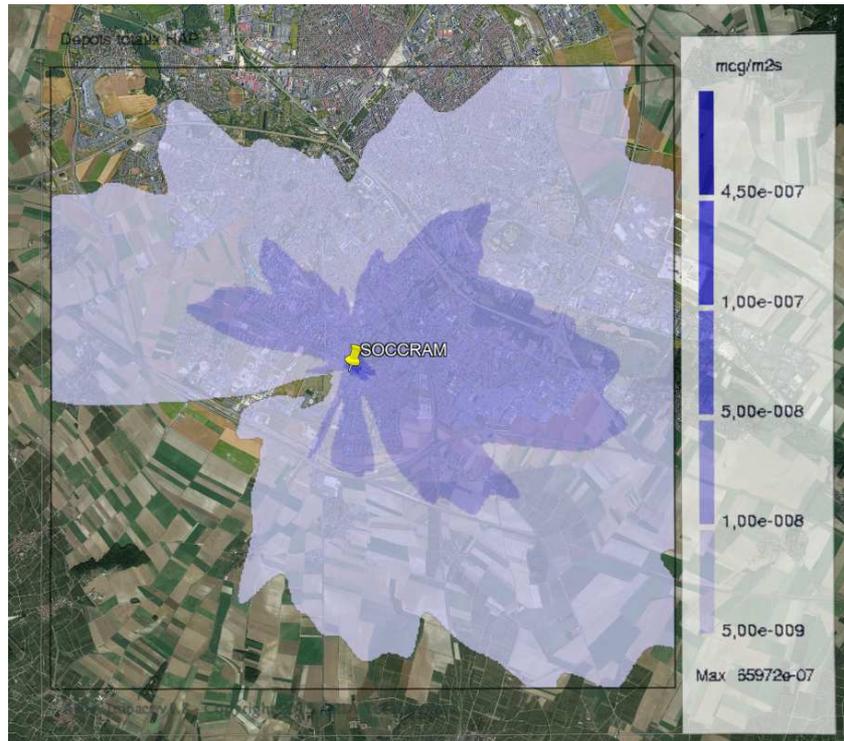
**Dioxine**



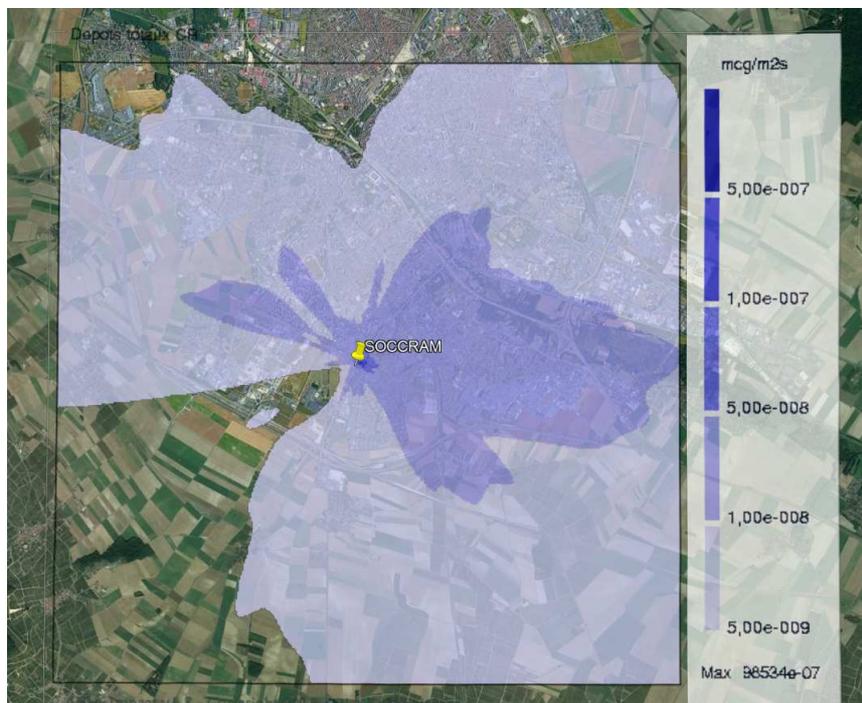
**Plomb**



## HAP



## Chrome



### **Conclusion sur les dépôts de composés bioaccumulables:**

Selon les polluants modélisés, les dépôts sont retrouvés dans leur concentration maximale en bordure du site.

Les cibles les plus impactées sont les riverains situés à 200 mètres à l'est du site

## **IX. Evaluation de l'exposition – Voies et scénarios d'exposition retenus**

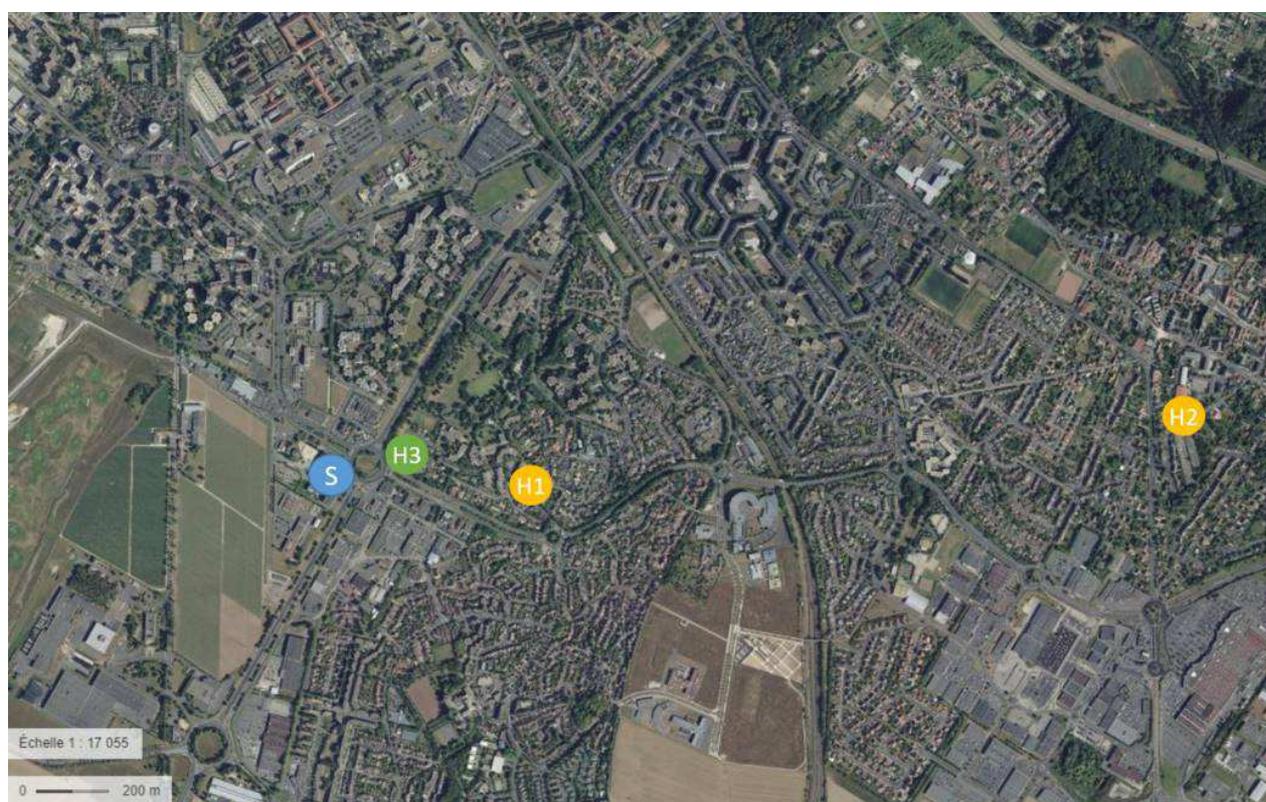
### **1) Voies d'exposition**

Les voies d'expositions sont retenues sur la base du schéma conceptuel d'exposition. Pour rappel :

- Pour les substances considérées comme non bioaccumulables, la voie d'exposition retenue est l'inhalation.
- Pour les substances considérées comme bioaccumulables, nous retenons l'exposition par inhalation et par ingestion.

3 cibles différentes ont été définies :

- H1 : population exposée aux [C] atmosphériques en polluants gazeux les plus importantes
- H2 : population exposée aux [C] atmosphériques en métaux
- H3 : population exposée par la voie d'ingestion aux composés bioaccumulables (HAP, dioxine, métaux...)



**Figure 13 : Localisation des cibles étudiées**

Le scénario d'exposition retenu est le suivant :

Cibles potentielles retenues	Exposition prise en compte
<p>Riverains (maison individuelle) potentiellement les plus exposés avec :</p> <p>Les concentrations atmosphériques modélisées max en gaz et en métaux</p> <p>Les dépôts modélisés max (cibles les plus exposées aux dépôts totaux attribuables au site).</p> <p>Ces hypothèses permettent de s'assurer d'une exposition « enveloppe » de l'ensemble des populations potentiellement exposées.</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Exposition par inhalation</li><li>• Exposition par ingestion directe de sol</li><li>• Exposition par ingestion de fruits et légumes</li><li>• Exposition par ingestion de produits animaux (œufs)</li></ul> <p>Une durée d'exposition 24h/24 pendant 30 ans (la durée de résidence dans un même logement de 90 % de la population est de 30 ans) est retenue pour la quantification des effets à seuil</p>

## 2) Evaluation des expositions par inhalation

### Inhalation : effets à seuil

Une exposition chronique correspond à une exposition allant de quelques années à la vie entière.

Ce sont donc les concentrations modélisées en moyenne annuelle qui sont comparées ici aux Valeurs Toxicologiques de Référence établies pour une exposition chronique pour les effets à seuil.

*Installations Classées pour la Protection de l'Environnement*  
**Evaluation des Risques Sanitaires / Interprétation de l'état des milieux**

Substance	Inhalation (µg/m <sup>3</sup> )	Organe cible ou effet sur ...	Référence	C moyenne annuelle H1	QD point H1	C moyenne annuelle H2	QD point H2	C moyenne annuelle H3	IR point H3
Poussières totales	20	-	Ligne Directrice (OMS)	5,24E-02	2,62E-03	2,72E-02	1,36E-03	8,28E-03	4,14E-04
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	20	-	Ligne Directrice (OMS)	4,77E-01	2,39E-02	2,11E-01	1,06E-02	7,42E-02	3,71E-03
Oxyde d'azote en équivalent NO <sub>2</sub>	20	-	VGAI (Anses), 2013	9,56E-01	4,78E-02	4,59E-01	2,30E-02	1,48E-01	7,40E-03
Acide chlorhydrique (HCl)	20	Système respiratoire	US-EPA, 1995	4,93E-02	2,47E-03	2,23E-02	1,12E-03	7,66E-03	3,83E-04
Acide fluorhydrique (HF)	14	Os	*	2,61E-02	1,86E-03	1,11E-02	7,93E-04	4,06E-03	2,90E-04
Benzène	10	Système immunitaire	Anses, 2008	1,57E-01	1,57E-02	6,87E-02	6,87E-03	2,44E-02	2,44E-03
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) assimilés au benzo(a)pyrène	0,002	Fœtus	Pour le benzo(a)pyrène : US-EPA, 2017	6,07E-07	3,04E-04	1,95E-05	9,75E-03	3,30E-16	1,65E-13
Dioxines - furanes	4,00E-05	Foie et système immunitaire	OEHHA, 2000	9,01E-15	2,25E-10	3,09E-11	7,73E-07	6,03E-26	1,51E-21
Arsenic	1,50E-02	Diminution des capacités intellectuelles et des effets néfastes sur le comportement	OEHHA, 2008	5,42E-08	3,61E-06	1,93E-06	1,29E-04	7,81E-18	5,21E-16
Cadmium	0,3	Incidence combinée des tumeurs pulmonaires)	Anses, 2012	1,70E-08	5,67E-08	3,72E-06	1,24E-05	2,33E-18	7,77E-18
Chrome hexavalent	3,00E-02	-	Chrome VI sous forme de particules OMS CICAD 2013	3,15E-08	1,05E-06	2,05E-06	6,83E-05	4,50E-18	1,50E-16

*Installations Classées pour la Protection de l'Environnement*  
**Evaluation des Risques Sanitaires / Interprétation de l'état des milieux**

Substance	Inhalation (µg/m <sup>3</sup> )	Organe cible ou effet sur ...	Référence	C moyenne annuelle H1	QD point H1	C moyenne annuelle H2	QD point H2	C moyenne annuelle H3	IR point H3
Cobalt	1,00E-01	Système respiratoire	ATSDR, 2004 et OMS CICAD 2006	1,20E-08	1,20E-07	9,78E-06	9,78E-05	1,34E-18	1,34E-17
Cuivre	1	-	RIVM, 2001	7,53E-08	7,53E-08	1,20E-05	1,20E-05	1,05E-17	1,05E-17
Mercure	3,00E-02	Système nerveux	OEHHA, 2008	1,75E-08	5,83E-07	6,74E-06	2,25E-04	2,22E-18	7,40E-17
Manganèse	3,00E-01	Système neurologique	ATSDR, 2012	1,46E-07	4,87E-07	1,45E-05	4,83E-05	2,06E-17	6,87E-17
Nickel	2,30E-01	-	TCEQ 2011 (Texas Commission on Environmental Quality) (retenue par l'Anses)	3,63E-07	1,58E-06	2,23E-05	9,70E-05	5,20E-17	2,26E-16
Plomb	9,00E-01	Plombémie protégeant l'ensemble de la population de la toxicité rénale	Anses, 2013 (recommandé par l'INERIS, 2016), correspond à 15 µg/L (VTR interne construite par l'ANSES)	9,03E-08	1,00E-07	3,22E-06	3,58E-06	1,30E-17	1,44E-17
Antimoine	0,3	Système respiratoire	ATSDR, 2019	3,82E-09	1,27E-08	9,49E-06	3,16E-05	1,67E-19	5,57E-19
Vanadium	1	Système respiratoire	RIVM, 2009	1,15E-08	1,15E-08	9,77E-06	9,77E-06	1,28E-18	1,28E-18
<b>Quotient de danger (QD) total pour l'exposition par inhalation</b>					<b>9,46E-02</b>		<b>5,41E-02</b>		<b>1,46E-02</b>

**Analyse des résultats :**

Le Quotient de Danger total pour l'exposition par inhalation attribuable aux émissions de SOCCRAM dans sa configuration envisagée pour l'ensemble des organes cibles est inférieur à 1 : les recommandations des autorités sanitaires sont respectées pour l'ensemble des cibles étudiées, qui représentent les populations potentiellement exposées au risque par inhalation.

*Installations Classées pour la Protection de l'Environnement*  
**Evaluation des Risques Sanitaires / Interprétation de l'état des milieux**

Inhalation : effets sans seuil

Il s'agit de comparer les concentrations modélisées en moyenne annuelle aux Valeurs Toxicologiques de Référence établies pour une exposition chronique pour les effets sans seuil.

Substance	Inhalation (µg/m <sup>3</sup> )	Référence	C moyenne annuelle H1	ERI point H1	C moyenne annuelle H2	ERI point H2	C moyenne annuelle H3	ERI H3
Benzène	2,60E-05	Anses, 2014	1,57E-01	4,08E-06	6,87E-02	1,79E-06	2,44E-02	6,34E-07
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) assimilés au benzo(a)pyrène	1,10E-03	Pour le benzo(a)pyrène : OEHHA, 2008	6,07E-07	6,68E-10	1,95E-05	2,15E-08	3,30E-16	3,63E-19
Arsenic	1,50E-04	Retenu par l'Anses : TCEQ 2012	5,42E-08	8,13E-12	1,93E-06	2,90E-10	7,81E-18	1,17E-21
Cadmium	1,80E-03	US-EPA, 1987	1,70E-08	3,06E-11	3,72E-06	6,70E-09	2,33E-18	4,19E-21
Chrome hexavalent	4,00E-02	OMS CICAD 2013	3,15E-08	1,26E-09	2,05E-06	8,20E-08	4,50E-18	1,80E-19
Nickel	1,70E-04	TCEQ 2011 (Texas Commission on Environmental Quality) (retenue par l'Anses)	3,63E-07	6,17E-11	2,23E-05	3,79E-09	5,20E-17	8,84E-21
Plomb	1,20E-05	OEHHA, 2011	9,03E-08	1,08E-12	3,22E-06	3,86E-11	1,30E-17	1,56E-22
<b>Excès de Risque Individuel total pour l'exposition par inhalation</b>				<b>4,08E-06</b>		<b>1,90E-06</b>		<b>6,34E-07</b>

**Analyse des résultats :**

Individuellement, aucun Excès de Risque Individuel ne dépasse 10<sup>-5</sup>, quelle que soit la cible étudiée. Les recommandations des autorités sanitaires sont respectées pour l'ensemble des cibles potentielles.

### **3) Evaluation des expositions par ingestion**

L'outil de modélisation qui a été utilisé pour la détermination des concentrations dans les milieux est MODUL'ERS, logiciel-outil développé par l'INERIS pour la modélisation des risques sanitaires ICPE et SSP (Sites et Sols Pollués). Cet outil permet de faire le lien entre l'étape de définition du schéma conceptuel et celle de l'évaluation prospective des expositions et des risques, en donnant aux utilisateurs la possibilité de construire un modèle d'exposition adapté au schéma conceptuel défini pour le site étudié, à partir d'une bibliothèque de modules prédéfinis.

MODUL'ERS permet d'estimer les concentrations dans les milieux, les niveaux d'exposition et les niveaux de risque en fonction du temps à partir des équations décrites dans le manuel intitulé « jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle » et référencé INERIS DRC-08-94882-16675B. La version du logiciel utilisée est la dernière (mise à jour de mars 2019).

Ce logiciel a été utilisé pour estimer les concentrations en métaux dans les différents milieux du schéma conceptuel d'exposition. Ainsi, une matrice a été créée avec les différents « compartiments » à considérer.

Un certain nombre de données d'entrée par défaut sont proposées dans ce logiciel (ex : durée d'exposition de la cible, classes d'âges de la cible, poids corporel de la cible, masse de sol ingérée par jour par la cible...). Sauf cas particulier, nous avons utilisé ces valeurs par défaut qui correspondent à des standards proposés par l'INERIS.

Les principales données d'entrée utilisées dans MODUL'ERS (hors valeurs par défaut) sont les concentrations atmosphériques et les dépôts totaux modélisés en moyenne annuelle (cf modélisations de dispersion)

En ce qui concerne les fractions de fruits, de légumes, de produits animaux consommés exposés à la contamination, nous avons considéré les valeurs par défaut proposées par l'INERIS correspondant à la population agricole (hypothèse majorante).

La contamination des fruits et légumes a été évaluée en considérant :

- Une contamination par les dépôts totaux sur les parties aériennes des végétaux ;
- Une contamination par transfert air/plante (adsorption des concentrations atmosphériques) ;
- Une contamination par transferts sol/plante.

La contamination des produits animaux a été évaluée en considérant :

- Une contamination par la consommation de sol (arrachage de sol lors de la consommation d'herbe pour les bovins et lors de la consommation de grains pour les volailles) ;
- Une contamination d'herbe, de fourrage, de grains contaminés.

Le rapport MODUL'ERS est joint en Annexe. Il présente les données d'entrées et les résultats pour l'exposition par ingestion.

Nous présentons ci-après un exemple de la dose d'exposition journalière obtenue avec MODUL'ERS, pour un polluant, pour l'ingestion cumulée (sols, fruits-légumes, œufs, volailles), en fonction de la classe d'âge (pour une simulation sur 30 années, les niveaux d'exposition calculés par classe d'âge correspondent au cours du temps à des individus différents).

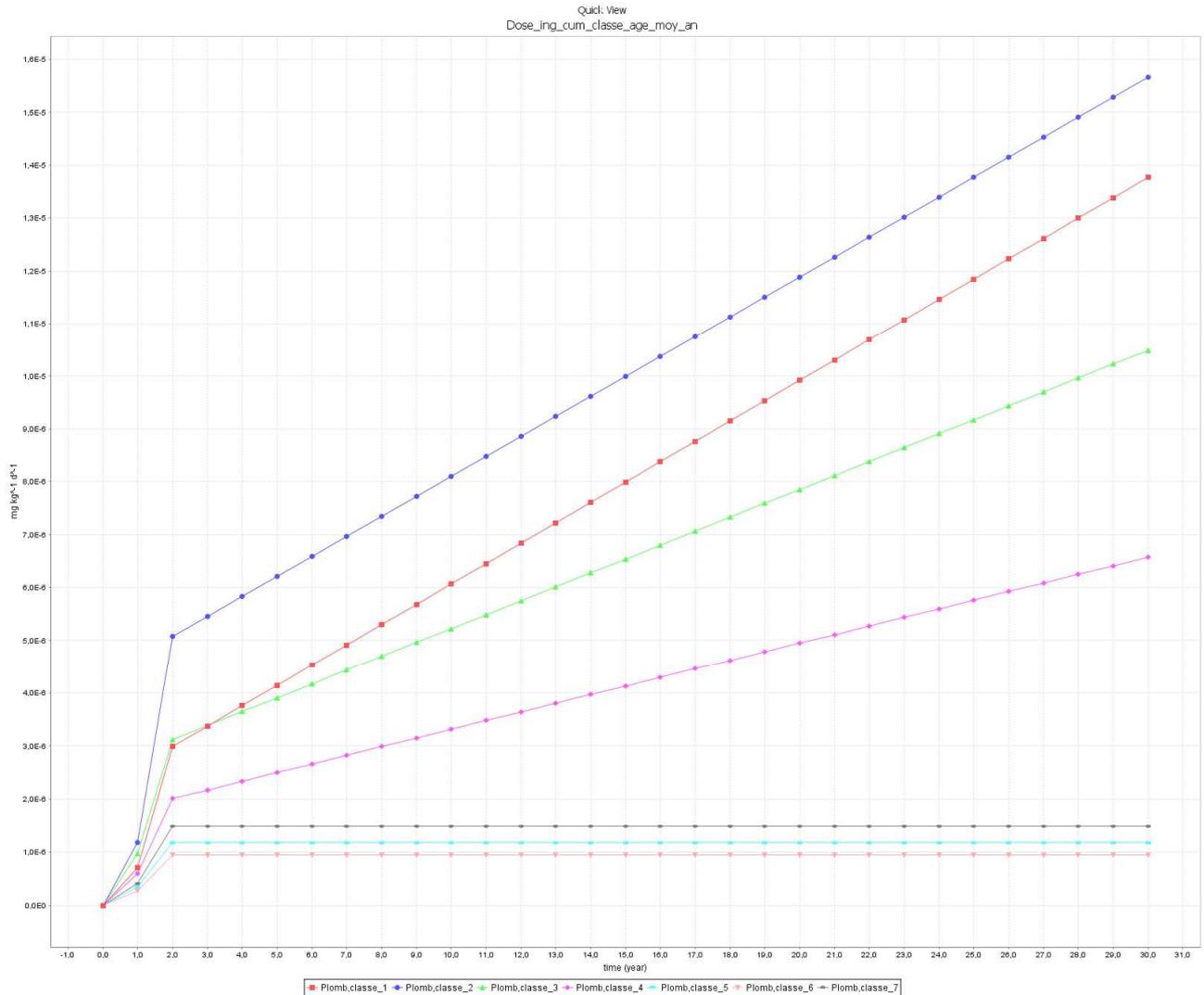


Figure 14 : Dose Journalière d'Exposition (DJE) pour l'ingestion pour le plomb calculé par MODUL'ERS

Le graphique ci-avant montre que pour les expositions par ingestion, la classe d'âge la plus exposée est la classe 2 (correspondant aux individus âgés de 1 à 3 ans).

La valeur maximale est DJE =  $1,56 \cdot 10^{-5}$  (pour la classe 2), obtenue à  $t = 30$  ans de fonctionnement de l'installation.

**Ingestion : effets à seuil**

Polluant / substance	VTR Ingestion (mg/kg/j)	Organe cible ou effet sur ...	Référence	Dose journalière d'exposition H3	QD H3
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) assimilés au benzo(a)pyrène	3,00E-04	Système nerveux	Pour le benzo(a)pyrène : US-EPA, 2017	2,81E-05	9,37E-02
Dioxines - furanes	7,00E-07	Fertilité	USEPA, 2012	9,69E-11	1,38E-01
Arsenic	4,50E-04	Peau	FoBiG, 2009	1,42E-05	3,16E-02
Cadmium	3,50E-04	Reins	ANSES, 2019	8,43E-05	2,41E-01
Chrome hexavalent	1,00E-03	Système digestif	ATSDR 2012 (retenu par l'INERIS)	2,50E-05	2,78E-02
Cobalt	1,50E-03	-	Afssa 2010 (retenu par l'Anses)	1,71E-04	1,14E-01
Cuivre	1,4	Hépatotoxique et effets gastro-intestinaux	Sante Canada, 2018	1,88E-04	1,34E-04
Mercure	5,70E-04	-	EFSA, 2012	8,18E-05	1,43E-01
Manganèse	5,50E-02	Effets sur le nourrisson	INSPQ 2017	2,06E-04	3,75E-03
Nickel	2,80E-03	Effets reprotoxiques	EFSA 2015 (recommandé par l'Anses)	2,63E-04	9,40E-02
Plomb	6,30E-04	Plombémie protégeant l'ensemble de la population de la toxicité rénale	Anses, 2013 (recommandé par l'INERIS, 2016) correspond à 15 µg/L (VTR interne construite par l'ANSES)	1,57E-05	2,49E-02
Antimoine	6,00E-03	-	OMS, 2003	1,69E-04	2,82E-02
Vanadium	2,00E-03	-	Valeur provisoire : RIVM, 2009	1,71E-04	8,54E-02
<b>Quotient de danger (QD) total pour l'organe cible le plus exposé via l'exposition par ingestion (reins)</b>					<b>2,66E-01</b>

**Analyse des résultats :**

Le Quotient de Danger total pour l'exposition par ingestion attribuable aux émissions de SOCCRAM dans sa configuration envisagée pour les organes cibles les plus touchés (plombémie) est inférieure à 1 : les recommandations des autorités sanitaires sont respectées pour l'ensemble des populations potentiellement exposées.

Ingestion : effets sans seuil

Polluant / substance	VTR Ingestion (mg/kg/j)-1	Référence	ERI H3
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) assimilés au benzo(a)pyrène	1	Pour le benzo(a)-pyrène : USEPA 2017	1,64E-06
Dioxines - furanes	130000	OEHHA, 2002	8,27E-07
Arsenic	1,5	US-EPA, 2009 et OEHHA, 1998	1,25E-06
Chrome hexavalent	0,5	OEHHA 2011 (retenu par l'INERIS)	7,33E-07
Plomb	8,50E-03	OEHHA, 2011 (retenu par l'INERIS)	7,79E-09
<b>Excès de Risque Individuel (ERI) total pour l'exposition par ingestion</b>			4,46E-06

**Analyse des résultats :**

L'Excès de Risque Individuel total pour l'exposition par ingestion attribuable aux émissions de SOCCRAM dans sa configuration envisagée est inférieur à  $10^{-5}$  : les recommandations des autorités sanitaires sont respectées pour ces cibles potentielles.

## **X. Conclusions de l'étude**

Pour les cibles les plus exposées aux concentrations atmosphériques et dépôts totaux attribuables aux émissions de SOCCRAM dans sa nouvelle configuration envisagée, les conclusions de l'étude sont les suivantes :

- Le Quotient de Danger total, pour l'organe cible le plus exposé, pour l'exposition par inhalation et par ingestion est inférieur à 1 : les recommandations des autorités sanitaires pour les effets à seuil sont respectées.
- L'Excès de Risque Individuel total pour l'exposition par inhalation et par ingestion est inférieur à  $10^{-5}$  : les recommandations des autorités sanitaires pour les effets sans seuil sont respectées.

Nous pouvons conclure que les émissions attribuables aux émissions de SOCCRAM dans sa configuration envisagée permettent de respecter les recommandations des autorités sanitaires.

## **XI. Incertitudes**

---

### **1) Introduction**

Cette Evaluation du Risque Sanitaire (ERS) a été conduite en utilisant dans un principe de prudence et de proportionnalité, les méthodes et les données recommandées par les organismes experts, en priorité l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) et l'INERIS et de façon complémentaire l'US-EPA et l'OMS.

Néanmoins, la démarche d'ERS s'accompagne nécessairement d'une part d'incertitudes qui proviennent de lacunes ou d'imprécisions des données et de l'obligation de fixer des hypothèses.

Les hypothèses ont été fixées autant que possible dans le sens de la sécurité, dans le but de privilégier une surestimation des risques sanitaires.

Les principales sources d'incertitudes qui sous-estiment ou surestiment les risques sont :

- L'extrapolation de données toxicologiques à partir d'études épidémiologiques et d'expérimentations sur l'animal ;
- Les incertitudes sur la quantification des émissions et donc sur le choix des substances d'intérêt, y compris sur la nature des substances émises ;
- Les incertitudes liées au modèle de dispersion atmosphérique utilisé ;
- Les incertitudes sur les calculs d'exposition par ingestion ;
- Les incertitudes sur l'exposition des populations et sur la variabilité des êtres humains aux différents facteurs.

Il n'est pas envisageable actuellement de quantifier l'incertitude sur le risque sanitaire final.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les principales incertitudes.

L'évaluation des risques sanitaires ne doit pas être lue comme le taux de mortalité attendu dans la population exposée, mais comme une estimation du risque potentiel fondé sur les connaissances à la date d'élaboration de l'étude et sur un certain nombre d'hypothèses conservatives.

### **2) Incertitudes sur les données toxicologiques**

Les valeurs toxicologiques de référence pour les effets à seuil comme pour les effets sans seuil sont fondées sur :

- Des études épidémiologiques (cohorte de travailleurs soumise à des expositions professionnelles).
- Des expérimentations sur l'animal en attribuant aux résultats des facteurs d'incertitudes.

Il est important de noter que :

- l'homme ne réagit pas nécessairement comme l'animal,
- les données sur l'animal sont elles-mêmes soumises aux incertitudes liées aux protocoles expérimentaux (nombre d'animaux, dosage, voie d'administration des produits, durée des tests,...),

- l'extrapolation par des modèles mathématiques de résultats expérimentaux d'exposition à fortes concentrations, à des expositions chroniques à très faibles doses génère des biais sur les résultats,
- tous les produits n'ont pas été étudiés (les bases de données des valeurs toxicologiques de référence recensent environ 600 produits documentés),
- le manque de données sur certains produits particuliers oblige souvent à les assimiler à un produit de la même famille,
- pour les substances à effets à seuil, dont les mécanismes d'action toxique sont similaires, le principe de prudence conduit en première approche à ajouter les Quotient de Danger (QD),
- les effets de synergie (sous-estimation des risques) ou d'antagonisme (surestimation des risques) des différents composés ne peuvent pas être pris en compte.

### **3) Incertitudes sur la quantification des émissions**

Les émissions ont été quantifiées sur la base :

- des Valeurs Limites à l'Emission (VLE) réglementaires pour les polluants réglementés,
- des valeurs d'émission attendues pour les polluants non réglementés : ces émissions ne peuvent en aucun cas être considérées comme des garanties à l'émission,
- du dimensionnement des installations (débit nominal de fumées).

Ces hypothèses conduisent à majorer les émissions réelles attendues de l'installation dans sa configuration envisagée.

### **4) Incertitudes liées au modèle de dispersion atmosphérique**

Le modèle utilisé est ARIA Impact, modèle gaussien.

Ces incertitudes du modèle proviennent :

- des hypothèses concernant les données d'entrée du modèle,
- du modèle lui-même, qui utilise une formulation mathématique réductrice des phénomènes physiques mis en œuvre lors des phénomènes de transport et de dispersion des polluants.

Les hypothèses d'entrée du modèle sont :

- les données météorologiques
- les discontinuités des directions de vent (+/- 10°),
- l'utilisation d'une table de contingence nébulosité x vitesse de vent pour déterminer des classes de stabilité discontinues,
- le choix d'une valeur d'albédo identique pour l'année (non prise en compte des périodes de neige par exemple),
- le choix d'un coefficient de rugosité unique pour l'ensemble des domaines (prairies, zones d'habitat ou urbaines, forêts).
- Le modèle de type gaussien avec un modèle à « bouffée » pour prendre en compte les vents faibles ( $\leq$  à 1 m/s).

Les principales incertitudes du modèle sont :

- un manque de précision à moins de 100 m de la source (se traduisant en général par une surestimation de l'exposition),

- la non prise en compte des obstacles en champ proche.

Le modèle ARIA Impact est cité dans le Guide méthodologique de l'INERIS parmi les logiciels susceptibles d'être utilisés pour la modélisation de rejets atmosphériques chroniques.

## **5) Incertitudes liées aux calculs d'exposition par ingestion**

L'évaluation de l'exposition par ingestion est réalisée avec MODUL'ERS, développé par l'INERIS.

Les principales incertitudes du modèle sont les suivantes :

- Evolution des concentrations dans le sol et persistance : A défaut de données suffisamment fiables permettant la prise en compte des phénomènes d'atténuation naturelle des polluants dans le sol (ruissellement, érosion, lixiviation, volatilisation et dégradation), ceux-ci n'ont pas été pris en compte.
- Hypothèse sur la biodisponibilité : Pour les calculs d'exposition, nous avons fait l'hypothèse que la totalité des polluants bioaccumulables / persistants présents dans les sols et les végétaux (voies d'exposition retenues pour l'ingestion) sont biodisponibles. Cette hypothèse est pénalisante.
- La non prise en compte de l'exposition par voie cutanée : Dans son rapport de Mise à jour de l'étude d'évaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion, décembre 2004, l'INERIS montre que cette voie d'exposition est négligeable par rapport à l'exposition par ingestion.

### Conclusion :

Les modèles utilisés comportent des incertitudes, mais présentent les avantages suivants :

- Permet de ne pas retenir d'hypothèses discutables sur les temps d'exposition (variabilité des déplacements dans la population : départ en vacances et durée des vacances selon âge de la population, classe sociale, ...).
- Approche suffisamment simple pour être opérationnelle.

## **6) Incertitudes sur l'exposition des populations et sur la variabilité des êtres humains**

Nous avons considéré qu'il pouvait y avoir présence d'habitation (présence d'adultes et d'enfants), de jardins et d'usages agricoles. Cette approche est considérée comme « enveloppe » de l'ensemble des cibles potentiellement exposées.

Pour ces cibles, nous avons considéré de façon pénalisante que les populations étaient exposées 24 h/24 pendant 30 ans (durée généralement utilisée comme durée de référence d'une installation dans une configuration donnée correspondant également à la durée maximale de résidence dans le même logement de 90 % de la population) aux concentrations maximales modélisées, avec une autoconsommation de produits agricoles.

Il n'est pas tenu compte des déplacements en dehors du domaine d'étude, ni dans le domaine d'étude.

De nombreux facteurs relatifs à la diversité génétique (métabolisme, sensibilité au polluant, ...), au mode de vie (régime alimentaire, sédentarité,...), à l'état de santé (âge,

immunodéficiences, ...) ne peuvent être intégrés dans l'étude de risque sanitaire (sinon par un coefficient d'incertitude supplémentaire sur les valeurs toxicologiques de référence).

## **7) Conclusion sur les incertitudes**

Les hypothèses prises pour les valeurs des variables d'entrée de l'Evaluation des Risques Sanitaires et les coefficients de sécurité pris à chaque étape du processus, rendent peu probable une sous-estimation du risque pour les populations.

Rappelons que les indices de risque calculés sont des indicateurs évalués avec les connaissances techniques du moment.

Annexe 1 - Caractéristiques intrinsèques des substances émises à l'atmosphère et valeurs de référence

1.	Monoxyde de carbone .....	2
2.	Dioxyde d'azote .....	4
3.	Dioxyde de soufre.....	6
4.	Poussières .....	8
5.	Composés Organiques Volatils (benzène - Formaldéhyde) .....	10
6.	Acide chlorhydrique .....	14
7.	Acide fluorhydrique .....	15
8.	Ammoniac.....	17
9.	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.....	19
10.	Dioxines, furanes et PCB dioxin-like .....	22
11.	Antimoine.....	25
12.	Arsenic.....	27
13.	Cadmium .....	29
14.	Chrome .....	32
15.	Cobalt .....	35
16.	Cuivre .....	37
17.	Etain.....	39
18.	Manganese .....	40
19.	Mercure.....	42
20.	Nickel.....	46
21.	Plomb.....	48
22.	Sélénium.....	51
23.	Thallium .....	53
24.	Vanadium.....	54
25.	Zinc .....	56

## 1. MONOXYDE DE CARBONE

(source : « Fiche toxicologique n° 47 : Monoxyde de carbone, INRS, édition 2009 », « Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur, monoxyde de carbone », AFSSET, mars 2007).

### 1.1. Comportement

- o Participe à la formation de l'ozone troposphérique,

### 1.2. Effets sur la santé

#### o Effets généraux

- Céphalée, vertiges, asthénie associés à des troubles digestifs (nausées, vomissements),
- Baisse des performances comportementales,
- Effets sur le développement du fœtus pour les femmes enceintes fumeuses,
- Infarctus du myocarde.

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

La principale voie de pénétration dans l'organisme est l'inhalation. Le monoxyde de carbone se diffuse rapidement après inhalation dans les parois alvéolaires puis de façon difficilement réversible dans le sang. Le monoxyde de carbone se fixe dans le sang à 85 % sur l'hémoglobine pour laquelle il a une affinité 203 fois supérieure à celle de l'oxygène chez l'homme. Il provoque alors une réduction de la capacité de transport de l'oxygène du sang, affecte l'oxygénation de certaines cellules musculaires (en particulier myocarde) et la respiration cellulaire. Ces trois effets conduisent à l'hypoxie.

#### o Effets systémiques

Le monoxyde de carbone est surtout connu pour des cas d'intoxication accidentelle. Des effets cardio-vasculaires et neurologiques apparaissant immédiatement après une intoxication aiguë ou de façon retardée (quelques jours à quelques semaines). Pour de faibles niveaux d'exposition, les effets sont surtout des troubles de type neurovégétatif (céphalées, faiblesse musculaire, hypotension, tachycardie réflexe, vertiges).

Bien que le CO soit considéré comme dénué d'effet toxique cumulatif sur le long terme, une action toxique à long terme sur le système cardio-vasculaire et neurologique ne peut pas être exclue.

#### o Effets cancérogènes / mutagènes / reprotoxiques

Aucune donnée ne permet en l'état actuel des connaissances de suspecter que le CO puisse être une substance cancérogène ou mutagène.

Le monoxyde de carbone est classé en catégorie 1 par l'Union Européenne pour les effets reprotoxiques. Selon le CLP modifié, le monoxyde de carbone est classé R1A pour la toxicité sur la reproduction (substance dont la toxicité pour la reproduction humaine est avérée ; la classification d'une substance dans cette catégorie s'appuie largement sur des études humaines).

Le CO est fœtotoxique et peut, chez la femme enceinte lors d'une intoxication grave, entraîner des séquelles neurologiques sérieuses, voire la mort du fœtus.

### 1.3. Classification et phrases de risque

- o Etiquetage : T (toxique par inhalation) – F+ (extrêmement inflammable)
- o Phrases de risque : R23 : toxique par inhalation – R48/23 : risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition par inhalation – R61 : risques pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant
- o Phrases de risque selon le règlement CE n°1272/2008 : H 220 : gaz extrêmement inflammable – H 360D : peut nuire au fœtus – H 331 : toxique par inhalation – H 372 : risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée par inhalation.

#### **1.4. Valeurs de référence**

Le monoxyde de carbone ne dispose pas de Valeur Toxicologique de Référence.

L'OMS (2005) fixe une valeur guide de qualité de l'air de 10 mg/m<sup>3</sup> pour une exposition de 8 heures. L'article R.221-1 du Code de l'Environnement reprend la valeur de 10 mg/m<sup>3</sup> comme valeur limite pour la protection de la santé humaine.

Une valeur guide supplémentaire a été publiée par l'OMS en décembre 2010 pour une exposition de 24 heures : 7 mg/m<sup>3</sup>.

Il n'existe pas à l'heure actuelle de VTR pour l'exposition chronique au monoxyde de carbone, ni de valeur guide pour des expositions plus longues que celles citées pour une exposition aiguë.

Une VTR est retenue par l'ANSES : 10 mg/m<sup>3</sup> (valeur sur 8 heures déterminée par l'Afsset)

## **2. DIOXYDE D'AZOTE**

(source : « Oxydes d'azote – NOx – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour 25/07/2005 », « Fiche toxicologique n° 133 : monoxyde d'azote – peroxyde d'azote, INRS, édition 2006 »).

### **2.1. Comportement**

- o Se décomposent en acide nitrique dans l'eau et le sol,
- o Contribuent au phénomène des pluies acides,
- o Précurseurs de l'ozone troposphérique (basse atmosphère) ; la plus grande partie des oxydes d'azote atmosphérique est émise sous forme de monoxyde d'azote qui est rapidement oxydé par l'ozone en dioxyde d'azote. Le dioxyde d'azote réagit avec les radicaux hydroxyles dans l'atmosphère, et subit des réactions photochimiques conduisant à la formation d'ozone,
- o Eutrophisation des cours d'eau et des lacs.

### **2.2. Effets sur la santé**

- o Effets généraux
  - Altération des fonctions respiratoires,
  - Hyper réactivité bronchique chez les asthmatiques,
  - Sensibilisation des bronches aux infections microbiennes chez l'enfant,
- o Pénétration et devenir dans l'organisme

La principale voie de pénétration dans l'organisme est l'inhalation.

Les oxydes d'azote sont principalement constitués de monoxyde (NO) et de dioxyde (NO<sub>2</sub>) d'azote. Le monoxyde, rapidement oxydé en NO<sub>2</sub>, est environ 5 fois moins toxique que le NO<sub>2</sub>.

Le facteur d'absorption du dioxyde d'azote est compris entre 0,81 et 0,92 pour une respiration normale.

Le monoxyde d'azote présent dans l'air inspiré passe en effet à travers les alvéoles pulmonaires, se dissout dans le sang et limite la fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine. Les organes sont alors moins bien oxygénés.

Après absorption, le monoxyde d'azote est transformé en acide nitrique puis en ions nitrites dans la circulation sanguine, induisant la formation de méthémoglobine pouvant conduire à différents symptômes (maux de tête,...).

Concernant le dioxyde d'azote, ce composé pénètre dans les voies respiratoires profondes, où il fragilise la muqueuse pulmonaire face aux agressions infectieuses.

- o Effets systémiques

Les principaux effets associés au dioxyde d'azote sont des symptômes respiratoires. Il provoque une hyperréactivité bronchique chez les asthmatiques.

Pour le monoxyde d'azote, outre les effets respiratoires, des effets toxiques sur les plaquettes (composantes du sang) sont rapportés.

La principale cible des oxydes d'azote est l'appareil respiratoire et en particulier le parenchyme pulmonaire. Les organes cibles secondaires sont le foie et le système immunitaire.

- o Effets cancérogènes / mutagènes / reprotoxiques

Les oxydes d'azote ne sont pas classés pour provoquer de tels effets.

### **2.3. Classification et phrases de risque**

- o Etiquetage : T+ (très toxique par inhalation)
- o Phrases de risque : R26 : très toxique par inhalation - R37 : irritant pour les voies respiratoires

#### 2.4. Valeurs de référence

L'OMS (2005) propose une valeur guide de 40 µg/m<sup>3</sup> en valeur annuelle pour le dioxyde d'azote.

Des études ont montré des effets néfastes sur la santé même lorsque la concentration en dioxyde d'azote respecte la valeur guide de 40 µg/m<sup>3</sup>. Des études sur l'air intérieur ont également montré des effets sur le système respiratoire parmi une population d'enfants à des concentrations inférieures à 40 µg/m<sup>3</sup>.

Toutefois, la présence de dioxyde d'azote est majoritairement associée à la présence d'autres composés générés lors de toute combustion (comme les particules par exemple) et le lien direct entre la dose et l'effet n'est pas directement établi puisqu'il n'est pas possible de déterminer dans quelle mesure les effets observés sur la santé lors de ces études sont attribuables au seul dioxyde d'azote.

L'article R.221-1 du code de l'environnement fixe pour le dioxyde d'azote un objectif de qualité de 40 µg/m<sup>3</sup> pour l'année civile.

Il n'existe pas à l'heure actuelle de VTR associée au dioxyde d'azote pour une exposition chronique.

A défaut, la **valeur guide de l'OMS de 40 µg/m<sup>3</sup>** est considérée comme valeur de comparaison.

### **3. DIOXYDE DE SOUFRE**

(source : « Dioxyde de soufre – SO<sub>2</sub> – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour 25/07/2005 », « Fiche toxicologique n° 41 : Dioxyde de soufre, INRS, édition 2006 »).

#### **3.1. Comportement**

- Formation d'acide sulfurique en présence d'humidité qui contribue aux phénomènes des pluies acides (impact sur la végétation et les eaux superficielles) et à la dégradation de la pierre et des matériaux de certaines constructions,
- Temps de séjour moyen dans l'air de 1 à 5 jours.

#### **3.2. Effets sur la santé**

- Effets généraux
  - Irritation des voies respiratoires, en particulier associé avec les particules en suspension,
  - Altération des fonctions respiratoires pulmonaires,
  - Exacerbation des symptômes respiratoires aigus chez l'adulte (toux, gêne respiratoire).

- Pénétration et devenir dans l'organisme

La principale voie de pénétration dans l'organisme est l'inhalation. Le dioxyde de soufre est un produit très irritant pour les yeux, la gorge et les voies respiratoires.

Le dioxyde de soufre est très soluble et il est rapidement distribué dans tout le corps. Il se transforme en acide sulfurique et est métabolisé dans le sang en sulfates, éliminés par les urines.

Jusqu'à plus de 90 % du dioxyde de soufre inhalé peut être absorbé dans les voies respiratoires.

- Effets systémiques

Le dioxyde de soufre est un gaz irritant, notamment pour l'appareil respiratoire. Les fortes pointes de pollution peuvent déclencher une gêne respiratoire chez les personnes sensibles, comme les asthmatiques ou les jeunes enfants. Les efforts physiques accroissent les effets du SO<sub>2</sub>.

Certaines études épidémiologiques ont montré qu'une hausse des taux de SO<sub>2</sub> s'accompagnait notamment d'une augmentation du nombre de décès pour cause cardio-vasculaire.

Le principal organe cible lors d'une exposition au SO<sub>2</sub> sont le poumon. Le sang constitue un organe cible secondaire.

- Effets cancérogènes / mutagènes / reprotoxiques

Le CIRC classe le SO<sub>2</sub> dans le groupe 3 (ne peut être classé pour sa cancérogénicité chez l'homme). Le SO<sub>2</sub> n'est pas classé cancérogène par l'Union Européenne.

#### **3.3. Classification et phrases de risque**

- Etiquetage : T (toxique par inhalation)
- Phrases de risque : R23 : toxique par inhalation - R34 : provoque des brûlures

#### **3.4. Valeurs de référence**

L'OMS (2005) propose une valeur guide sur 24 heures de 20 µg/m<sup>3</sup> ; l'OMS ne fixe pas de valeur guide en moyenne annuelle, considérant que le respect de la valeur sur 24 heures assure une concentration en moyenne annuelle inférieure.

Tout comme pour le dioxyde d'azote, la présence de dioxyde de soufre est majoritairement associée à la présence d'autres composés générés lors de toute combustion (comme les particules par exemple) et le lien direct entre la dose et l'effet n'est pas directement établi puisqu'il n'est pas possible de déterminer dans

quelle mesure les effets observés sur la santé lors de ces études sont attribuables au seul dioxyde de soufre.

L'article R.221-1 du code de l'environnement modifié fixe un objectif de qualité de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'année civile, et une valeur de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour la protection des écosystèmes.

Il n'existe pas à l'heure actuelle de VTR associée au dioxyde de soufre pour une exposition chronique. A défaut, la valeur guide de l'OMS est considérée.

La valeur retenue comme élément de comparaison est la **valeur guide** de l'OMS, soit  **$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$** .

## 4. POUSSIÈRES

(source : « Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre », OMS, 2005, « Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur, particules », AFSSET, octobre 2009).

### 4.1. Effets sur la santé

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

La principale voie de pénétration dans l'organisme est l'inhalation.

La taille des particules détermine largement leur devenir. Les PM<sub>2,5</sub> (particules fines de diamètre inférieur à 2,5 µm) peuvent rester en suspension dans l'air pendant des jours. Les plus grosses (les PM<sub>10</sub> de diamètre inférieur à 10 µm) se déposent très rapidement du fait de leur poids ; celles-ci restent généralement en suspension de l'ordre de quelques heures en l'absence de précipitations.

Les particules de taille supérieure à 10 µm se déposent surtout dans les voies respiratoires hautes. Une fraction peut se déposer sur la muqueuse de l'oropharynx, puis être déglutie.

Les poussières de taille inférieure à 2,5 µm sont capables d'atteindre le parenchyme pulmonaire profond. Le taux de déposition dans l'étage alvéolo-interstitiel est de l'ordre de 30 à 50 % pour les particules ultrafines de 0,01 à 0,1 µm, et de l'ordre de 20 % pour les particules de 0,5 à 2,5 µm.

Les poussières inhalées provoquent à la fois une réaction irritative liée à leur nature particulière, ainsi qu'une réaction inflammatoire liée aux molécules adsorbées sur ces poussières.

#### o Effets systémiques

L'éventail des effets sur la santé est large mais ce sont surtout les systèmes respiratoires et cardio-vasculaires qui sont affectés.

Notons que les données sur les particules en suspension dans l'air et leurs effets sur la santé publique sont uniformes et montrent des effets indésirables sur la santé aux expositions auxquelles les populations urbaines sont actuellement soumises dans les pays développés comme dans les pays en voie de développement.

Il a été montré que le risque augmentait avec l'exposition pour diverses pathologies et rien ne permet de penser qu'il existe un seuil en-dessous duquel on pourrait s'attendre à ce qu'il n'y ait aucun effet indésirable pour la santé.

#### o Effets cancérogènes / mutagènes / reprotoxique

Outre le diamètre des particules qui influe sur leur devenir et leur toxicité, la composition chimique des particules est également un élément déterminant pour les effets sur la santé.

Compte tenu de la diversité des composés chimiques adsorbés et de la variété des sources, il n'existe pas de valeurs guide discriminant les particules en fonction de leur nature chimique.

### 4.2. Classification et phrases de risque

- o Etiquetage : -
- o Phrases de risque : -

### 4.3. Valeurs de référence

L'OMS (2005) fixe une valeur guide annuelle pour la santé humaine de **20 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et de 10 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2,5</sub>**.

L'OMS précise que la valeur 10 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2,5</sub> reste une valeur de gestion, dans la mesure où on ne peut pas établir de valeurs seuils de concentration dans l'air ambiant en-deçà desquelles l'ensemble de la population serait protégé des effets de la pollution particulaire sur la santé. Des troubles sanitaires ont en effet été rapportés jusqu'à de faibles concentrations en PM<sub>2,5</sub>, de l'ordre de 3 à 5 µg/m<sup>3</sup>. La valeur guide de 10 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2,5</sub> est retenue car elle est parallèlement jugée être une valeur réaliste à atteindre dans

les pays développés (techniquement et économiquement) et car elle permet de progresser en terme de réduction des effets sur la santé.

Une concentration moyenne annuelle de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{2,5}$  peut être considérée d'après la littérature scientifique comme inférieure à la moyenne correspondant à la plupart des effets susceptibles de se produire.

Les valeurs guides de l'OMS correspondent aux concentrations les plus faibles pour lesquelles on a montré que la mortalité totale par maladies cardio-pulmonaires et par cancer du poumon augmente avec un degré de confiance supérieur à 95 % en réponse à une exposition à long terme aux  $\text{PM}_{2,5}$ .

Les valeurs guides proposées par l'OMS ont été retenues par le RIVM.

L'article R.221-1 du code de l'environnement fixe comme objectifs de qualité des concentrations moyennes annuelles de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{10}$  et de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{2,5}$ .

Il n'existe pas à l'heure actuelle de VTR concernant les particules pour une exposition chronique.

A défaut, les **valeurs guides** de l'OMS sont retenues comme éléments de comparaison, à savoir  **$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{2,5}$  et  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{10}$ .**

## **5. COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS (BENZENE - FORMALDEHYDE)**

(source : « Les Composés Organiques Volatils (COV) dans l'environnement », Pierre Le Cloirec, Ecole des Mines de Nantes - Editions Lavoisier, 1998).

### **5.1. Comportement**

Une partie des COV peut se retrouver adsorbée sur les particules.

Les émissions de composés organiques volatils peuvent agir directement sur la santé ou l'environnement en fonction de la nature des composés, ainsi que de façon indirecte par le biais de réactions complexes dans l'atmosphère et la formation d'ozone troposphérique.

L'ozone troposphérique est issu de réactions chimiques entre les oxydes d'azote, les composés organiques volatils, le monoxyde de carbone, sous l'effet du rayonnement solaire de courte longueur d'onde.

La production s'accompagne d'autres espèces aux propriétés acides ou oxydantes : aldéhydes, composés organiques nitrés, acide nitrique, eau oxygénée.

### **5.2. Effets sur la santé**

#### o Effets généraux

- Altération du système nerveux, des globules et des plaquettes sanguines,
- Effet déprimant sur le système nerveux pouvant engendrer neurasthénie, dépression, anxiété,
- Irritant des muqueuses et de la peau en cas d'exposition aiguë,
- Dégénérescences cérébrales en cas d'exposition chronique de longue durée.

Les composés ayant la nocivité directe la plus élevée sont généralement des composés halogénés et des hydrocarbures aromatiques polycycliques.

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

La principale voie de pénétration dans l'organisme est l'inhalation. Ces composés se volatilisent en effet facilement.

Les muqueuses nasales sont les sites privilégiés d'action des polluants gazeux car elles sont un lieu naturel de passage et de rétention des produits adsorbables. L'irritation des voies nasales est la conséquence d'une altération des muqueuses. Cette irritation par inhalation s'accompagne souvent de maux de gorge.

#### o Effets indirects

L'action indirecte sur la santé est le résultat de la formation d'ozone qui est un gaz peu soluble et très oxydant, pénétrant profondément dans l'appareil respiratoire. Par ses propriétés oxydantes et sa structure chimique, l'ozone est un gaz qui peut réagir sur les composants cellulaires et affecter les capacités respiratoires. Ces effets sont accentués lors d'efforts physiques et d'expositions prolongées : en particulier, l'ozone provoque, dès une exposition prolongée à une concentration de 150 à 200 µg/m<sup>3</sup>, des irritations oculaires ou de la toux, surtout chez les personnes sensibles: enfants et asthmatiques. Les autres espèces photochimiques (nitrate de peroxyacétyl, aldéhydes,...) peuvent provoquer des effets identiques.

#### o Effets systémiques

Les effets sont fonction sont spécifiques à chaque composé.

#### o Effets cancérogènes / mutagènes / reprotoxiques

Les effets sont fonction sont spécifiques à chaque composé.

### **5.3. Classification et phrases de risque**

- o Etiquetage : - spécifique à chaque composé,
- o Phrases de risque :- spécifique à chaque composé.

#### 5.4. Cas du benzène

(source : « Benzène – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour 21/03/2006 », « Fiche toxicologique n° 49 : Benzène, INRS, 2011 »).

##### o Pénétration et devenir dans l'organisme

La principale voie de pénétration dans l'organisme est l'inhalation. 50 % de la quantité inhalée est absorbée.

Le benzène est rapidement distribué via le sang à l'ensemble de l'organisme. Du fait de ses propriétés lipophiles, les concentrations tissulaires seront plus élevées dans la moelle osseuse et dans la graisse.

Le benzène est éliminé sous une forme inchangée dans les urines (1 %) et dans l'air expiré (10 à 50 %) selon l'activité physique et l'importance du tissu adipeux. La fraction expirée augmente avec l'exposition du fait d'une saturation des voies métaboliques.

##### o Effets systémiques

L'inhalation de benzène provoque des troubles neuropsychiques communs à ceux observés avec les autres solvants et regroupés sous le terme « syndrome psycho-organique » : irritabilité, diminution des capacités d'attention et de mémorisation, syndrome dépressif, troubles du sommeil...

Par ailleurs, de nombreuses études ont mis en évidence des effets hémotoxiques et immunotoxiques. L'atteinte de la moelle osseuse est un des tous premiers signes de la toxicité chronique du benzène qui peuvent évoluer vers une leucémie.

##### o Effets cancérigènes / mutagènes / reprotoxiques

###### Effets cancérigènes

De très nombreux rapports de cas et plusieurs études épidémiologiques attestent le pouvoir leucomogène du benzène pour des expositions extrêmement variables.

D'après certaines études, une leucémie benzénique serait toujours précédée de troubles non malins ; plusieurs cas de leucémies après guérison d'épisodes antérieurs d'anomalies sanguines induites par le benzène ont été décrits.

Le benzène est classé en catégorie 1 (cancérigène chez l'homme) par l'Union Européenne et le CIRC et en catégorie A (cancérigène chez l'homme) par l'US-EPA. Selon le CLP modifié, le benzène est classé C1A (substance dans le potentiel cancérigène pour l'être humain est avéré, la classification dans cette catégorie s'appuyant largement sur des données humaines).

###### Mutagenèse

Aucune relation ne peut être actuellement établie entre les types de lésions chromosomiques observées in vitro et les effets sur la santé, ni même entre l'existence de lésions chromosomiques et la survenue ultérieure éventuelle d'un état pathologique.

Selon le CLP modifié, le benzène est classé M1B pour la mutagenicité (substance dans la capacité d'induire des mutations héréditaires est avérée ou qui sont à considérer comme induisant des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains).

###### Effet sur la reproduction et le développement

Le benzène passe la barrière placentaire et est retrouvé dans la moelle osseuse du fœtus à des niveaux supérieurs ou égaux à ceux mesurés chez la mère exposée par inhalation.

Cependant, les effets par inhalation du benzène sur la reproduction ne sont pas suffisants pour établir une relation causale.

##### o Classification et phrases de risque

- N° CAS : 71-43-2
- Etiquetage : T (toxique)
- Phrases de risque : R45 : peut causer le cancer – R46 : peut causer des altérations génétiques héréditaires – R11 : facilement inflammable – R36/38 : irritant pour les yeux et la peau – R48/23/24/25 : également toxique : risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion – R65 : nocif : peut provoquer une atteinte des poumons en cas d'ingestion.

- Phrases de risque selon le règlement CE n°1272/2008 : H225 : liquide et vapeurs très inflammables – H350 : peut provoquer le cancer – H340 : peut induire des anomalies génétiques – H372 : risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'exposition répétées ou d'une exposition prolongée – H304 : peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires – H319 : provoque une sévère irritation des yeux – H315 : provoque une irritation cutanée.

### 5.5. Valeurs de référence

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Benzène	Inhalation	A Seuil	30 µg/m <sup>3</sup> (US EPA, 2003) 9,7 µg/m <sup>3</sup> (ATSDR, 2007) 3 µg/m <sup>3</sup> (OEHHA, 2014) 10 µg/m <sup>3</sup> (ANSES 2008)	Lymphocytes Lymphocytes Système sanguin, effets sur le développement, système nerveux
		Sans seuil	2,2 - 7,8.10 <sup>-6</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (US EPA, 1998) 4,4 - 7,5. 10 <sup>-6</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (OMS, 1999) 5.10 <sup>-6</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (RIVM, 2000) 2,9.10 <sup>-5</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (OEHHA, 1988) TC05 = 15 mg/m <sup>3</sup> (Health Canada,1991)	Leucémie Leucémie Système hématopoïétique Leucémie
			2,6 10 <sup>-5</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (ANSES,2014)	Leucémie
			A Seuil	4 µg/kg/j (USEPA, 2003) 0,5 µg/kg/j (ATSDR 2007)
	Ingestion	Sans seuil	3,3 µg/kg/j (RIVM 2001) 0,015 mg/kg/j (US EPA 2000) 0,0834 mg/kg/j (Santé Canada 2010)	Leukemia cancérogène:lymphome malin (rat femelle), l'hyperplasie de la moelle hématopoïétique (rat male)

La valeur limite pour la protection de la santé humaine rapportée dans l'article R.221-1 du code de l'environnement est de 5 µg/m<sup>3</sup>, et l'objectif de qualité de 2 µg/m<sup>3</sup>.

Les VTR retenues sont les suivantes :

- Pour les effets à seuil : **10 µg/m<sup>3</sup> (ANSES, 2008)**
- Pour les effets sans seuil : **2,6.10<sup>-5</sup> (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup> (ANSES 2014).**

**5.6. Cas du formaldéhyde**

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Formaldéhyde	Inhalation	A Seuil	10 µg/m <sup>3</sup> (ATSDR, 1999) 9 µg/m <sup>3</sup> (OEHHA, 2008) 123 µg/m <sup>3</sup> (ANSES 2018)	Epithélium nasal Effets oculaires
		Sans seuil	1,3.10 <sup>-5</sup> (µg/m <sup>3</sup> )-1 (US EPA, 1990) 6.10 <sup>-6</sup> (µg/m <sup>3</sup> )-1 (OEHHA, 2002) 5,26E-06 (µg/m <sup>3</sup> )-1 (Health Canada, 2000)	Epithélium nasal Tumeurs nasales
	Ingestion	A Seuil	0,15 mg/kg/j	Estomac
		Sans seuil	-	

Les VTR retenues sont les suivantes :

- Pour les effets à seuil : **123 µg/m<sup>3</sup> (ANSES, 2018)**
- Pour les effets sans seuil : **5,26E-06 (µg/m<sup>3</sup>)-1 (Santé CANADA 2000)**

## 6. ACIDE CHLORHYDRIQUE

(source : « Fiche toxicologique n° 13 : chlorure d'hydrogène et solutions aqueuses, INRS, édition 2010 »).

### 6.1. Comportement

- o Contribuent au phénomène des pluies acides,

### 6.2. Effets sur la santé

- o Effets généraux

La substance est corrosive pour les yeux, la peau et les voies respiratoires.

- o Pénétration et devenir dans l'organisme

Après inhalation ou ingestion, l'acide est rapidement dissocié en ions hydrogène et chlorure, ces derniers entrant dans le pool corporel, l'excédent étant éliminé dans l'urine.

- o Effets systémiques

L'exposition répétée à l'acide chlorhydrique peut entraîner des effets irritatifs :

- Dermate d'irritation et conjonctivite,
- Ulcérations de la muqueuse nasale et orale, épistaxis, gingivorragies,
- Erosions dentaires,
- Bronchite chronique.

- o Effets cancérogènes / mutagènes / reprotoxiques

L'acide chlorhydrique n'est pas classé pour provoquer de tels effets.

### 6.3. Classification et phrases de risque

- o N° CAS : 7647-01-0
- o Etiquetage : C (corrosif)
- o Phrases de risque : R34 : provoque des brûlures - R 37 : Irritant pour les voies respiratoires
- o Phrases de risque selon le règlement CE n°1272/2008 : H314 : provoque des brûlures de la peau et lésions oculaires – H335 : peut irriter les voies respiratoires

### 6.4. Valeurs de référence

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Acide chlorhydrique	Inhalation	A Seuil	20 µg/m <sup>3</sup> (USEPA, 1995) 9 µg/m <sup>3</sup> (OEHHA, 2005)	Syst. respiratoire
		Sans seuil	-	-

Conformément au schéma de sélection des VTR, la VTR retenue est celle de l'USEPA : **20 µg/m<sup>3</sup>**

## **7. ACIDE FLUORHYDRIQUE**

(source : « Acide fluorhydrique – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, septembre 2011 », « Fiche toxicologique n°6 : fluorure d'hydrogène et solutions aqueuses, INRS, mise à jour 2011 »).

### **7.1. Comportement**

- Contribue à l'acidification du milieu
- Réagit avec beaucoup de composés de l'atmosphère, présents sous forme d'aérosol ou de vapeur ; toutefois, aucune information n'est connue sur le comportement de l'acide fluorhydrique vis-à-vis des substances communément présentes dans l'atmosphère

### **7.2. Effets sur la santé**

- Effets généraux
  - substance très toxique,
  - corrosif pour les yeux, la peau et les voies respiratoires en cas d'exposition aiguë,
  - calcémie induisant de l'hypocalcémie pouvant entraîner une défaillance cardiaque et rénale,
  - l'exposition au-dessus de la limite d'exposition professionnelle peut entraîner la mort.

- Pénétration et devenir dans l'organisme

La substance peut être absorbée par l'organisme par inhalation et à travers la peau et par ingestion. L'inhalation du gaz peut causer un œdème pulmonaire. Une exposition prolongée au fluorure d'hydrogène provoque essentiellement une irritation accompagnée de lésions hépatiques, rénales, osseuses et dentaires. En cas d'expositions prolongées ou répétées, la substance peut également provoquer de la fluorose.

- Effets systémiques

Chez l'homme, l'HF induit des irritations oculaires, des larmolements, une vision trouble, une dyspnée, des nausées, des douleurs épigastriques, des vomissements et des troubles mentaux.

La principale cible de l'acide fluorhydrique est constituée par les dents et le squelette.

- Effets cancérogènes / mutagènes / reprotoxiques

Les données chez l'homme rapportent une augmentation de l'incidence des cancers pulmonaires, de la vessie et du pancréas, mais les co-expositions au cours de ces études ne permettent pas de conclure. L'Union Européenne, qui est le seul organisme ayant évalué ces effets, juge que les résultats disponibles ne permettent pas de le classer : cancérogène possible chez l'homme.

Les données disponibles sur la mutagénicité des fluorures sont en faveur de l'absence d'effet génotoxique direct de l'ion fluorure.

Concernant les effets sur la reproduction, peu d'études sont disponibles. Le fluorure de sodium diminue la fertilité du mâle mais n'a pas d'effet sur le développement du fœtus.

### **7.3. Classification et phrases de risque**

- N° CAS : 7664-39-3
- Etiquetage : T+ (très toxique par inhalation), C (corrosif)
- Phrases de risque : R26/27/28 : très toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion - R35 : provoque de graves brûlures
- Phrases de risque selon le règlement CE n°1272/2008 : H330 : mortel par inhalation – H310 : mortel par contact cutané – H300 : mortel en cas d'ingestion – H314 : provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.

#### 7.4. Valeurs de référence

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Acide fluorhydrique	Inhalation	A Seuil	14 µg/m <sup>3</sup> (OEHHA, 2003)	Système respiratoire Os et dents
		Sans seuil	-	-

L'OMS propose une valeur guide de 1 µg/m<sup>3</sup> en valeur annuelle, mais il ne s'agit pas d'une VTR.

La valeur de **14 µg/m<sup>3</sup>** proposée par l'OEHHA est moins pénalisante mais sera retenue dans la suite de l'étude puisqu'il s'agit d'une VTR. Il s'agit de la valeur retenue dans la fiche de données toxicologiques et environnementales de l'INERIS.

## **8. AMMONIAC**

(source : « Ammoniac – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mai 2012 », « Fiche toxicologique n°16 : ammoniac et solutions aqueuses, INRS, édition 2007 »).

### **8.1. Comportement**

- Dans l'atmosphère, l'ammoniac est impliqué dans la formation d'aérosols ;
- Les dépôts d'ammoniac sur les forêts constituent à la fois un facteur d'acidification des sols et un apport d'azote qui peut provoquer une modification de la flore de certains écosystèmes. Peut causer des changements de pH aux systèmes écologiques aqueux
- Pouvoir de bioaccumulation négligeable.

### **8.2. Effets sur la santé**

- Pénétration et devenir dans l'organisme

Chez l'homme, la majorité de l'ammoniac inhalé est retenue au niveau des voies respiratoires supérieures et peut être éliminée dans l'air expiré. À faibles concentrations, l'ammoniac inhalé se dissout essentiellement dans le mucus des voies aériennes supérieures. Pour des expositions à des concentrations élevées, il existe une capacité d'adaptation ou un phénomène de saturation. L'ammoniac est faiblement distribué dans l'organisme et est métabolisé lors du premier passage hépatique en urée et glutamine. L'excrétion de l'ammoniac est majoritairement urinaire, sous forme d'urée ou de dérivés urinaires de l'ammonium. L'excrétion dans les selles ou via l'air exhalé est mineure.

- Effets systémiques

La seule étude disponible chez l'homme rapporte uniquement une aggravation des symptômes respiratoires lors d'une exposition professionnelle.

Chez l'animal, l'ammoniac induit des irritations nasales, une inflammation pulmonaire, des altérations histologiques hépatiques et une calcification des tubules rénaux.

- Effets cancérogènes

Chez l'homme comme chez l'animal, les rares études disponibles ne permettent pas de conclure.

- Effets sur la reproduction et le développement

Il n'existe pas de donnée chez l'homme et la seule étude chez le porc ne montre pas d'effet.

### **8.3. Classification et phrases de risque**

- N° CAS : 7664-41-7
- Etiquetage : T (toxique), N (dangereux pour l'environnement)
- Phrases de risque : R 23 : toxique par inhalation - R 34 : provoque des brûlures - R 50 : très toxique pour les organismes aquatiques
- Phrases de risque selon le règlement CE n°1272/2008 : H314 : provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves – H335 : peut irriter les voies respiratoires

#### 8.4. Valeurs de référence

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Ammoniac	Inhalation	A Seuil	70 µg/m <sup>3</sup> (ATSDR, 2004) 200 µg/m <sup>3</sup> (OEHHA, 2000) 500 µg/m <sup>3</sup> (ANSES 2018)	Système respiratoire
		Sans seuil	-	-

Nous retenons la VTR de l'ANSES de 500 µg/m<sup>3</sup>.

## **9. HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES**

(sources :

« Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) – Evaluation de la relation dose-réponse pour les effets cancérigènes : approche substance par substance et approche par mélanges – Evaluation de la relation dose-réponse pour des effets non cancérigènes : Valeurs Toxicologiques de Référence », INERIS, rapport du 18 décembre 2003 mis à jour le 3 janvier 2006 ;

« Avis de l'Agence Française de sécurité sanitaire des aliments relatifs à une demande d'avis sur l'évaluation des risques présentés par le benzo(a)pyrène (B(a)P) et par d'autres hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), présents dans diverses denrées ou dans certaines huiles végétales, ainsi que sur les niveaux de concentration en HAP dans les denrées au-delà desquels des problèmes de santé risquent de se poser »

« Naphtalène – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mars 2011 »)

### **9.1. Comportement**

Les HAP représentent une famille de plus d'une centaine de molécules organiques comportant au moins 2 cycles aromatiques.

L'USEPA avait identifié, en 1984, 16 HAP pour déterminer le niveau de contamination des eaux polluées. Cette liste a ensuite été étendue au naphtalène.

Les propriétés physiques et chimiques des HAP varient selon leur poids moléculaire et leur structure.

Dans l'air, les HAP existent soit sous forme gazeuse, pour les formes les plus légères, soit fixés aux particules.

En général les HAP qui ont 2 ou 3 cycles (naphtalène, acénaphène, acénaphylène, anthracène, fluorène, phénanthrène soit ceux à bas poids moléculaire) sont présents dans l'air sous forme principalement gazeuse. Ceux qui ont 4 cycles (fluoranthène, pyrène, chrysène, benzo(a)anthracène soit ceux qui ont un poids moléculaire moyen) existent à la fois sous forme gazeuse et particulaire alors que ceux qui ont 5 cycles ou plus (benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)pérylène soit ceux qui ont un haut poids moléculaire) sont retrouvés principalement sous forme particulaire.

Ils possèdent un important potentiel d'adsorption sur les particules en suspension dans l'air ou dans l'eau.

Ce sont des composés chimiques stables mais photosensibles produisant alors des dérivés oxydés (quinones, cétones, acides...). Les HAP fixés sur des particules sont plus résistants aux réactions photochimiques que ceux présents dans l'air.

Dans le sol, les microorganismes sont capables de dégrader les HAP.

La demi-vie des hydrocarbures est très variable selon les HAP, allant de quelques mois à plusieurs années.

### **9.2. Effets sur la santé**

#### **o Pénétration et devenir dans l'organisme**

Le passage des HAP dans l'organisme humain s'effectue par inhalation, ingestion, mais également à travers la peau. En milieu professionnel exposé, la peau et les poumons sont des voies de pénétration prépondérantes tandis que l'ingestion est la principale voie d'exposition pour la population générale.

Le taux d'absorption par inhalation est fonction du type de HAP, de la taille des particules sur lesquelles les HAP sont absorbés.

Les HAP se répartissent dans tout l'organisme après l'exposition, en particulier dans les organes riches en graisses.

#### **o Effets systémiques**

Les effets systémiques à seuil pouvant être observés sont des troubles hématologiques, immunologiques et hépatiques, le développement d'athérosclérose.

o Effets cancérogènes

Plusieurs études épidémiologiques en milieu professionnel ont montré que les HAP sont impliqués dans l'apparition de nombreuses formes de cancers chez l'homme (cancer du scrotum par absorption cutanée, cancers de l'œsophage et de l'estomac par ingestion, cancer de la vessie, des voies nasales ou du poumon par inhalation).

Il est toutefois très difficile d'attribuer ces cancers à tel ou tel HAP, voire aux HAP en général, car les personnes atteintes sont soumises, le plus souvent à un mélange de polluants (divers HAP, mais aussi des métaux, surtout en milieu professionnel...). Malgré ces incertitudes, les confrontations entre les données épidémiologiques et les travaux expérimentaux menés sur des animaux ont conduit les instances internationales compétentes à classer certains HAP comme des cancérogènes probables ou possibles.

Le benzo(a)pyrène est classé en catégorie 2A par le CIRC, B2 par l'USEPA et 2 par l'Union Européenne (cancérogène probable chez l'homme).

Le naphthalène est classé en catégorie 2B par le CIRC (cancérogène possible chez l'homme), catégorie C par l'USEPA (cancérogène possible chez l'homme) et catégorie 3 par l'Union Européenne (cancérogène possible chez l'homme).

Selon le CLP modifié, le benzo[a]pyrène est classé C1A (substance dans le potentiel cancérogène pour l'être humain est avéré, la classification dans cette catégorie s'appuyant largement sur des données humaines) et le naphthalène C2 (substance suspectée d'être cancérogène).

o Effets sur la reproduction et le développement

Les études chez l'animal ont montré que certains HAP (administrés à des doses très supérieures à celles induisant un effet cancérogène) pouvaient avoir des effets sur le développement fœtal dans certaines conditions expérimentales et entraîner des troubles de la fertilité sans qu'il ait été possible d'établir une dose sans effet néfaste.

Seuls le benzo(a)pyrène et le chrysène sont classés par l'Union Européenne comme mutagène et/ou toxique pour la reproduction (catégorie 2 pour le benzo(a)pyrène pour la mutagénicité et les effets sur la reproduction et catégorie 3 pour le chrysène pour la mutagénicité).

Selon le CLP modifié, le benzo[a]pyrène est classé M1B (substance dans la capacité d'induire des mutations héréditaires est avérée ou qui sont à considérer comme induisant des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains) pour la mutagénicité et R1B (substance présumée toxique pour la reproduction humaine) pour la toxicité sur la reproduction.

Le document « Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons », Environmental Health Criteria 202, OMS, 1998, cite les composés suivants comme étant génotoxiques :

benzo(a)anthracène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)pyrène, chrysène, dibenzo(a,h)anthracène, fluoranthène, indéno (1,2,3-CD)pyrène

### **9.3. Classification et phrases de risque**

o Benzo(a)pyrène :

- N° CAS : 50-32-8
- Etiquetage : T (toxique) – N (dangereux pour l'environnement)
- Phrases de risque : R45 : peut causer le cancer – R46 : peut causer des altérations génétiques héréditaires – R60 : peut altérer la fertilité – R61 : risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant – R43 : peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau – R50/53 : très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique
- Phrases de risque selon le règlement CE n°1272/2008 : H317 : peut provoquer une allergie cutanée – H340 : peut induire des anomalies génétiques – H350 : peut provoquer le cancer – H360 : peut nuire à la fertilité ou au fœtus – H410 : très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme

o Naphtalène :

- N° CAS : 91-20-3
- Etiquetage : Xn (nocif) – N (dangereux pour l'environnement)

- Phrases de risque : R22 : nocif en cas d'ingestion – R40 : effet cancérigène suspecté – preuves insuffisantes – R50/53 : très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.
- Phrases de risque selon le règlement CE n°1272/2008 : H351 : susceptible de provoquer le cancer - H312 : nocif par contact cutané – H400 : très toxique pour les organismes aquatiques – H410 : très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.

#### 9.4. Valeurs de référence

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Benzo(a)pyrène	Inhalation	A Seuil	2.10 <sup>-3</sup> µg/m <sup>3</sup> (US EPA 2017)	Augmentation de la mortalité embryonnaire fœtale -
		Sans seuil	1,1.10 <sup>-3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (OEHHA, 1999, retenue par l'ANSES) 8,7.10 <sup>-2</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (OMS, 2000) CT <sub>0,05</sub> = 1,3 mg/m <sup>3</sup> (Santé Canada, 1993) 6.10 <sup>-4</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> USEPA 2017	Système respiratoire Poumons Nez, larynx, trachée  Nez, larynx, trachée, pharynx
	Ingestion	A Seuil	0,0003 mg/kg/j (US EPA 2017)	Altérations neurocomportementales
		Sans seuil	7,3 (mg/kg/j) <sup>-1</sup> (USEPA, 1994) 0,2 (mg/kg/j) <sup>-1</sup> (RIVM, 2001) 12 (mg/kg/j) <sup>-1</sup> (OEHHA, 2002) 1 (mg/kg/j) <sup>-1</sup> (USEPA 2017)	estomac, multiples multiple estomac Foie et estomac

Conformément au guide de l'INERIS relatif aux HAP, nous retiendrons pour les effets sans seuil, l'approche par facteurs d'équivalence toxiques. Le **benzo(a)pyrène** présentant le **FET le plus important, ce composé est pris en référence.**

Les valeurs retenues pour le **benzo(a)pyrène** sont (« Point sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) – mars 2009 », rapport d'étude n°DRC-08-94380-11776C) :

- A seuil
  - pour l'**inhalation** : **2.10<sup>-3</sup> µg/m<sup>3</sup>** (USEPA 2019).
  - pour l'**ingestion** : **3.10<sup>-4</sup> (mg/kg/j)<sup>-1</sup>** (USEPA 2017),
- Sans seuil
  - pour l'**inhalation** : **1,1.10<sup>-3</sup> (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>** (OEHHA, 1999, valeur retenue par l'ANSES).
  - pour l'**ingestion** : **1 (mg/kg/j)<sup>-1</sup>** (USEPA 2017),

A noter pour le benzo(a)pyrène que la valeur cible qualité de l'air est de 1 ng/m<sup>3</sup> (art. R.221-1 du Code de l'Environnement).

## 10. DIOXINES, FURANES ET PCB DIOXIN-LIKE

(source : « Dioxines – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, avril 2006 » ; « Exposition aux dioxines de la population vivant à proximité des UIOM – Etat des connaissances et protocole d'une étude d'exposition – InVS – AFSSA – Juin 2003 » ; « Les dioxines dans l'environnement et la santé, Agence française de sécurité sanitaire environnementale, juin 2003 » ; « Dioxines dans l'environnement – Quels risques pour la santé ? Expertise collective INSERM, 2000 »)

Sont regroupés sous le terme dioxines et furanes les polychlorodibenzo-p-dioxines (PCDD) et les polychlorodibenzofuranes (PCDF) qui sont des composés aromatiques tricycliques chlorés. Il existe de nombreux composés en fonction du nombre et de la position des atomes de chlore, avec 210 congénères différents identifiés (75 PCDD et 135 PCDF).

17 congénères (7 PCDD et 10 PCDF) sont habituellement suivis en raison de leur toxicité avérée ; ces composés comptent un minimum de 4 atomes de chlore en positions 2, 3, 7 et 8. L'augmentation du nombre d'atome de chlore de 4 à 8 conduit généralement à une diminution du potentiel toxique.

Le composé le plus toxique est le 2, 3, 7, 8-tétrachlorodibenzo-p-dioxine (2,3,7,8-TCDD) qui sert de référence.

Les dioxines-furanes étant convertis en équivalent I-TEQ (International Toxic Equivalent Quantity) par des facteurs d'équivalent toxiques, nous retiendrons par la suite notamment pour les valeurs toxicologiques de référence la 2,3,7,8-TCDD. Il existe pour les dioxines deux séries de facteurs d'équivalence toxique :

- l'OTAN a fixé en 1988 des facteurs pour 7 congénères de PCDD (sur 75) et 10 de PCDF (sur 135),
- l'OMS, depuis 1997, a modifié des facteurs d'équivalence toxique au vu de nouvelles données toxicologiques et a ajouté des facteurs pour 12 congénères de PCB dits « dioxin-like ».

### 10.1. Comportement

Les dioxines atteignent les eaux douces suite aux dépôts atmosphériques, lors de l'érosion des sols ou suite à des rejets atmosphériques. En raison de leur caractère hydrophobe, les dioxines se retrouvent essentiellement sur les particules en suspension et dans les sédiments associés à la matière organique dissoute. Les concentrations de dioxines libres dissoutes dans l'eau sont très faibles. Les eaux de surfaces perdent leur charge en dioxines par sédimentation des particules (le sédiment est considéré comme le milieu où les dioxines peuvent être définitivement emprisonnées), par volatilisation (processus limité par les faibles concentrations de dioxines dissoutes) ou par photodégradation, un processus dont l'efficacité diminue lorsque la profondeur augmente.

Les PCDD/F de l'atmosphère se déposent sur le sol et sur les végétaux en partie sous forme gazeuse ou vapeur, en partie sous forme solide adsorbée sur des particules ou poussières, dite phase particulaire ; le rapport entre ces deux formes, dit ratio V/P, dépend des caractéristiques physiques de chaque congénère (température de volatilisation..). Le dépôt gazeux est la voie prédominante des congénères faiblement chlorés (tétra à hexa-), le dépôt particulaire celle des dérivés à 7 et 8 chlores.

Les dioxines possèdent les caractéristiques physico-chimiques suivantes :

- une forte **stabilité** chimique et métabolique (c'est-à-dire vis-à-vis des enzymes), qui explique leur faible dégradation dans le milieu et les organismes vivants,
- une forte **liposolubilité** ou lipophilie, due à leur caractère peu polaire, ce que traduit un coefficient de partage octanol/eau (Kow) élevé ; elle entraîne un passage facile des dioxines par diffusion passive à travers les membranes biologiques des êtres vivants, donc entre le milieu et les organismes qui y habitent (par transfert cutané ou branchial par exemple), mais aussi lors d'ingestion d'un aliment végétal ou animal, à travers la muqueuse digestive. Ce passage facile des dioxines à travers les membranes biologiques correspond à la notion de bio-disponibilité élevée propre à ces contaminants dits « bio-cumulatifs ».

#### ○ Persistance

La persistance des PCDD/F dans les sols est très longue : la cinétique de disparition est très probablement bi-phasique avec une première phase plus rapide et une seconde très lente, ce qui permet d'estimer la demi-vie de la TCDD à environ 10 ans, les congénères plus chlorés persistant encore plus longtemps.

La photodégradation des dioxines semble être la seule réaction chimique qui conduise à l'élimination des dioxines dans l'environnement. Une déchloration par photolyse et la photooxydation en présence de radicaux hydroxyles, d'ozone et de PAN (peroxy acetyl nitrate) sont deux types de réaction possibles. Ces réactions, leurs vitesses, leurs produits sont encore mal caractérisés.

## 10.2. Effets sur la santé

### o Pénétration dans l'organisme

Globalement, il est admis que l'exposition moyenne des populations se fait à plus de 95 % par voie alimentaire, en particulier par ingestion de graisses animales (lait et produits laitiers, viandes, poissons) en raison du caractère fortement liposoluble des dioxines et furanes. L'apport le plus important est dû aux produits d'origine bovine ; les volailles et le porc constituent des sources moindres en raison de leur mode d'élevage en bâtiments, sauf en cas de contamination des aliments.

### o Effets systémiques

Un risque augmenté de maladies cardiovasculaires et une modification des taux de lipides sanguins ont été observés dans certaines études, de même qu'un risque augmenté de diabète.

D'autres effets ont été décrits comme des modifications de la fonction thyroïdienne, des effets neurologiques ou neuropsychologiques, mais les résultats reposent sur peu d'observations.

A des doses relativement élevées, les dioxines entraînent des effets dermatologiques (chloracné) mais il ne semble pas exister de relation directe entre le niveau d'exposition et cette manifestation.

### o Effets cancérogènes

De nombreuses études épidémiologiques ont évalué les effets des dioxines sur le développement de cancer chez l'homme. Pour les populations professionnelles, un excès de risque de l'ordre de 40 % est observé pour tous les cancers confondus. Des cancers du naso-pharynx, du poumon, du foie, de l'estomac, de la vessie, de la peau, du testicule, de l'ovaire, de la thyroïde, du cerveau ainsi que différentes formes de leucémie ont été associées au moins une fois à l'exposition à la 2,3,7,8-TCDD, mais il ne semble pas qu'un cancer particulier prédomine dans les populations exposées.

Il a été montré une corrélation entre l'exposition aux dioxines et la survenue de lymphomes non hodgkiniens ; les lymphomes non hodgkiniens constituent des tumeurs cancéreuses se développant dans les ganglions lymphatiques et parfois dans différents organes (rate, foie,...).

Chez l'animal, les sites de cancers induits par l'exposition aux dioxines/furanes sont variables suivant les espèces, ce qui rend difficile la transposition à l'homme.

L'ensemble des dioxines est ainsi potentiellement cancérogène, la dioxine de Seveso (TCDD) étant classée cancérogène certain (groupe 1) par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC -1997).

### o Effets sur la reproduction et le développement

Les effets sur la reproduction et le développement ont fait l'objet de résultats discordants et on ne peut pas considérer que ces effets soient formellement démontrés en l'état actuel des connaissances.

Ont été évoquées une augmentation des avortements spontanés et des malformations congénitales, une baisse du ratio des sexes à la naissance (avec une prédominance des filles sur les garçons), une atteinte de la fertilité, une diminution du poids de naissance, un retard de la maturation sexuelle et du développement comportemental.

**10.3. Classification et phrases de risque**

- o N° CAS : 1746-01-6 (TCDD)
- o Phrases de risque : -

**10.4. Valeurs de référence**

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Dioxines – furanes (2,3,7,8-TCDD)	Inhalation	A seuil	4.10 <sup>-5</sup> µgTEQ/m <sup>3</sup> (OEHHA, 2000) (dioxines et composés dioxine like)	Foie, effet sur l'appareil respiratoire, sur la reproduction, le système immunitaire, le système hématopoétique
		Sans seuil	38 (µgTEQ/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (OEHHA, 2002) (2,3,7,8-TCDD)	Cancer hépatique
	Ingestion	A seuil	1 à 4 pgTEQ/kg.j (OMS, 2000; RIVM, 2001) (dioxines et composés dioxine like) 1 pgTEQ/kg.j (ATSDR, 1998) (2,3,7,8-TCDD) 0,7 pgTEQ/kg.j (USEPA, 2012) (2,3,7,8-TCDD) 10 pg/jg/j (OEHHA, 2000)	Atteintes du développement psychomoteur, effets sur la reproduction et le système immunitaire, cancers  Effets prostatique et développemental – effets sur la reproduction et le développement
		Sans seuil	1,3.10 <sup>5</sup> (mgTEQ/kg.j) <sup>-1</sup> (OEHHA, 2002) (2,3,7,8-TCDD)	Cancer hépatique

L'ATSDR a fixé une MRL pour la dioxine de référence (la 2, 3, 7, 8-Tetrachlorodibenzo-P-Dioxine) pour l'exposition par ingestion de 1,0.10<sup>-6</sup> µg/kg/j qui constitue également la limite inférieure de la VTR proposée par l'OMS. L'OMS recommande un seuil d'exposition maximal de 4 pg/kg/j. Les valeurs de l'OMS prennent en compte d'autres congénères, les PCB dits « dioxines-like ».

En l'état actuel des connaissances, il n'a pas été démontré d'action directe des dioxines sur le matériel génétique. Les VTR devraient donc toutes être construites, comme celles de l'OMS et de l'ATSDR, sous l'hypothèse d'un seuil de toxicité. Toutefois, leur mécanisme d'action, en partie élucidé, fait intervenir des interactions cellulaires et biochimiques complexes dont l'interprétation occasionne des désaccords au sein de la communauté scientifique.

L'approche de l'OMS au cours de cette étude sera privilégiée puisque le mécanisme d'action cancérigène des dioxines est non génotoxique. Cela conduit à reconnaître un seuil de toxicité en dessous duquel l'exposition n'a pas de conséquences néfastes pour l'organisme.

**Les dioxines/furanes seront donc considérés dans la suite de l'étude comme un toxique à seuil (avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France).**

**La valeur de l'USEPA 0,7 pgTEQ/kg/j est retenue (recommandation ANSES).**

La voie d'exposition par inhalation est peu importante en raison du caractère fortement liposoluble et facilement absorbable par voie digestive des dioxines/furanes. Pour cette voie d'exposition, il sera également retenu dans la suite de l'étude que les dioxines/furanes agissent comme un toxique à seuil. La VTR de 4.10<sup>-5</sup> µg/m<sup>3</sup> définie par l'OEHHA sera retenue.

## **11. ANTIMOINE**

(source : « Antimoine et ses dérivés – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour avril 2007 »).

### **11.1. Comportement**

L'antimoine peut se présenter sous différentes formes : corps simple inorganique, inorganique trivalent ou pentavalent, organique pentavalent.

La solubilité de l'antimoine est très variable en fonction de la forme sous laquelle il se trouve. L'antimoine brut est insoluble dans l'eau. Il en est de même pour les composés inorganiques de l'antimoine,

L'essentiel de l'antimoine se trouve dans le sol, où il se fixe fortement aux particules qui contiennent du fer, du manganèse ou de l'aluminium.

### **11.2. Effets sur la santé**

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

L'absorption et l'élimination pulmonaire étant lentes, une grande partie de l'antimoine particulaire s'accumule au niveau des poumons. Les teneurs les plus élevées sont trouvées chez les travailleurs en contact avec l'antimoine.

Après absorption, la forme trivalente se loge préférentiellement dans les globules rouges, alors que l'antimoine pentavalent est transporté dans le plasma (ATDSR, 1992). Chez l'homme, après inhalation, les études montrent que le SbIII s'accumule dans le foie plus rapidement que la forme pentavalente, qui se loge essentiellement dans le squelette (Health Canada, 1997).

La forme trivalente administrée par voie orale à l'homme en tant qu'antiparasitaire s'accumule dans les globules rouges, le foie, la thyroïde et le cœur.

L'antimoine ne s'accumule pas dans l'organisme. Les taux et les voies d'excrétion diffèrent en fonction des espèces animales, de la voie d'administration et de la valence de l'antimoine. Il est éliminé rapidement par voie urinaire pour les dérivés pentavalents et très lentement par voie biliaire puis fécale pour les dérivés trivalents (ATDSR, 1992 ; INRS, 2004).

Le taux d'absorption par ingestion varie de 1 à 10% et les organes cibles principaux sont constitués par les poumons et le foie.

#### o Effets systémiques

Les effets de l'antimoine sur la santé humaine sont difficiles à mettre en évidence dans la population. En effet, l'exposition de celle-ci est faible et les symptômes liés à l'antimoine sont peu spécifiques et rares.

L'inhalation répétée d'antimoine peut provoquer des signes d'atteinte muqueuse (irritations broncho-pulmonaire et des voies aériennes supérieures du type épistaxis, rhinites...)

L'exposition chronique à des doses peu élevées de composés d'antimoine est principalement associée à des effets myocardiques. L'ingestion de composés d'antimoine peut entraîner l'apparition de troubles gastro-intestinaux et d'ictères légers au bout de quelques semaines, et être à l'origine de problèmes rénaux.

L'effet immunotoxique de l'antimoine est par ailleurs supposé.

#### o Effets cancérigènes

L'effet cancérigène est difficile à mettre en évidence, compte tenu de la fréquente coexposition à l'arsenic.

Selon le CLP modifié, le trioxyde d'antimoine est classé en catégorie C2 (substance suspectée d'être cancérigène).

Le CIRC classe le trioxyde d'antimoine dans le groupe 2B (l'agent pourrait être cancérigène pour l'homme). Le trisulfure d'antimoine est classé dans le groupe 3 (l'agent ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme).

L'antimoine n'est pas classé pour la génotoxicité.

#### o Effets sur la reproduction et le développement

Certaines études tendent à indiquer que le trioxyde d'antimoine pourrait interférer avec le développement embryonnaire et fœtal, mais cela reste à prouver.

### 11.3. Classification et phrases de risque

- o N° CAS : 7440-36-0 (Sb) – 1309-64-4 (Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- o Etiquetage : Xn (nocif) (pour Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – Xn (nocif) et N (dangereux pour l'environnement) pour les composés d'antimoine
- o Phrases de risque :
  - R20/22 : nocif en cas d'inhalation ; R51/53 : Toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique
  - R40 : possibilité d'effets irréversibles (pour Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

### 11.4. Valeurs de référence

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Antimoine	Inhalation	A seuil	0,3 µg/m <sup>3</sup> (ATSDR 2019)	Foie (rats)
		Sans seuil	-	-
	Ingestion	A seuil	4.10 <sup>-4</sup> mg/kg/j (US EPA, 1987) 2.10 <sup>-4</sup> mg/kg/j (Health Canada, 1997) 6 µg/kg/j (OMS, 2006, retenue par l'ANSES)	Système sanguin Baisse de poids et appétit
		Sans seuil	-	-

Les VTR retenues sont :

- Pour l'**inhalation et les effets à seuil** : **0,3 µg/m<sup>3</sup>** (ATSDR 2019)
- Pour l'**ingestion et les effets à seuil** : **6 µg/kg/j** (OMS, 2006)

## **12. ARSENIC**

(source : « Arsenic et ses dérivés inorganiques – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour 07/04/2010 »).

### **12.1. Comportement**

L'arsenic existe sous différents degrés d'oxydoréduction : -3, 0, + 3, + 5. Mis à part les sulfures, les composés minéraux les plus courants sont les combinaisons avec l'oxygène : arsénites (As III) et arsénates (As V). L'arsenic forme également des composés organiques très stables, tant trivalents que pentavalents.

La mobilité de l'arsenic dans les sols est assez limitée. L'arsenic existe principalement sous forme oxydée : arséniate ou arsénite. La forme arséniate (degré d'oxydoréduction V) est majoritaire dans des conditions d'aération normale.

Dans l'air, l'arsenic existe principalement sous la forme de particules. Il est présent sous forme d'arsenic trioxyde et d'arsines (formes organiques volatiles). L'arsenic trivalent et les arsines méthylées peuvent subir, dans l'atmosphère, une oxydation vers l'état V. La photolyse n'est pas un processus important pour les composés de l'arsenic.

L'arsenic est persistant dans l'environnement.

### **12.2. Effets sur la santé**

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

L'arsenic inorganique est facilement absorbé par voies orale (> 90 %) et respiratoire (entre 30 et 34 %) ; l'absorption cutanée est négligeable. Une fois absorbé, il est transporté dans le sang et distribué rapidement dans tous les organes (principalement le foie et les reins).

L'arsenic a aussi la capacité de traverser la barrière placentaire. La métabolisation de l'arsenic passe par des réactions d'oxydation et de méthylation, jusqu'à obtention de métabolites méthyles (monométhyl MMA et diméthyl DMA), majoritairement éliminés via l'urine.

La toxicité de l'arsenic est intimement liée à son processus de métabolisation, avec une toxicité différentielle entre l'As(III) et l'As(V).

#### o Effets systémiques

Par voie orale, les effets chroniques de l'arsenic sont divers et variés : effets sur la peau, le système respiratoire (toux, rhinorhées, laryngites), cardiovasculaire (arythmies, péricardites, maladie de Raynaud, « Blackfoot disease »-gangrène), neurologique (neuropathies périphériques), gastro-intestinal, sanguin (anémie, leucopénie) et, un possible impact sur le développement de certains types de diabète.

Les effets sur la peau les signes les plus précoces traduisant une intoxication par l'arsenic. La grande majorité des informations disponibles, relatives à l'exposition par inhalation à l'arsenic, provient de situations professionnelles (fonderies, mines ou usines de produits chimiques) et rapporte des effets principalement au niveau de l'appareil respiratoire (emphysème, pneumoconiose), du système cardiovasculaire (maladie de Raynaud) et de la peau (hyperkeratose et hyperpigmentation), mais aussi au niveau du système nerveux périphérique (neuropathies, diminution de la conduction nerveuse).

#### o Effets cancérigènes

L'arsenic a été l'un des premiers composés chimiques reconnus comme cancérigène par le CIRC (groupe 1), l'US EPA (classe A) et l'Union Européenne (4 substances en Catégorie 1). Selon le CLP modifié, les composés de l'arsenic (pentaoxyde de diarsenic, trioxyde de diarsenic, arséniate de triéthyle) sont classés en catégorie C1A (substance dans le potentiel cancérigène pour l'être humain est avéré, la classification dans cette catégorie s'appuyant largement sur des données humaines).

Les principaux cancers liés à une exposition à l'arsenic sont les cancers de la peau, de la vessie, des poumons, des reins et du foie.

L'arsenic est clastogène in vitro et in vivo. Le mécanisme d'action génotoxique impliqué serait indirect, l'arsenic agissant au niveau de l'apoptose, de la réplication de l'ADN ou des enzymes de réparation, ou en tant qu'analogie du phosphore. Il n'est pas classé par l'Union européenne.

o Effets sur la reproduction et le développement

Ces effets ont été très peu étudiés chez l'homme. Toutefois pour des doses très faibles, avortements spontanés, mortalités fœtale et infantile tardive et faibles poids de naissance ont été mis en évidence ces dernières années. De même, des effets sur le développement intellectuel ont été observés. Chez l'animal, aucun effet sur la reproduction n'est observé ; des effets sur le développement sont principalement mis en évidence par inhalation, avec des pertes post-implantatoires et une diminution du nombre de fœtus viables.

L'hydrogéoarsénate de plomb est classé, selon le CLP modifié, en catégorie R1A pour la toxicité sur la reproduction (substance dont la toxicité pour la reproduction humaine est avérée ; la classification d'une substance dans cette catégorie s'appuie largement sur des études humaines).

### 12.3. Classification et phrases de risque

- o N° CAS : 7440-38-2 (arsenic) – 1327-53-3 (trioxyde d'arsenic) – 1303-28-2 (pentoxyde d'arsenic)
- o Phrases de risque :
  - Arsenic : R23/25 : toxique par inhalation et par ingestion - R50/53 : très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement (oxyde de cuivre)
  - Trioxyde d'arsenic : R45 : peut provoquer le cancer – R28 : très toxique en cas d'ingestion – R34 : provoque des brûlures - R50/53 : très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement (oxyde de cuivre)
  - Pentoxyde d'arsenic : R45 : peut provoquer le cancer - R23/25 : toxique par inhalation et par ingestion - R50/53 : très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement (oxyde de cuivre)

### 12.4. Valeurs de référence

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Arsenic inorganique	Inhalation	A seuil	1 µg/m <sup>3</sup> (RIVM, 2001) 1,5.10 <sup>-2</sup> µg/m <sup>3</sup> (OEHHA, 2008)	Syst. pulmonaire Effets sur le développement
		Sans seuil	4,3.10 <sup>-3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (USEPA, 199) 3,3.10 <sup>-3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (OEHHA, 1990) 1,5.10 <sup>-3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (OMS, 2000) 6,1.10 <sup>-3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (Santé Canada, 2004) 1,5.10 <sup>-4</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (TCEQ, 2012)	poumons
	Ingestion	A seuil	3.10 <sup>-4</sup> mg/kg/j (ATSDR, 2007) 3.10 <sup>-4</sup> mg/kg/j (USEPA, 1993) 1.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (RIVM, 2001) 3,5.10 <sup>-6</sup> mg/kg/j (OEHHA, 2008) 0,45.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (FoBiG, 2009)	Syst. cutané, gastro-intestinal Système cutané Système cutané Effets sur le développement Système cutané
		Sans seuil	1,5 (mg/kg/j) <sup>-1</sup> (USEPA, 1998) 1,5 (mg/kg/j) <sup>-1</sup> (OEHHA, 2009) 2,5 (mg/kg/j) <sup>-1</sup> (Santé Canada, 2004)	Système cutané

Les VTR retenues sont celles présentes dans le rapport INERIS « Arsenic et ses dérivés inorganiques – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, mise à jour 07/04/2010 »:

- Pour l'**inhalation et les effets à seuil** : **1,5.10<sup>-2</sup> µg/m<sup>3</sup>** (OEHHA, 2008)
- Pour l'**inhalation et les effets sans seuil** : **1,5.10<sup>-4</sup> (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>** (USEPA, 1998)
- Pour l'**ingestion et les effets à seuil** : **0,45.10<sup>-3</sup> mg/kg/j** (FoBiG, 2009)
- Pour l'**ingestion et les effets sans seuil** : **1,5 (mg/kg/j)<sup>-1</sup>** (USEPA, 1998 – OEHHA, 2009)

## **13. CADMIUM**

(source : « Cadmium et ses dérivés – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour septembre 2011 » ; « Fiche toxicologique n° 60 : cadmium et ses composés minéraux, INRS, édition 1997 »).

### **13.1. Comportement**

Le cadmium dans l'environnement n'est presque jamais trouvé à l'état métallique, mais dans son état d'oxydation unique, c'est-à-dire +II (ATSDR, 1993 ; HSDB, 2001). Les principaux composés du cadmium sont l'oxyde de cadmium, le chlorure de cadmium, le sulfure de cadmium (ATSDR, 1993).

Le cadmium et ses composés ne sont pas ou sont très peu volatils. Dans l'air, le cadmium est présent sous forme particulaire, la principale forme étant l'oxyde de cadmium (les autres formes étant des sels de cadmium).

Le cadmium est assez mobile dans les sols, néanmoins il a tendance à s'accumuler dans les horizons supérieurs du sol, riches en matière organique.

En milieu aquatique, le cadmium est relativement mobile et peut être transporté sous forme de cations hydratés ou de complexes organiques ou inorganiques (HSDB, 2001).

### **13.2. Effets sur la santé**

#### o Effets généraux

- Atteintes pulmonaires,
- Effets sur les reins entraînant une protéinurie et un dysfonctionnement rénal.

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

Par voie pulmonaire, selon l'hydrosolubilité, les sels les plus solubles : chlorures et oxydes sont absorbés à environ 90-100 % et les sulfures sont absorbés à hauteur de 10 %. Cette absorption peut se poursuivre pendant plusieurs semaines même après une inhalation unique.

Par ingestion, l'absorption est d'environ 5 %. Le taux d'absorption du cadmium est directement lié à la forme chimique. Ce taux d'absorption peut être augmenté lors de carences alimentaires en calcium, en fer, en zinc, en cuivre ou en protéines.

Le cadmium est transporté dans le sang fixé à l'hémoglobine ou aux métallothionéines. Le cadmium se concentre principalement dans le foie et les reins (entre 50 % et 70 % de la charge totale). Il est également retrouvé dans le pancréas, la glande thyroïde, les testicules et les glandes salivaires.

Le cadmium possède une demi-vie de l'ordre de 20 à 30 ans dans le rein et de 30 jours dans le sang.

#### o Effets systémiques

L'organe cible principal est le rein. L'exposition chronique au cadmium entraîne l'apparition d'une néphropathie irréversible pouvant évoluer vers une insuffisance rénale.

Par inhalation, les poumons peuvent aussi constituer un organe cible ; une diminution de la capacité respiratoire, de l'odorat, la survenue de rhinite, de bronchite et d'emphysème peut être observée en raison des effets irritants des particules.

#### o Effets cancérogènes

Différentes études réalisées en milieu professionnel, et correspondant à des expositions par inhalation, ont montré une augmentation significative de la mortalité par cancer pulmonaire (CIRC, 1993).

Une étude de mortalité réalisée chez une population japonaise exposée au cadmium via l'alimentation (riz contaminé) a mis en évidence l'absence d'augmentation de mortalité par cancer tous sites confondus et par cancer du foie ou de l'estomac en particulier. En revanche, cette étude a montré l'augmentation de mortalité par cancer prostatique. Des études récentes ne confirment pas ces résultats concernant les cancers prostatiques.

L'Union Européenne classe le cadmium et ses dérivés dans la catégorie 2 (cancérogène probable chez l'homme), le CIRC classe le cadmium dans le groupe 1 (cancérogène chez l'homme) et l'USEPA classe le cadmium en catégorie B1 (cancérogène probable chez l'homme).

Selon le règlement CLP modifié, le cadmium est classé en catégorie C1B (substance dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé, la classification dans cette catégorie s'appuyant largement sur des données animales).

- o Effets sur la reproduction et le développement

Les études conduites chez l'homme ne montrent aucun effet sur la fertilité ou sur la fonction endocrinienne. Le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France conclut à un retentissement faible du cadmium sur la fertilité de l'homme.

Chez l'animal, le cadmium traverse la barrière placentaire, c'est un toxique pour le développement. Il induit une diminution du poids des fœtus, ainsi que des effets tératogènes et neurodéveloppementaux.

Selon le règlement CLP modifié, le cadmium est classé pour la mutagénicité en catégorie M2 (substance préoccupante du fait qu'elles pourraient induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains) et M1B (substance dans la capacité d'induire des mutations héréditaires est avérée ou qui sont à considérer comme induisant des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains) pour le cadmium sous forme de chlorure, sulfate, fluorure.

### **13.3. Classification et phrases de risque**

- o N° CAS : 7440-43-9
- o Etiquetage : T+ (très toxique par inhalation), N (dangereux pour l'environnement)
- o Phrases de risque selon le règlement CE n°1272/2008 : H330 : Mortel par inhalation - H341 : Susceptible d'induire des anomalies génétiques - H350 : Peut provoquer le cancer - H361fd : Susceptible de nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus - H372 : Risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée - H410 : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets à long terme

### **13.4. Valeurs de référence**

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Cadmium	Inhalation	A seuil	0,02 µg/m <sup>3</sup> (OEHHA, 2003) 0,01 µg/m <sup>3</sup> (ATSDR, 2012) 0,005 µg/m <sup>3</sup> (OMS, 2000) 0,3 µg/m <sup>3</sup> (ANSES, 2012) 0,45 µg/m <sup>3</sup> (ANSES, 2012)	Poumons Rein Rein Poumons Rein
		Sans seuil	1,8.10 <sup>-3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (US EPA, 1999) 4,2.10 <sup>-3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (OEHHA, 2002) TC05 = 5,1 µg/m <sup>3</sup> (Health Canada, 1993)	Poumons
	Ingestion	A seuil	1. µg /kg/j (US EPA, 1989) (alimentation solide) 0,1 µg /kg/j (ATSDR, 2012) 0,5 µg /kg/j (RIVM, 2001) 0,5 µg /kg/j (OEHHA, 2003) 2,5 µg/kg/j (EFSA, 2011) 0,35 µg/kg/j (ANSES 2019)	Rein
		Sans seuil		-

La valeur guide dans l'air pour une exposition annuelle établie par l'OMS est de 5.10<sup>-3</sup> µg/m<sup>3</sup> (organe cible : rein) (OMS, 2000). Cette valeur guide correspond à une VTR. Cette concentration est reprise comme valeur cible afin d'éviter, prévenir ou réduire les effets nocifs sur la santé des personnes et sur l'environnement dans son ensemble par l'article R.221-1 du Code de l'Environnement.

Les **VTR retenues** pour l'**inhalation** sont :

- Pour **les effets à seuil, 0,3 µg/m<sup>3</sup>** (valeur établie par l'ANSES),
- Pour **les effets sans seuil, 1,8.10<sup>-3</sup> (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>** (USEPA 1999)

Pour l'**ingestion et les effets à seuil**, la VTR retenue est celle de l'ANSES : **0,35µg/kg/j**

## 14. CHROME

(source : « Chrome et ses dérivés – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour 16/02/2005)

### 14.1. Comportement

Dans l'air, le chrome est sous forme particulaire et non gazeuse, et est peu réactif.

Dans l'eau, le chrome VI est réduit en chrome III par la matière organique. Le chrome est essentiellement présent sous forme particulaire dans les sédiments.

Dans le sol, le chrome se fixe solidement aux particules du sol. De faibles quantités peuvent migrer en profondeur. Le chrome VI toxique et mobile est facilement réduit en forme trivalente dans les sols nettement moins mobile et toxique.

### 14.2. Effets sur la santé

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

L'absorption réelle du chrome dépend de nombreux facteurs : l'état d'oxydation, la taille des particules, leur solubilité et l'activité de phagocytose des macrophages alvéolaires. Dans la majorité des cas les composés hexavalents du chrome sont plus facilement absorbés que les composés trivalents. Ceci est en partie lié à la meilleure capacité que possèdent les dérivés hexavalents à traverser les membranes.

Les données chez l'animal suggèrent une absorption pulmonaire de 53 - 85 % pour les particules de chrome (VI) inhalables et 5 - 30 % pour les particules de chrome (III) inhalables.

Par ingestion, l'absorption est faible de l'ordre de 0,5 à 2 %.

#### o Effets systémiques

Les manifestations toxiques du chrome sont généralement attribuées aux dérivés hexavalents. Le chrome III est un composé naturel de l'organisme, mais il possède également une action toxique. Il n'y a pas d'étude rapportant les effets du chrome (III) seul chez l'homme, cependant il a été montré que lors d'exposition au chrome sous la forme hexavalente ce dernier est tout ou partiellement réduit en chrome trivalent.

Le tractus respiratoire est l'organe cible des effets lors de l'exposition par inhalation aux dérivés du chrome III et du chrome VI. Il s'agit alors d'atteintes au site de contact. Lors de l'exposition au chrome VI, les principaux effets observés sont l'épistaxis, une rhinorrhée chronique, une irritation et des démangeaisons nasales, une atrophie de la muqueuse nasale, des ulcérations et des perforations du septum nasal, des bronchites, des pneumoconioses, une diminution des fonctions pulmonaires et des pneumonies.

Après solubilisation, le chrome et ses dérivés peuvent avoir un effet sensibilisant qui se manifeste par de l'asthme ou des dermatites.

Des atteintes gastro-intestinales, des effets cardiovasculaires, des atteintes hépatiques et oculaires ont également été rapportées.

#### o Effets cancérogènes

De nombreuses études sur des salariés exposés aux chromates ont largement mis en évidence un excès de risque pour le cancer du poumon. En revanche, dans la population générale, il n'y a pas été montré d'excès de tumeurs chez les populations vivant dans des zones où de fortes concentrations de chrome sont mesurées.

L'exposition aux chromates pourrait également favoriser des cancers localisés dans la cavité nasale, le larynx ou l'estomac (Lauwerys, 1999). Les dérivés du chrome hexavalent pourraient également induire des cancers non pulmonaires situés dans les os, l'estomac, la prostate, les organes génitaux, les reins, la vessie, le sang (lymphomes, maladie de Hodgkin's, leucémies) (Barceloux, 1999).

Il n'existe pas d'étude cherchant à identifier un excès de risque de cancer lors de l'exposition au chrome métal seul (CIRC, 1990).

L'USEPA classe les composés du chrome VI dans le **groupe A** (substance cancérogène pour l'homme) pour l'exposition par inhalation et dans le **groupe D** (substance non classifiable quant à sa cancérogénicité pour

l'homme) pour l'exposition par ingestion. Les composés du chrome III sont classés dans le **groupe D** (substance non classifiable quant à sa cancérogénicité pour l'homme).

Le CIRC classe les composés du chrome VI dans le **groupe 1** (l'agent ou le mélange est cancérigène pour l'homme) et les composés du chrome III dans le **groupe 3** (l'agent ou le mélange ne peut être classé pour sa cancérogénicité chez l'homme).

L'Union Européenne classe le trioxyde de chrome et le chromate de zinc en **catégorie 1** (« substances que l'on sait être cancérogènes pour l'homme »). Le dichromate de sodium, dichromate d'ammonium, chromate de sodium, chromate de calcium, dichromate de potassium, dichloro-dioxyde de chrome, chromate de strontium, chromate de potassium sont classés en **catégorie 2** (« substances devant être assimilées à des substances cancérogènes pour l'homme »). Le chromate de plomb, molybdène orange sont classés en **catégorie 3** (« substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles »).

Compte tenu du nombre de dérivés du chrome, les dérivés les plus courants ont fait l'objet d'une classification par l'Union Européenne concernant le caractère génotoxique. Le dichromate de sodium, dichromate d'ammonium, dichromate de potassium, dichloro-dioxyde de chrome, chromate de potassium, chromate de sodium et trioxyde de chrome sont classés en **catégorie 2** (« substances devant être assimilées à des substances mutagènes pour l'homme »).

Les chromates de zinc, le chromate de calcium, le chromate de strontium, les chromates de plomb et le molybdène orange n'ont pas été classés comme substances mutagènes.

- o Effets sur la reproduction et le développement

Les résultats des études existantes montrent une augmentation de l'incidence des complications au cours de la grossesse et de la naissance, une toxicose pendant la grossesse ainsi qu'une augmentation des hémorragies post-natales ; toutefois, ces études sont d'une qualité médiocre et ne permettent pas de conclure quant à l'effet du chrome sur la reproduction humaine.

### **14.3. Classification et phrases de risque**

- o Phrases de risque (cas du trioxyde de chrome) : R24/25 : toxique par contact avec la peau et par ingestion - R26 : très toxique par inhalation – R35 : provoque de graves brûlures – R42/43 : peut entraîner une sensibilisation par inhalation et contact avec la peau – R45 : peut provoquer le cancer - R46 : peut provoquer des altérations génétiques héréditaires - R48/23 : Toxique : risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation - R50/53 : Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique - R62 : Risque possible d'altération de la fertilité

#### 14.4. Valeurs de référence

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Chrome VI	Inhalation	A seuil	0,03 µg/m <sup>3</sup> (OMS 2013)	modification de la lactate déshydrogénase dans le liquide de lavage broncho-alvéolaire
		Sans seuil	0,04 (µg/m <sup>3</sup> )-1 (OMS 2013)	
	Ingestion	A seuil	1 (µg/kg/j)-1 (ATSDR 2008)	
		Sans seuil	0,5 (mg/kg/j)-1 (OEHHA 2011)	Carcinomes de l'intestin grêle
Chrome III	Inhalation	A seuil	2 µg/m <sup>3</sup> (INERIS 2017), mais sous forme de sel	Poumons
		Sans seuil	-	-
	Ingestion	A seuil	300 (µg/kg/j)-1 (EFSA 2014)	
		Sans seuil	-	-
Chrome total	Inhalation	Sans seuil	1 (mg/m <sup>3</sup> )-1 (Sante Canada 2010)	cancer du poumon
Chrome total	Ingestion	A seuil		-

Le chrome étant sous forme particulaire, seules les VTR relatives au chrome particulaire sont donc considérées.

Les VTR retenues sont:

- Pour le chrome VI :
  - **Pour l'inhalation et les effets à seuil : 0,03 µg/m<sup>3</sup> (OMS 2013)**
  - **Pour l'inhalation et les effets sans seuil : 0,04 (µg/m<sup>3</sup>)-1 (OMS 2013)**
  - **Pour l'ingestion et les effets à seuil : 1 (µg/kg/j)-1 (ATSDR 2008)**
  - **Pour l'ingestion et les effets sans seuil : 0,5 (mg/kg/j)-1 (OEHHA 2011)**
  
- Pour le chrome III :
  - **Pour l'inhalation et les effets à seuil : 60 µg/m<sup>3</sup> (RIVM, 2001)**
  - **Pour l'ingestion et les effets à seuil : 300 (µg/kg/j)-1 (EFSA 2014)**

## 15. COBALT

(source : « Cobalt et ses dérivés – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour 24/04/2006 »).

### 15.1. Comportement

Le cobalt n'est pas volatil, et est émis dans l'atmosphère uniquement sous forme de particules qui seraient principalement constituées d'oxydes de cobalt.

Dans les sols, le cobalt est fortement et rapidement adsorbé sur les oxydes de fer et de manganèse, ainsi que sur les argiles et la matière organique.

Dans la plupart des sols, le cobalt est plus mobile que le plomb, le chrome, le zinc et le nickel, mais moins mobile que le cadmium.

Dans l'eau, le cobalt se retrouve principalement au niveau des sédiments, précipité sous forme de carbonate, d'hydroxyde ou bien avec les oxydes des minéraux présents.

### 15.2. Effets sur la santé

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

Le taux de rétention pulmonaire de l'oxyde de cobalt après 180 jours est de 50 % de la dose initiale, avec quelques variations minimales en fonction de la taille des particules (Foster *et al*, 1989). Le cœur et les poumons constituent les organes cibles principaux. Le foie et le rein sont des organes cibles secondaires.

Par voie orale, l'absorption gastro-intestinale est variable (18 à 97 %) et dépend de la dose, du composé et du statut nutritionnel (ATSDR, 2001). Le cœur constitue l'organe cible principal.

#### o Effets systémiques

Les effets toxiques induits par le cobalt sont divers car ce composé peut en excès, remplacer le magnésium et le calcium (inhibition compétitive) et influencer de nombreuses voies enzymatiques dont celle du métabolisme oxydatif.

Une exposition répétée ou prolongée des voies respiratoires peut causer un risque d'atteinte pulmonaire, de l'asthme et de la pneumoconiose, des effets sur le cœur entraînant une cardiomyopathie.

Chez l'homme, comme chez l'animal, l'exposition au cobalt par voie orale se caractérise par des effets respiratoires, cardiovasculaires, gastro-intestinaux, hématologiques, musculosquelettiques, hépatiques, rénaux, oculaires, thyroïdiens et sur l'état général.

#### o Effets cancérogènes

Chez l'homme, une augmentation des décès par cancer pulmonaire est observée chez des salariés français d'une usine électrochimique exposés à du cobalt.

Toutefois, l'interprétation des études épidémiologiques disponibles concernant l'impact cancérogène du cobalt par inhalation est difficile car il s'agit le plus souvent d'expositions multiples et notamment avec d'autres cancérogènes comme le nickel et l'arsenic.

Le CIRC classe le cobalt métal contenant du carbure de tungstène dans le groupe 2A (probablement cancérogène pour l'homme) et les autres formes de cobalt dans le groupe 2B (cancérogène possible chez l'homme).

Selon le CLP modifié, le cobalt (sous forme d'acétate, de carbonate, de dichlorure, de nitrate et de sulfate) est classé cancérogène C1B (substance dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé, la classification dans cette catégorie s'appuyant largement sur des données animales).

Concernant la mutagénicité, le cobalt est classé M2 (substance préoccupante du fait qu'elles pourraient induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains).

#### o Effets sur la reproduction et le développement

Aucun effet sur la reproduction et le développement n'a été montré chez l'homme.

Le cobalt (sous forme d'acétate, de carbonate, de dichlorure, de nitrate et de sulfate) est classé R1B (substance présumée toxique pour la reproduction humaine).

### 15.3. Classification et phrases de risque

- o N° CAS : 7440-48-4
- o Etiquetage : Xn (nocif)
- o Phrases de risque : R42/43 : peut entraîner une sensibilisation par inhalation et contact avec la peau

### 15.4. Valeurs de référence

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Cobalt	Inhalation	A seuil	0,1 µg/m <sup>3</sup> (ATSDR, 2004) 0,1 µg/m <sup>3</sup> (OMS, 2006) 0,5 µg/m <sup>3</sup> (RIVM, 2000)	Système respiratoire Poumon
		Sans seuil	VTR de l'OEHHA de 2019 disponibles, mais en version « Draft »	-
	Ingestion	A seuil	1.10 <sup>-2</sup> mg/kg/j (ATSDR, 2004) (VTR subchronique) 1,4.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (RIVM, 2000) 1,5.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (Afssa 2010, retenue par l'ANSES)	Système sanguin Cœur
		Sans seuil	-	-

Les VTR retenues sont :

- Pour l'**inhalation et les effets à seuil** : **0,1 µg/m<sup>3</sup>** (ATSDR, 2004), conformément au schéma de sélection des VTR (circulaire du 30 mai 2005)
- Pour l'**ingestion et les effets à seuil** : **1,5.10<sup>-3</sup> mg/kg/j** (Afssa 2010)

## **16. CUIVRE**

(source : « Cuivre et ses dérivés – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour 11/03/2005 »).

### **16.1. Comportement**

Le cuivre est rejeté dans l'atmosphère sous forme particulaire d'oxyde, de sulfate ou de carbonate ou adsorbé à de la matière particulaire.

Dans les sols, le cuivre se trouve aux états d'oxydation I ou II, sous forme de sulfures, sulfates, carbonates, oxydes et sous forme native minérale. Le cuivre forme des liaisons avec les composants du sol plus fortes que les autres cations divalents et la distribution du cuivre dans la solution de sol est moins affectée par le pH que celle des autres métaux.

Dans l'eau, le cuivre est essentiellement présent sous forme particulaire dans les sédiments.

### **16.2. Effets sur la santé**

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

Le cuivre est un élément essentiel chez l'homme et l'animal, impliqué dans de nombreuses voies métaboliques, notamment pour la formation d'hémoglobine et la maturation des polynucléaires neutrophiles. De plus, il est un co-facteur spécifique de nombreuses enzymes et metalloprotéines de structure.

L'absorption pulmonaire de cuivre sous forme de poussières ou de fumées est possible mais le taux d'absorption par cette voie chez l'homme n'est pas déterminé.

L'absorption de cuivre s'effectue de manière prépondérante par voie orale et absorption gastro-intestinale. Le taux d'absorption par voie orale est très variable, de 15 à 97 %.

L'organe cible principal est constitué par le foie.

#### o Effets systémiques

Par exposition à des poussières de cuivre, une irritation des voies aériennes supérieures et des troubles gastrointestinaux (anorexie, nausée, diarrhée) sont reportés.

Des nécroses hépatiques et nécroses tubulaires ont également été reportées par ingestion de cuivre sous forme de sulfate de cuivre.

#### o Effets cancérigènes

Selon l'US EPA, le cuivre est une substance non classifiable quant à sa cancérogénicité pour l'homme.

#### o Effets sur la reproduction et le développement

-

### **16.3. Classification et phrases de risque**

o N° CAS : 7440-50-8

o Etiquetage : Xn (nocif) - N (dangereux pour l'environnement)

o Phrases de risque : R22 : nocif en cas d'ingestion - R50/53 : très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement (oxyde de cuivre)

#### 16.4. Valeurs de référence

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Cuivre	Inhalation	A seuil	1 µg/m <sup>3</sup> (RIVM, 2001)	Poumon, système immunitaire
		Sans seuil	-	-
	Ingestion	A seuil	1,4 mg/kg/j (RIVM, 2001)	
		Sans seuil	-	-

L'OMS a établi une VTR de 0,5 mg/kg/j qui n'est aujourd'hui plus recommandée. L'ATSDR propose une VTR pour une exposition subchronique par ingestion de 0,01 mg/kg/j (2004) sans d'explications spécifiques.

Les VTR retenue seront donc celles du RIVM pour les expositions par inhalation et ingestion

## **17. ETAIN**

### **17.1. Comportement**

Le composé se retrouve dans l'air principalement sous la forme d'oxyde d'étain.

### **17.2. Effets sur la santé**

- Pénétration et devenir dans l'organisme

Les composés inorganiques restent très peu de temps dans l'organisme.

- Effets systémiques

L'exposition à des poussières ou des fumées peut causer des irritations pulmonaires et problèmes respiratoires.

Sous sa forme métallique, l'étain présente une faible toxicité par ingestion en raison de sa faible absorption.

Les composés organiques de l'étain peuvent provoquer des interférences dans le fonctionnement normal du cerveau et du système nerveux central.

- Effets cancérigènes

-

- Effets sur la reproduction et le développement

-

### **17.3. Classification et phrases de risque**

- N° CAS : 7440-31-5
- Etiquetage : Xi (irritant)
- Phrases de risque : R36/37 : irritant pour les yeux et les voies respiratoires

### **17.4. Valeurs de référence**

L'unique VTR disponible concerne l'exposition par ingestion à seuil, établie à **200 µg/kg/j** (RIVM 2009)

## **18. MANGANESE**

(source : « Manganèse et ses dérivés – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour 06/07/2012 »)

### **18.1. Comportement**

Le manganèse et ses dérivés sont très peu mobiles dans le sol et ne sont pas ou peu volatils.

Le dioxyde de manganèse est considéré non biodégradable.

### **18.2. Effets sur la santé**

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

Le zinc constitue l'un des oligo-éléments les plus abondants chez l'homme.

Il intervient au niveau de la croissance, du développement osseux et cérébral, de la reproduction, du développement fœtal, du goût et de l'odorat, des fonctions immunitaires et de la cicatrisation des blessures. Les quantités journalières recommandées en zinc sont de 10 mg chez les enfants (1-10 ans), 12 mg chez la femme et 15 mg chez l'homme (NAS/NRC, 1989). La Commission des Communautés Européennes recommande toutefois des niveaux journaliers plus faibles : 9-10 mg/j et 7-9 mg/j pour respectivement les hommes et les femmes (CEE, 1993).

Les principaux organes contenant des quantités mesurables de zinc sont le foie, le tractus gastro-intestinal, les reins, la peau, les poumons, le cœur, le cerveau et le pancréas (Llobet *et al.*, 1988 ; Bentley et Grubb, 1991).

Le taux d'absorption du zinc inhalé n'est pas connu mais dépend de la taille et de la solubilité des particules. Chez l'homme, le taux d'absorption du zinc, pris en complément alimentaire, varie de 8 à 81 % et dépend de la quantité et de la qualité de la nourriture ingérée. Des personnes non carencées en zinc absorbent environ 20 à 30 % du zinc ingéré. Ce taux est augmenté en cas de carence (Johnson *et al.*, 1988).

Le zinc absorbé est transporté de façon active au niveau du plasma (Cousins, 1985).

Le zinc se répartit de façon non sélective dans les différents organes et tissus.

#### o Effets systémiques

Les atteintes du système nerveux central (ou manganisme) prédominent lors d'expositions chroniques par inhalation, caractérisées par des signes généraux non spécifiques, des manifestations neurocomportementales psychiques avec altération des fonctions cognitives, des manifestations neurologiques liées à l'atteinte du système extrapyramidal (trouble parkinsonien distinguable de la maladie de Parkinson) parfois appelées Parkinson manganique. Ces signes apparaissent généralement après plusieurs années d'exposition.

Une réponse inflammatoire au niveau des poumons, avec de la toux, des bronchites, des pneumonies, peut aussi être observée pour certains dérivés. Très peu de données sont disponibles concernant les effets après ingestion : l'organisme exerce un fort contrôle homéostatique sur la quantité de manganèse absorbée, protégeant ainsi l'organisme de ces effets toxiques.

Les études expérimentales par inhalation n'ont pas mis en évidence d'effets neurologiques similaires à ceux observés chez l'homme. Par voie orale, des effets sont observés au niveau de l'estomac, du sang et de la thyroïde. Suite à un contact cutané prolongé, la peau s'affine et présente un aspect noir métallique.

#### o Effets cancérogènes

Aucune donnée n'est disponible chez l'homme. Chez l'animal, des adénomes des cellules folliculaires et des hyperplasies du pré-estomac sont observées suite à l'ingestion de sulfate de manganèse.

Le dioxyde de manganèse et le sulfate de manganèse ont été examinés mais ne font pas l'objet de classification par l'Union Européenne. Le manganèse appartient à la classe D de l'US EPA (substance non classifiable quant à sa cancérogénicité pour l'homme).

Le caractère mutagène du dioxyde de manganèse et du sulfate de manganèse a été examiné mais n'a pas fait l'objet de classification par l'Union Européenne.

o Effets sur la reproduction et le développement

Chez l'homme, une altération de la fertilité (diminution du nombre d'enfants par couples mariés) a été mise en évidence. Chez l'animal, le manganèse occasionne des lésions des testicules, pouvant conduire à la stérilité.

Une augmentation des pertes post implantation, un retard de développement du squelette et des organes internes, ainsi que des malformations externes ont été observés chez des rats exposés à du chlorure de manganèse par gavage pendant la gestation. Une augmentation de la mortalité fœtale a été observée chez des souris.

Le dioxyde de manganèse et le sulfate de manganèse ont été examinés mais ne font pas l'objet de classification par l'Union Européenne.

**18.3. Classification et phrases de risque**

- o N° CAS : 7439-96-5 (manganèse) – 1313-13-9 (dioxyde de manganèse)
- o Etiquetage : Xn (nocif) (dioxyde de manganèse)
- o Phrases de risque : R20/22 : nocif en cas d'inhalation et d'ingestion (dioxyde de manganèse)

**18.4. Valeurs de référence**

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Manganèse	Inhalation	A seuil	0,3 µg/m <sup>3</sup> (ATSDR, 2012 retenue par l'ANSES) 0,05 µg/m <sup>3</sup> (US EPA, 1993) 0,15 µg/m <sup>3</sup> (OMS, 2000) 0,2 µg/m <sup>3</sup> (OEHHA, 2000)	Système nerveux
		Sans seuil	-	-
	Ingestion	A seuil	0,16 mg/kg/j (ATSDR, 2012) 0,14 mg/kg/j (US EPA, 1996) 0,06 mg/kg/j (OMS, 2006) 55 µg/kg/j (INSPQ 2017, validé par l'ANSES)	Système nerveux central  Effets sur le nourrisson
		Sans seuil	-	-

Les VTR retenues sont :

- Pour l'**inhalation et les effets à seuil** : **0,3 µg/m<sup>3</sup>** (ATSDR 2012).
- Pour l'**ingestion et les effets à seuil** : **55 µg/kg/j** (INSPQ 2017, validé par l'ANSES)

## 19. MERCURE

(source : « *Mercuré et ses dérivés – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour 20/09/2010* » ; « *Fiche toxicologique n°55 : mercure et composés minéraux, INRS, 1997* »)

### 19.1. Comportement

Le mercure peut se présenter sous différentes formes : mercure élémentaire, mercure inorganique et mercure organique (dont le méthylmercure). Ces diverses formes du mercure sont susceptibles d'évoluer dans l'environnement.

Le mercure élémentaire et les composés organiques du mercure sont volatils. Les composés inorganiques le sont très peu.

Le mercure élémentaire est quasiment insoluble dans l'eau. La solubilité des composés organiques est variable, tous sont plus ou moins solubles. La solubilité des composés du mercure inorganique est très variable : des composés comme le chlorure mercurique sont solubles, le sulfure mercurique est complètement insoluble.

Le mercure est faiblement mobile dans le sol. Le mercure mis en contact avec le sol est rapidement immobilisé (par les oxydes de fer, d'aluminium et le manganèse et surtout par la matière organique), et a tendance à rester dans les horizons de surface. L'une des principales particularités du mercure est de subir, dans les sols, sédiments et poissons, des réactions de méthylation / déméthylation.

Le document HHRAP (*Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities, Final, USEPA, Septembre 2005*) considère en effet qu'une fois déposée, une faible proportion du mercure passe sous forme organique dans le sol (proportion d'environ 2 %) et dans les compartiments végétaux et animaux (22 %).

#### o Persistance

Le mercure inorganique et organique s'accumule facilement dans les organismes. D'une façon générale, le mercure organique présente des facteurs de bioconcentration supérieurs à ceux du mercure inorganique.

Le monométhyl et de le diméthylmercure sont formés dans les sols et les sédiments à partir de sels de mercure inorganique par des bactéries aérobies ou anaérobies (ou parfois par voie chimique). Le mercure métallique peut aussi être méthylé après avoir été oxydé en  $Hg^{2+}$ .

De nombreux paramètres influencent la méthylation et la déméthylation, par exemple la concentration en ions sulfure ( $S^{2-}$ ) et le potentiel d'oxydoréduction. En conditions réductrices, le précipité insoluble  $HgS$  est formé et il résiste à la méthylation. Si les conditions deviennent aérobies,  $HgS$  est oxydé en  $HgSO_4$  qui peut subir une méthylation. La matière organique présent dans les sols favorise quant à elle la méthylation.

#### o Dégradation

Dans les sols, à l'état naturel, le mercure se trouve principalement sous forme de cinabre (ou sulfure de mercure). Sous certaines conditions, le mercure est méthylé (principalement en monométhylmercure). Des réactions d'oxydo-réduction permettant le passage entre les degrés 0 et +II du mercure se produisent aussi. Une partie du mercure présent dans le sol est éliminé par volatilisation.

Dans l'atmosphère, la plus grande partie du mercure est sous forme élémentaire. Le diméthylmercure, qui lui aussi est volatil, serait rapidement dégradé en  $Hg^0$  dans l'atmosphère (son temps de résidence n'est que de quelques jours, voire de quelques semaines).  $Hg^0$  peut rester dans l'atmosphère pendant des temps très longs (durée de vie de 2 mois et 3 ans).

## 19.2. Effets sur la santé

### o Pénétration et devenir dans l'organisme

Le mercure élémentaire sous forme de vapeur est essentiellement absorbé par voie pulmonaire ; le taux d'absorption pulmonaire est compris entre 75 et 85 %.

Peu d'études traitent de l'absorption par voie orale du mercure élémentaire et du mercure inorganique. Toutefois, l'absorption par voie orale de ces deux types de mercure semble faible.

Le mercure élémentaire absorbé par voie pulmonaire est distribué dans tout le corps. En effet, du fait de ces propriétés lipophiles, il traverse facilement la barrière sang/cerveau et la barrière du placenta. Le mercure élémentaire s'accumule prioritairement dans les reins alors que le mercure inorganique divalent, atteint de façon similaire tous les organes. L'accumulation du mercure inorganique divalent au niveau des reins et dans le fœtus est moins importante que celle du mercure élémentaire puisqu'il est moins lipophile.

Le métabolisme du mercure est identique chez l'homme et chez l'animal quel que soit le type de mercure (élémentaire ou inorganique) et quel que soit le mode d'absorption. Chez l'homme, les vapeurs de mercure élémentaire inhalées se retrouvent rapidement dans le sang et sont dans un premier temps oxydées dans les hématies en mercure inorganique par l'hydrogène peroxydase. L'oxydation du mercure élémentaire a lieu également dans le cerveau, le foie, les poumons et probablement dans les autres tissus.

Le mercure inorganique est également oxydé puis réduit dans les tissus mammaires en mercure élémentaire.

Aucune donnée concernant l'absorption du mercure organique par inhalation n'est disponible. Il semble toutefois que ce mercure peut être facilement absorbé à travers les poumons.

Par voie orale, l'absorption du mercure organique est plus importante que celle du mercure inorganique ou du mercure élémentaire. Le taux d'absorption chez l'homme représente 95 %.

La distribution du mercure organique absorbé par voie pulmonaire ou cutanée n'a pas fait l'objet d'étude. Par contre, le mercure organique absorbé par voie orale est distribué dans tout le corps et s'accumule principalement dans les reins.

En ce qui concerne le métabolisme, le méthylmercure et spécifiquement le méthylmercure divalent est transformé en mercure inorganique dans les tissus.

Le méthylmercure et les vapeurs de mercure métalliques sont les formes les plus nocives car elles atteignent le cerveau.

### o Effets systémiques

Dans le cas d'une exposition au mercure élémentaire, les organes cibles sont le système nerveux central et le rein.

Par inhalation, le mercure élémentaire engendre des troubles neurologiques néfastes ainsi que des scléroses. L'exposition par voie orale au mercure élémentaire induit des troubles cardiovasculaires, gastrointestinaux mais surtout neurologiques et rénaux. La majorité des études suggère que les troubles du système moteur sont réversibles alors que la diminution cognitive ainsi que les pertes de mémoire peuvent être permanentes. Par voie cutanée, il a été montré que certaines personnes sensibles au mercure pouvaient développer des stomatites.

Par voie orale, le mercure inorganique a un effet neurotoxique. Des troubles cardiovasculaires peuvent également être observés. L'exposition par voie cutanée au mercure inorganique pendant de longues durées induit des troubles cardiovasculaires, gastrointestinaux, rénaux, neurologiques et immunologiques.

L'exposition chronique par voie pulmonaire au mercure organique entraîne des troubles respiratoires, gastrointestinaux, musculaires, hépatiques et neurologiques.

Par voie orale, le cerveau est le principal organe cible du mercure organique et les fonctions sensorielles telles que la vue et l'ouïe ainsi que les zones du cerveau impliquées dans la coordination motrice sont généralement affectées. Les premiers symptômes induits par l'exposition par voie orale au mercure organique, tels que la paresthésie (troubles de la sensibilité), un malaise général, une vision brouillée sont non spécifiques. Ces premiers symptômes sont suivis d'une restriction des champs visuels, d'une surdité, d'un défaut d'élocution et de troubles de la coordination musculaire. Dans des cas moins sévères, une réversibilité des symptômes peut survenir. A doses très élevées mais non précisées, le mercure affecte aussi le système nerveux périphérique.

o Effets cancérigènes

Le mercure élémentaire, le dichlorure de mercure ou chlorure mercurique et le chlorure mercureux ont été examinés par l'Union Européenne mais n'ont pas été classés.

L'oxyde de mercure, le sulfure de mercure, le méthylmercure, le chlorure de méthylmercure, le méthylmercure dicyandiamide n'ont pas fait l'objet d'un examen par l'Union Européenne.

Le CIRC classe le mercure et ses composés inorganiques dans le groupe 3 (l'agent ou le mélange ne peut être classé pour sa cancérogénicité chez l'homme) et le méthylmercure dans le groupe 2B (l'agent ou le mélange pourrait être cancérogène chez l'homme).

o Effets sur la reproduction et le développement

Pour des expositions au mercure élémentaire, des études ont montré une augmentation des malformations congénitales et des avortements, de même qu'une diminution du poids des enfants à la naissance. La relation entre l'exposition au mercure élémentaire et les effets sur la reproduction ne semble toutefois pas aussi évidente.

Pour une exposition au mercure inorganique, une étude a montré une augmentation des avortements spontanés. Toutefois, aucun effet néfaste sur le taux de fertilité n'a été observé.

Pour une exposition au mercure organique, une étude réalisée en Guyane Française a mis en évidence de faibles troubles neurologiques chez des enfants âgés de 5 à 7 ans dont les mères furent exposées à du méthylmercure. Des études ont montré par ailleurs que le méthylmercure pouvait provoquer des altérations du cerveau chez les enfants exposés. Les malformations les plus sévères (paralysie, retard de croissance, cécité) sont observées chez les enfants exposés pendant le second trimestre de la grossesse.

Selon le CLP modifié, le mercure est classé en catégorie R1B (substance présumée toxique pour la reproduction humaine).

### **19.3. Classification et phrases de risque**

o N° CAS : 7439-97-6

Phrases de risque : R26 : très toxique par inhalation - R48/23 : Toxique : risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation - R50/53 : Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique - R61 : Risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant

o Phrases de risque selon le règlement CE n°1272/2008 : H331 : Toxique par inhalation – H373 : Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'exposition répétées ou d'une exposition prolongée – H410 : très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme

**19.4. Valeurs de référence**

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Mercure élémentaire	Inhalation	A seuil	0,2 µg/m <sup>3</sup> (ATSDR, 2001 - RIVM, 2001, OMS, 2003) 0,3 µg/m <sup>3</sup> (US EPA, 1995) 0,03 µg/m <sup>3</sup> (OEHHA, 2008)	Système nerveux central
		Sans seuil	-	-
	Ingestion	A seuil	0,7.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (OMS) (dose journalière tolérable provisoire)	Atteinte neurologique
		Sans seuil	-	-
Mercure organique (méthylmercure)	Inhalation	Sans seuil / a seuil	-	-
	Ingestion	A seuil	1.10 <sup>-4</sup> mg/kg/j (US EPA, 2001, RIVM, 2000) 3.10 <sup>-4</sup> mg/kg/j (ATSDR, 2001) 1,6.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (OMS, 2003) 0,23.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (OMS, 2010) 0,19.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (EFSA, 2012)	Système nerveux central / développement neurologique
		Sans seuil	-	-
Mercure inorganique	Inhalation	A seuil	0,03 µg/m <sup>3</sup> (OEHHA, 2008) 1 µg/m <sup>3</sup> (OMS, 2000)	Système nerveux central
		Sans seuil	-	-
	Ingestion	A seuil	2.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (RIVM, 2000) 0,57.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (EFSA, 2012) 0,3.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (US EPA, 1995) (chlorure mercurique)	Rein Rein Système immunitaire
		Sans seuil	-	-

La VTR retenue pour l'**inhalation** est celle proposée dans le guide INERIS « Mercure et ses dérivés – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques » (INERIS, mise à jour 20/09/2010), à savoir **0,03 µg/m<sup>3</sup>** (OEHHA, 2008).

Pour l'**ingestion**, les VTR retenues sont:

- **0,03.10<sup>-3</sup> mg/kg/j pour le mercure organique**
- **0,57.10<sup>-3</sup> mg/kg/j pour le mercure inorganique.**

## **20. NICKEL**

(source : « Nickel et ses dérivés – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour 20/04/2005 » ; « Fiche toxicologique n°68 : nickel et ses oxydes, INRS, 2009 »)

### **20.1. Comportement**

La présence de nickel dans l'environnement est naturelle (0,8 à 0,9 % de la croûte terrestre) et anthropique.

Dans l'air, le nickel est présent sous la forme d'aérosols et de fines particules.

Dans les sols, le nickel s'adsorbe essentiellement à la surface d'oxydes de fer, d'aluminium ou de manganèse.

### **20.2. Effets sur la santé**

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

Environ 20 à 35 % du nickel inhalé (sous forme de composés peu solubles) sont absorbés dans le sang à partir des voies respiratoires (ATSDR, 1997). Les composés solubles du nickel (chlorure, sulfate) sont plus facilement absorbés par le tractus respiratoire.

L'absorption par le tube digestif est moindre ; lors de l'administration de sulfate de nickel, 0,7 % est absorbé par le tractus gastro-intestinal.

#### o Effets systémiques

Les études chez l'homme (et l'animal) indiquent que le système respiratoire est la cible principale de la toxicité du nickel par inhalation. Une augmentation de l'incidence des décès par pathologie respiratoire a été trouvée chez des travailleurs exposés chroniquement à des concentrations supérieures à 0,04 mg de nickel/m<sup>3</sup>, sous forme de monoxyde ou de métal (Cornell et Landis, 1984). Les effets respiratoires étaient de type bronchite chronique, emphysème, diminution de la capacité vitale. Cependant, la toxicité observée ne peut être uniquement attribuée au nickel puisque les travailleurs étaient également exposés à d'autres métaux comme l'arsenic, l'uranium, le fer, le plomb et le chrome. D'autres études ne mettent pas en évidence d'augmentation de l'incidence des décès par pathologie.

#### o Effets cancérigènes

La majorité des études épidémiologiques a montré la survenue de cancers du poumon et du nez.

Le nickel est classé en catégorie 2B par le CIRC (cancérogène possible chez l'homme), en catégorie A par l'USEPA (cancérogène chez l'homme) et en catégorie 3 par l'Union Européenne (cancérogène possible chez l'homme). Les composés de nickel sont classés en catégorie 1 par le CIRC (cancérogène chez l'homme), et les oxydes et sulfures de nickel en catégorie 1 par l'Union Européenne (cancérogène chez l'homme).

Selon le CLP modifié, les composés du nickel sont classés en catégorie C1A (substance dans le potentiel cancérogène pour l'être humain est avéré, la classification dans cette catégorie s'appuyant largement sur des données humaines).

#### o Effets sur la reproduction et le développement

Il n'existe pas d'études chez l'homme quant aux effets sur la reproduction et le développement du nickel par voie orale ou cutanée.

Une étude menée sur des femmes employées dans une raffinerie de nickel a montré une augmentation statistiquement significative du taux de malformation.

Selon le CLP modifié, de nombreux composés du nickel sont classés en catégorie M2 pour la mutagénicité (substance préoccupante du fait qu'elles pourraient induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains). Pour la toxicité sur la reproduction, de nombreux composés du nickel sont classés R1B (substance présumée toxique pour la reproduction humaine).

Le monoxyde et le dioxyde de nickel ne sont pas classés pour leur mutagénicité et leur toxicité sur la reproduction.

**20.3. Classification et phrases de risque**

- o N° CAS : 7440-02-0
- o Etiquetage : Xn (nocif)
- o Phrases de risque : R40 : possibilité d'effets irréversibles - R 43 : peut entraîner une sensibilisation par inhalation
- o Phrases de risque selon le règlement CE n°1272/2008 : H351 : susceptible de provoquer le cancer – H372 : risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée par inhalation – H317 : peut provoquer une allergie cutanée.

**20.4. Valeurs de référence**

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Nickel	Inhalation	A seuil	0,23 µg/m <sup>3</sup> (TCEQ 2011, validé par l'ANSES)	Poumons
		Sans seuil	0,00017 (µg/m <sup>3</sup> )-1 (TCEQ 2011 validé par l'ANSES)	Poumons
	Ingestion	A Seuil	2,8 µg/kg/j (EFSA 2015)	Reprotoxique
		Sans seuil		

Les VTR retenues sont :

- pour l'**inhalation et les effets à seuil** : **0,23 µg/m<sup>3</sup>** (TCEQ 2011)
- pour l'**inhalation et les effets sans seuil** : **1,7.10<sup>-4</sup> (µg/m<sup>3</sup>)-1** (TCEQ 2011).
- pour l'**ingestion et les effets à seuil** : **2,8 µg/kg/j** (EFSA 2015).

## **21. PLOMB**

(source : « Plomb et ses dérivés – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour 03/02/2003 »).

### **21.1. Comportement**

Dans l'air, le plomb issu de la fabrication d'acier est émis principalement sous forme de dioxyde de plomb.

La mobilité du plomb dans les sols est très faible ; il tend à s'accumuler en surface. La principale forme présente est le sulfure de plomb, et dans les sols aérobies les formes carbonates.

Dans l'eau, le plomb est principalement sous forme particulaire (précipitation comme sel insoluble, réaction avec les ions hydriques et oxydes de manganèse); il s'adsorbe à la surface des sédiments.

Le plomb inorganique pourrait subir des réactions de méthylation dans certaines conditions, mais les mécanismes ne sont pas réellement connus.

### **21.2. Effets sur la santé**

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

Le plomb présent dans l'environnement pénètre dans l'organisme humain par :

- inhalation des poussières atmosphériques contaminées,
- voie digestive essentiellement via les aliments (dans le cas de zones agricoles contaminées) et l'eau de boisson (principalement en présence de canalisations en plomb).

L'absorption par voie cutanée est négligeable. Le plomb peut par ailleurs être transmis à travers le placenta.

L'organe cible principal est le système nerveux central.

L'absorption pulmonaire dépend notamment de la taille des particules chargées en plomb.

Généralement, une faible fraction du plomb ingéré est absorbée (environ 10-15 % pour un adulte) par voie gastro-intestinale du fait de la formation de composés insolubles ; cette fraction peut aller jusqu'à 50 % pour les femmes enceintes et les enfants.

Après pénétration dans l'organisme, le plomb se retrouve dans le sang et diffuse rapidement via la circulation sanguine vers plusieurs organes, et en premier lieu vers les tissus mous (foie, poumons, cerveau, muscles, cœur). Après plusieurs semaines, la plupart du plomb est transféré dans les os et les dents (environ 99 % de la teneur totale de l'organisme).

La fraction de plomb transféré est fonction de l'âge (enfant ou adulte) et du dernier moment du repas ; juste après un repas, 6% du plomb total passe de l'estomac dans le sang ; ce pourcentage est de 60 à 80 % pour un adulte n'ayant pas mangé depuis un jour.

L'élimination du plomb s'effectue principalement dans les urines et les fèces, et à degré moindre par la transpiration, les cheveux et le lait.

#### o Effets systémiques

L'exposition au plomb provoque des effets sur le système nerveux central : irritabilité, troubles du sommeil, anxiété, perte de mémoire, sensation de fatigue, perturbations neurocomportementales. Chez l'enfant, l'exposition provoque des conséquences sur le développement psychomoteur et intellectuel.

Les effets sur le système nerveux périphérique se traduisent le plus souvent par des faiblesses musculaires, crampes, paresthésie.

L'exposition au plomb provoque également :

- Des effets hématologiques : anémie,
- Des effets rénaux,
- Des effets possibles sur le système cardio-vasculaire, mais les études à ce niveau,
- Un effet dépresseur sur la glande thyroïde chez l'adulte,
- Une perturbation de la croissance des os chez l'enfant.

o Effets cancérogènes

Chez l'homme une conjonction de données indique qu'une exposition professionnelle pourrait être associée à un risque accru de cancer bronchique ou du rein pour des expositions de longue durée.

Selon l'Union Européenne, les dérivés du plomb ne sont pas classés cancérogènes, hormis l'acétate, les chromates, l'hydroarsénate et le sulforchromate.

Le CIRC classe le plomb et ses dérivés inorganiques dans le groupe 2B (cancérogène possible chez l'homme). Les chromates et arséniate de plomb sont classés dans le groupe 1 (cancérogène chez l'homme) et les composés organiques dans le groupe 3 (inclassable).

L'USEPA classe le plomb et ses dérivés inorganiques en catégorie B2 (cancérogène probable chez l'homme).

o Effets sur la reproduction et le développement

La fertilité semble être affectée par l'exposition paternelle au plomb.

Selon le CLP modifié, les dérivés du plomb sont classés R1A pour la toxicité sur la reproduction (substance dont la toxicité pour la reproduction humaine est avérée ; la classification d'une substance dans cette catégorie s'appuie largement sur des études humaines).

**21.3. Classification et phrases de risque**

- o N° CAS : 7439-92-1
- o Etiquetage : T (toxique)
- o Phrases de risque : R20/22 : également nocif par inhalation et par ingestion – R33 : danger d'effet cumulatif – R61 : risque pendant la grossesse d'effet néfaste pour l'enfant
- o Phrases de risque selon le règlement CE n°1272/2008 : H302 : Nocif en cas d'ingestion - H332 : Nocif par inhalation - H360 : Peut nuire à la fertilité ou au fœtus - H373 : Risque présumé d'effets graves pour les organes la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée - H410 : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets à long terme

**21.4. Valeurs de référence**

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Plomb	Inhalation	A seuil	0,5 µg/m <sup>3</sup> (OMS, 2002) 0,9 µg/m <sup>3</sup> (ANSES, 2013 (recommandé par l'INERIS, 2016), correspond à 15 µg/L (VTR interne construite par l'ANSES)	Poumons Reins
		Sans seuil	1,2.10 <sup>-5</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (OEHHA, 2002)	Rein
	Ingestion	A seuil	3,5.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (OMS, 2004) 3,6.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (RIVM, 2001) 10 <sup>-4</sup> mg/kg/j (US EPA, 1991) (VTR associée au plomb tétraéthyl non retenu) 6,3.10 <sup>-4</sup> mg/kg/j (ANSES, 2013 (recommandé par l'INERIS, 2016), correspond à 15 µg/L (VTR interne construite par l'ANSES)	Système nerveux central, système sanguin  Reins
		Sans seuil	8,5.10 <sup>-3</sup> (mg/kg/j) <sup>-1</sup> (OEHHA, 2011)	Rein

La dose journalière tolérable pour le plomb de 2,5 µg/kg/j correspond à une dose sans effets néfastes observés ; une telle exposition quotidienne n'est pas associée avec une augmentation de la plombémie ou

de la charge organique de plomb ; un apport quotidien moyen supérieur ou égal à 5 µg/kg/j entraîne en revanche une rétention de plomb dans l'organisme.

Des données montrent que des retombées de plomb au-delà de 250 µg/m<sup>2</sup>/j sont susceptibles d'accroître la concentration de plomb dans le sang (OMS, Air Quality Guidelines, 2000).

Par ailleurs, le CSPHF (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France) recommande une limite de concentration acceptable dans les sols agricoles de 100 mg/kg de matière sèche pour le plomb. Le CSPHF a également émis des recommandations sur la contamination des fruits et légumes par le plomb, avec une valeur limite fixée à 0,3 mg/kg (poids frais) sauf pour la salade, céleri et épinards pour lesquels la valeur limite est de 0,5 mg/kg.

La valeur limite dans l'air fixée par l'article R.221-1 reprend les recommandations établies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) qui est de 0,5 µg/m<sup>3</sup> en concentration moyenne annuelle. L'objectif de qualité est fixé à 0,25 µg/m<sup>3</sup>.

Les VTR à retenir sont :

- Pour l'**ingestion et les effets à seuil**, **6,3.10<sup>-4</sup> mg/kg/j** (ANSES 2013),
- Pour l'**inhalation et les effets à seuil**, **0,9 µg/m<sup>3</sup>** (ANSES, 2013),
- Pour l'**ingestion et les effets sans seuil**, **8,5.10<sup>-3</sup> (mg/kg/j)<sup>-1</sup>** (OEHHA, 2011)
- Pour l'**inhalation et les effets sans seuil**, **1,2.10<sup>-5</sup> (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>** (OEHHA, 2002)

## **22. SELENIUM**

(source : « Sélénium et ses composés – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour 29/09/2011 »).

### **22.1. Comportement**

Dans l'environnement, le sélénium peut être trouvé sous plusieurs états d'oxydation : -2 (séléniure), 0 (sélénium), +4 (sélénite) et +6 (séléniate).

Dans les sols, le comportement du sélénium est influencé par les conditions redox, le pH, la présence d'oxydes, d'argile, de matières organiques et d'anions concurrents.

Le sélénium, élément essentiel, se bio-accumule mais des différences existent selon la spéciation. Il est non biodégradable.

### **22.2. Effets sur la santé**

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

Le sélénium est un micronutriment essentiel pour la majorité des espèces animales y compris l'homme (dose journalière recommandée de 0,9 lg.kg.j<sup>-1</sup>). Il est nécessaire à de nombreuses enzymes en particulier les enzymes impliquées dans les mécanismes de défense cellulaire contre le stress oxydatif.

Dans la population générale, l'exposition au sélénium est essentiellement orale, par ingestion d'eau de boisson ou de nourriture. L'absorption des différents composés est de l'ordre de 60 à 90 %.

L'absorption des séléniates est plus importante que celle des sélérites. La distribution est similaire pour les dérivés organiques et inorganiques du sélénium.

#### o Effets systémiques

Les études menées chez le travailleur montrent que le système respiratoire est la principale cible suite à l'inhalation de poussières de sélénium ou de composés du sélénium. Toutefois, des atteintes gastro-intestinales peuvent être observées, ainsi que des effets cardiovasculaires, une irritation de la peau ou des yeux. Pour des expositions par ingestion, une sélénose est rapportée qui se caractérise par une odeur caractéristique d'ail dans l'air exhalé et dans les urines, des ongles épais et cassants, une chute des cheveux et des ongles, une diminution des taux d'hémoglobine, des dents à l'aspect tachetées, des lésions cutanées et des anomalies du système nerveux (anesthésie périphérique, acroparesthésie et douleurs des extrémités).

La toxicité du sélénium est notamment liée au remplacement du soufre par le sélénium dans les protéines et les acides nucléiques induisant par exemple l'altération de la forme tridimensionnelle des protéines.

Chez l'animal, pour des expositions par voie orale, les effets du sélénium ne sont pas très marqués : retards de croissance des jeunes et perte de poids chez les animaux plus âgés. Des atteintes cardiovasculaires, hépatiques ou endocrines sont parfois observées.

#### o Effets cancérogènes

La plupart des études menées chez l'homme par voie orale n'ont pas mis en évidence de relation entre la consommation de sélénium et l'incidence de cancer ou au contraire un effet protecteur.

Pour des expositions par voie orale, seul le sulfure de sélénium a montré un effet cancérogène chez l'animal : des carcinomes et des adénomes hépatocellulaires chez le rat, des carcinomes et des adénomes hépatiques ainsi que des carcinomes et des adénomes alvéolaires et bronchiolaires chez les souris femelles.

Le sélénite de nickel (II) est classé en catégorie 1 par l'Union Européenne, le sulfure de sélénium est classé en classe B2 (probablement cancérogène) et le sélénium et ses composés sont classés en classe D (non classifiable) par l'US EPA. Enfin, aucun des composés évalués par l'Union Européenne n'a été classé pour des effets génotoxiques.

#### o Effets sur la reproduction et le développement

Chez l'homme, l'exposition au sélénium via l'eau de boisson est associée à un effet bénéfique notamment en ce qui concerne le risque de pathologie cardiaque congénitale.

Chez l'animal, l'exposition au sélénium induit une modification des niveaux de testostérone, de la production de sperme et une augmentation du pourcentage de sperme présentant des anomalies.

Le sélénite de sodium induit une diminution de croissance des fœtus chez la souris et un encéphalocoele chez le hamster.

### 22.3. Classification et phrases de risque

- N° CAS : 7782-49-2
- Etiquetage : T
- Phrases de risque : R23/25 : Toxique par inhalation et par ingestion - R33 : Danger d'effets cumulatifs - R53 : Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique

### 22.4. Valeurs de référence

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Sélénium	Inhalation	A seuil	20 µg/m <sup>3</sup> (OEHHA, 2001)	Syst. respiratoire
		Sans seuil	-	-
	Ingestion	A seuil	5.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (USEPA, 1991) 5.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (ATSDR, 2003) 5.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (OEHHA, 2001)	sélénirose
		Sans seuil	-	-

Il n'y a pas de différences entre les différentes VTR existantes. Les VTR retenues sont donc :

- Pour l'**inhalation et les effets à seuil** : **20 µg/m<sup>3</sup>** (OEHHA, 2001)
- Pour l'**ingestion et les effets à seuil** : **5.10<sup>-3</sup> mg/kg/j** (USEPA, 1991)

## **23. THALLIUM**

(source : « Toxicological review of thallium compounds, USEPA, septembre 2009 »).

### **23.1. Comportement**

Le thallium est rejeté dans l'atmosphère sous forme particulaire.

Il est faiblement mobile dans les sols.

Le composé est persistant dans l'environnement et se bioaccumule.

### **23.2. Effets sur la santé**

- Effets systémiques

Il existe peu d'études relatives à des expositions au thallium. Les études montrent que le thallium pourrait avoir des effets sur le système respiratoire et cardiovasculaire, le foie, les reins, les muscles, le système digestif.

Il n'y a pas d'études relatives à des expositions chroniques.

- Effets cancérigènes

Le thallium et ses composés ne sont pas classés cancérigènes.

- Effets sur la reproduction et le développement

Le thallium peut traverser le placenta. Toutefois, les données et études sont peu nombreuses.

Le thallium et ses composés ne sont pas classés toxiques pour la reproduction.

### **23.3. Valeurs de référence**

Le thallium ne dispose pas de Valeur Toxicologique de Référence.

## **24. VANADIUM**

(source : « Vanadium pentoxide and other inorganic vanadium compounds – Concise International Chemical Assessment Document 29 - 2001 »

« Vanadium et ses composés – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour 29/09/2011 »).

### **24.1. Comportement**

Le vanadium se trouve dans l'environnement principalement sous sa forme d'oxydation pentavalente (+V).

### **24.2. Effets sur la santé**

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

Il existe des données toxicocinétiques limitées selon lesquelles chez l'homme, le vanadium est résorbé après inhalation puis excrété dans l'urine, l'élimination se faisant en deux phases, une phase initiale rapide puis une phase plus lente qui correspond vraisemblablement à la libération progressive du vanadium retenu dans les tissus. Après administration par voie orale, le vanadium IV est mal résorbé dans les voies digestives.

#### o Effets systémiques

Chez l'homme, le vanadium induit essentiellement des effets locaux de type irritation des voies respiratoires et de la muqueuse oculaire. Les études chez des volontaires sains exposés par voie orale n'ont pas montré d'effets toxiques des dérivés pentavalents et tétravalents du vanadium.

#### o Effets cancérogènes

L'UE n'a pas classé le pentoxyde de vanadium. En revanche, le CIRC classe le vanadium en 2B (cancérogène possible chez l'homme) et l'US EPA ne l'a pas étudié. La seule étude disponible chez l'homme montre qu'aucune altération de l'ADN n'a été détectée *via* le test des comètes, dans le cadre d'une exposition professionnelle.

Une augmentation de l'incidence des cancers bronchoalvéolaires chez les souris mâles et femelles et chez les rats mâles est observée lors d'une exposition par inhalation aux dérivés pentavalents du vanadium. Les dérivés tétravalents n'ont entraîné qu'une réduction de la prise de poids pour une exposition par voie orale chez le rat.

Le pentoxyde de vanadium est classé en catégorie 3 par l'UE pour son potentiel génotoxique.

#### o Effets sur la reproduction et le développement

Les études consacrées à l'action des composés du vanadium IV et V sur le développement révèlent systématiquement la présence d'anomalies du squelette. Les résultats de ces études sont toutefois difficiles à interpréter car les voies d'exposition étaient inhabituelles et la toxicité manifeste des composés pour les mères a pu influencer sur les effets constatés dans la progéniture.

Le vanadium n'est pas classé par l'Union Européenne et aucune donnée n'est disponible chez l'homme.

### **24.3. Classification et phrases de risque**

o N° CAS : 7440-62-2

o Phrases de risque : R36/37/38 : Irritant pour les yeux, les voies respiratoires et la peau.

o Phrases de risque selon le règlement CE n°1272/2008 : H315 : provoque une irritation cutanée – H319 : provoque une sévère irritation des yeux – H335 : peut irriter les voies respiratoires.

**24.4. Valeurs de référence**

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Vanadium	Inhalation	A Seuil	0,1 µg/m <sup>3</sup> (ATSDR, 2009) 1 µg/m <sup>3</sup> (RIVM, 2009, retenue par l'ANSES)	Syst. respiratoire Syst. respiratoire
		Sans seuil		
	Ingestion	A Seuil	0,01 mg/kg/j (ATSDR, 2009) 2 µg/kg/j (RIVM, 2009, valeur provisoire) 9.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j (USEPA, 1996) 9.10 <sup>-4</sup> mg/kg/j (USEPA, 2011) (non validé)	Sang Développement Cheveux, rein Sang
		Sans seuil	-	-

Les VTR retenues sont donc :

- pour l'**inhalation et les effets à seuil** : **1 µg/m<sup>3</sup>** (ATSDR, 2009).
- pour l'**ingestion et les effets à seuil** : **2 µg/kg/j** (RIVM, 2009).

## 25. ZINC

(source : « Zinc et ses dérivés – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, mise à jour 14/03/2005 » ; « Zinc et composés minéraux, INRS, mise à jour 2012 »)

### 25.1. Comportement

La présence de zinc dans l'environnement est naturelle (principalement sous forme de sulfure) et anthropique.

Dans l'environnement, le zinc se retrouve principalement à l'état d'oxydation +2. Le zinc s'accumule en surface des sols ; Les oxydes ou hydroxydes de fer et de manganèse et certaines argiles ont la capacité d'adsorber le zinc et ont tendance à retarder sa mobilité dans le sol.

### 25.2. Effets sur la santé

#### o Pénétration et devenir dans l'organisme

Le zinc constitue l'un des oligo-éléments les plus abondants chez l'homme.

Il intervient au niveau de la croissance, du développement osseux et cérébral, de la reproduction, du développement fœtal, du goût et de l'odorat, des fonctions immunitaires et de la cicatrisation des blessures. Les quantités journalières recommandées en zinc sont de 10 mg chez les enfants (1-10 ans), 12 mg chez la femme et 15 mg chez l'homme (NAS/NRC, 1989). La Commission des Communautés Européennes recommande toutefois des niveaux journaliers plus faibles : 9-10 mg/j et 7-9 mg/j pour respectivement les hommes et les femmes (CEE, 1993).

Les principaux organes contenant des quantités mesurables de zinc sont le foie, le tractus gastro-intestinal, les reins, la peau, les poumons, le cœur, le cerveau et le pancréas (Llobet *et al.*, 1988 ; Bentley et Grubb, 1991).

Le taux d'absorption du zinc inhalé n'est pas connu mais dépend de la taille et de la solubilité des particules. Chez l'homme, le taux d'absorption du zinc, pris en complément alimentaire, varie de 8 à 81 % et dépend de la quantité et de la qualité de la nourriture ingérée. Des personnes non carencées en zinc absorbent environ 20 à 30 % du zinc ingéré. Ce taux est augmenté en cas de carence (Johnson *et al.*, 1988).

Le zinc absorbé est transporté de façon active au niveau du plasma (Cousins, 1985).

Le zinc se répartit de façon non sélective dans les différents organes et tissus.

#### o Effets systémiques

Il y a peu de connaissances sur la toxicité à long terme du zinc par inhalation.

Par voie orale, des crampes d'estomac, des nausées et des vomissements ont été observées pour une exposition à du sulfate de zinc ou à de l'oxyde de zinc. De nombreux cas d'anémies ont été décrits chez des personnes supplémentées en zinc durant de longues périodes (1 à 8 ans).

Le zinc joue un rôle dans le développement et le maintien de l'intégrité du système immunitaire. Cependant, des doses trop élevées en zinc altèrent les réponses immunes et inflammatoires.

#### o Effets cancérigènes

Les études menées chez l'homme n'ont pas montré d'augmentation significative du nombre de cancer suite à l'exposition au zinc par inhalation.

Par voie orale, une seule étude est disponible chez l'animal ; celle-ci ne permet pas de démontrer un effet cancérigène du zinc.

#### o Effets sur la reproduction et le développement

Aucune donnée n'est disponible concernant la toxicité du zinc inhalé sur la reproduction et le développement humain (ATSDR, 1994).

Le zinc est nécessaire au développement fœtal. Une carence en zinc peut-être à l'origine de troubles chez les embryons. Une seule étude met en évidence des troubles du développement induits par une exposition trop importante au zinc.

D'autres études n'ont pas mis en évidence d'effets sur le développement fœtal après consommation, durant les six derniers mois de grossesse, de sulfate de zinc (Mahomed *et al.*, 1989) ou de citrate de zinc (Simmer *et al.*, 1991) à la dose de 0,3 mg/zinc/kg.

Le zinc et l'oxyde de zinc ont été étudiés par l'Union Européenne mais n'ont pas été classés mutagène ou toxique pour la reproduction.

### 25.3. Classification et phrases de risque

- o N° CAS : 7440-66-6
- o Etiquetage : N (dangereux pour l'environnement)
- o Phrases de risque : R50/53 : très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement

### 25.4. Valeurs de référence

Les valeurs toxicologiques de référence disponibles auprès de différents organismes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Composé	Voie exposition	Effet	VTR	Organe cible
Zinc	Inhalation	A seuil	-	-
		Sans seuil	-	-
	Ingestion	A seuil	0,3 mg/kg/j (US EPA, 1992 – ATSDR, 1994) 0,5 mg/kg/j (RIVM, 2001)	Système sanguin Système sanguin
		Sans seuil	-	-

Conformément aux critères de sélection de VTR et au document « Point sur les Valeurs Toxicologiques de Référence » (INERIS, mars 2009, rapport d'étude n°DRC-08-94380-11776C), la valeur retenue pour l'ingestion et les effets à seuil de **0,3 mg/kg/j** (US EPA, 1992).

# SOCCRAM final essai



Report generated: Tue Mar 10 09:38:36 CET 2020

## Table of contents

- 1 Project properties**
- 2 Materials/Species**
- 3. Model description**
  - 3.1. Constantes\_Reglages**
  - 3.2. Sol1**
  - 3.3. Sol10**
  - 3.4. Legumes\_racines**
  - 3.5. Tubercules**
  - 3.6. Fruits**
  - 3.7. Legumes\_feuilles**
  - 3.8. Legumes\_fruits**
  - 3.9. Poulet**
  - 3.10. Poule**
  - 3.11. Niveaux\_Exposition\_Risque**
- 4 Simulation settings**

# 1. Project properties

---

Project name	SOCGRAM final essai
Author	Julien TANGHE
Description	Modele_base : version 2.0.1

## **CHAMP D'UTILISATION**

MODUL'ERS est un outil logiciel pour la réalisation des évaluations de risque prospectives effectuées dans le cadre de l'analyse des effets pour la santé des installations classées et pour la réalisation des Analyses de Risques Résiduels des sites et sols pollués.

Il est donc avant tout orienté vers l'estimation des expositions et des risques chroniques pour une source de contamination locale.

Toutefois, les concentrations dans les milieux et les niveaux d'exposition sont également données en fonction du temps. La représentativité de ces données de sortie dépend de celles des données d'entrée et des hypothèses sur lesquelles reposent les modèles utilisés (calcul dynamique ou à l'état stationnaire, temps nécessaire pour satisfaire une hypothèse d'équilibre,...). Le détail de ces hypothèses est présenté dans le document "Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle" (référence INERIS DRC-08-94882-16675B).

MODUL'ERS peut être utilisé pour des substances organiques et inorganiques. Toutefois, dans sa version actuelle, MODUL'ERS ne prend pas en compte le pH des milieux et ne calcule pas la fraction ionisée des substances organiques partiellement ionisables. Pour étudier les substances organiques partiellement ionisables, il peut être nécessaire d'ajuster les paramètres relatifs aux substances en fonction de la répartition entre la forme neutre et la forme ionisée dans le milieu. Pour le mercure, MODUL'ERS donne des valeurs de paramètres pour les formes inorganique et organique, mais n'estime pas la répartition des deux formes dans les différents milieux.

## 2. Materials/Species

---

### Materials

Name	Enabled
2378 Tétrachlorodibenzodioxine	Yes
Antimoine	Yes
Arsenic	Yes
Benzo(a)pyrène	Yes
Cadmium	Yes
Chrome	Yes
Cobalt	Yes
Cuivre	Yes
Manganèse	Yes
Mercure	Yes
Nickel	Yes
Pb	Yes
Vanadium	Yes

### 3. Model description

#### Interaction Matrix

Constantes Reglages	Constantes Reglages to Sol	Constantes Reglages to Sol	Constantes Reglages to Fruits	Constantes Reglages to Legumes feuilles	Constantes Reglages to Legumes fruits	Constantes Reglages to Legumes racines	Constantes Reglages to Tubercules				1
	Sol1									Sol1 to Niveaux Exposition Risque	2
		Sol10						Sol10 to Poulet	Sol10 to Poule		3
			Fruits							Fruits to Niveaux Exposition Risque	4
				Legumes feuilles						Legumes feuilles to Niveaux Exposition Risque	5
					Legumes fruits					Legumes fruits to Niveaux Exposition Risque	6
						Legumes racines				Legumes racines to Niveaux Exposition Risque	7
							Tubercules			Tubercules to Niveaux Exposition Risque	8
								Poulet		Poulet to Niveaux Exposition Risque	9
									Poule	Poule to Niveaux Exposition Risque	10
										Niveaux Exposition Risque	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	

### 3.1. Constantes Reglages

Constantes Reglages		Sub-system
Id	Constantes_Reglages	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Constantes Reglages	
Object	Output	Sub-system
<b>organique</b>	organique organique organique organique organique organique organique	Sol1 Sol10 Legumes racines Tubercules Fruits Legumes feuilles Legumes fruits
<b>type Polluant</b>	type Polluant type Polluant type Polluant type Polluant type Polluant type Polluant type Polluant	Sol1 Sol10 Legumes racines Tubercules Fruits Legumes feuilles Legumes fruits
<b>inorganique</b>	inorganique inorganique inorganique inorganique inorganique inorganique inorganique	Sol1 Sol10 Legumes racines Tubercules Fruits Legumes feuilles Legumes fruits

## General variable changes

### Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">type_Polluant</a>	type Polluant	
Description		
Indiquer s'il s'agit d'un polluant organique ou inorganique		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	organique	
Antimoine	inorganique	Constantes_Reglages.non_defini
Arsenic	inorganique	
Benzo(a)pyrène	organique	
Cadmium	inorganique	
Chrome	inorganique	
Cobalt	inorganique	Constantes_Reglages.non_defini
Cuivre	inorganique	Constantes_Reglages.non_defini
Manganèse	inorganique	Constantes_Reglages.non_defini
Mercure	inorganique	
Nickel	inorganique	
Plomb	inorganique	
Vanadium	inorganique	

## 3.2. Sol1

Sol1		Sub-system
Id	Sol1	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Sol1	
Description	<p>Ce module permet de calculer la concentration <b>dans une couche de sol en surface</b> au cours du temps en tenant compte ou non des apports atmosphériques, des apports par irrigation et des mécanismes de perte (dégradation, lixiviation, érosion, ruissellement). Les concentrations dans l'eau du sol peuvent être calculées en tenant compte de la présence d'un mélange de substances dans le sol et en appliquant ou non la loi de Raoult.</p> <p><b>L'épaisseur de la couche de sol où s'accumule le polluant est définie en fonction de l'usage de la zone et du phénomène de transfert étudiés (cf. section 1.1.2.2.3). Pour deux couches de sol de hauteurs différentes, deux modules sol devront être définis .</b></p> <p>Voir le chapitre 1 Partie B du rapport Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle.</p>	
Object	Input	Sub-system
inorganique	inorganique	Constantes Replages
organique	organique	Constantes Replages
type Polluant	type Polluant	Constantes Replages
Object	Output	Sub-system
Dose <sub>ingsol,freq,expo,classe,age</sub>	Dose <sub>ingsol,freq,expo,classe,age</sub>	Niveaux Exposition Risque
Dose <sub>ingsol,freq,expo,individu</sub>	Dose <sub>ingsol,freq,expo,individu</sub>	Niveaux Exposition Risque

## General variable changes

### Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">apport_irrig</a>	apport irrig	
<b>Description</b>		
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte un apport par irrigation.		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	oui
Antimoine	non	
Arsenic	non	oui
Benzo(a)pyrène	non	oui
Cadmium	non	oui
Chrome	non	oui
Cobalt	non	
Cuivre	non	oui
Manganèse	non	
Mercure	non	oui
Nickel	non	oui
Plomb	non	oui
Vanadium	non	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">definition_Cs_attrib</a>	definition Cs attrib	
<b>Description</b>		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration de polluant dans le sol attribuable à la source ou aux sources étudiée(s) (hors bruit de fond) : valeur calculée par le modèle (Cs_attrib_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cs_attrib_E).		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	non_defini
Antimoine	valeur_calculée	non_defini
Arsenic	valeur_calculée	non_defini
Benzo(a)pyrène	valeur_calculée	non_defini
Cadmium	valeur_calculée	non_defini
Chrome	valeur_calculée	non_defini
Cobalt	valeur_calculée	non_defini
Cuivre	valeur_calculée	non_defini
Manganèse	valeur_calculée	non_defini
Mercure	valeur_calculée	non_defini
Nickel	valeur_calculée	non_defini
Plomb	valeur_calculée	non_defini
Vanadium	valeur_calculée	non_defini

Full Name	Symbol	Unit
-----------	--------	------

**Description**

A définir si definition\_Cs\_attrib=valeur\_calculée et apport\_atm=oui. Définir le type de données utilisées pour représenter les dépôts : 1) dépôt gazeux humide, dépôt gazeux sec, dépôt particulaire humide et/ou dépôts particulaires sec 2) dépôts gazeux et/ou dépôts particulaires 3) dépôts totaux.

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	option_depots3	non_defini
Antimoine	option_depots3	
Arsenic	option_depots3	non_defini
Benzo(a)pyrène	option_depots3	non_defini
Cadmium	option_depots3	non_defini
Chrome	option_depots3	non_defini
Cobalt	option_depots3	
Cuivre	option_depots3	non_defini
Manganèse	option_depots3	
Mercuré	option_depots3	non_defini
Nickel	option_depots3	non_defini
Plomb	option_depots3	non_defini
Vanadium	option_depots3	

**Parameter changes****Scalar parameters**

Full Name	Symbol	Unit			
<b>Epaisseur de la couche de sol considérée</b>	$Z_s$	m			
<b>Description</b>					
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.01	0.0				
<b>Comment</b>					
Vérifié. 0,01m pour l'ingestion de sol; 0,15 à 0,45 m pour les cultures maraîchères (0,3 m par défaut); 0,45 à 0,9 m pour les cultures de plein champs (0,6 m par défaut); 0,1 à 0,6 m pour le fourrage (0,5 m par défaut)					

Full Name	Symbol	Unit			
<b>Porosité du sol</b>	n	unitless			
<b>Description</b>					
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.5	0.0	0.3	0.7		
<b>Comment</b>					
Vérifié. Sols sableux : 0,4 par défaut ; sols limoneux ou argileux : 0,5 par défaut					

## Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
<b>Facteur de biodisponibilité relative du polluant dans le sol</b>	B <sub>s</sub>	unitless

### Description

A définir pour le calcul des doses d'exposition via l'ingestion de sol

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.8	1.0	0.5	0.8		
Antimoine	1.0					
Arsenic	1.0					
Benzo(a)pyrène	1.0					
Cadmium	1.0					
Chrome	1.0					
Cobalt	1.0					
Cuivre	1.0					
Manganèse	1.0					
Mercure	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					
Vanadium	1.0					

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Vérifié. Valeur prédéfinie égale à 1 (valeur conservatoire). Min et max fournis à titre indicatif, information et confiance limitées
Antimoine	
Arsenic	
Benzo(a)pyrène	
Cadmium	
Chrome	
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercure	
Nickel	
Plomb	
Vanadium	

Full Name	Symbol	Unit
<b>Fraction de la quantité de poussières ingérées par jour issue de ce sol</b>	fraction <sub>Qpous</sub>	unitless

### Description

A définir en cas d'ingestion de poussières issues de ce sol

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	1.0	0.0				
classe_10	1.0	0.0				

classe_2	1.0	0.0
classe_3	1.0	0.0
classe_4	1.0	0.0
classe_5	1.0	0.0
classe_6	1.0	0.0
classe_7	1.0	0.0
classe_8	1.0	0.0
classe_9	1.0	0.0

## Lookup table changes

### Vector lookup tables

Full Name	Symbol	Unit							
<b>Dépôt total sur le sol (hors bruit de fond)</b>	$D_t$	$\text{mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$							
<b>Description</b>									
A définir si option_depots3 pour definition_depot_atmospheriques									
<b>Cyclic option</b>									
No									
<b>Interpolation</b>									
Use Input Below									
<b>Time</b>	<b>2378_Tétrachlorodibenzodioxine</b>	<b>Time</b>	<b>Antimoine</b>	<b>Time</b>	<b>Arsenic</b>	<b>Time</b>	<b>Benzo(a)pyrène</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	3.55E-13	0.0	5.31E-7	0.0	4.47E-8	0.0	8.83E-8		
<b>Time</b>	<b>Cadmium</b>	<b>Time</b>	<b>Chrome</b>	<b>Time</b>	<b>Cobalt</b>	<b>Time</b>	<b>Cuivre</b>	<b>Time</b>	<b>Manganèse</b>
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0
0.0	2.65E-7	0.0	7.87E-8	0.0	5.38E-7	0.0	5.9E-7	0.0	6.48E-7
<b>Time</b>	<b>Mercure</b>	<b>Time</b>	<b>Nickel</b>	<b>Time</b>	<b>Plomb</b>	<b>Time</b>	<b>Vanadium</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	2.57E-7	0.0	8.27E-7	0.0	4.92E-8	0.0	5.37E-7		

### 3.3. Sol10

Sol10		Sub-system
Id	Sol10	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Sol10	
Description	<p>Ce module permet de calculer la concentration <b>dans une couche de sol en surface</b> au cours du temps en tenant compte ou non des apports atmosphériques, des apports par irrigation et des mécanismes de perte (dégradation, lixiviation, érosion, ruissellement). Les concentrations dans l'eau du sol peuvent être calculées en tenant compte de la présence d'un mélange de substances dans le sol et en appliquant ou non la loi de Raoult.</p> <p><b>L'épaisseur de la couche de sol où s'accumule le polluant est définie en fonction de l'usage de la zone et du phénomène de transfert étudiés (cf. section 1.1.2.2.3). Pour deux couches de sol de hauteurs différentes, deux modules sol devront être définis .</b></p> <p>Voir le chapitre 1 Partie B du rapport Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle.</p>	
Object	Input	Sub-system
organique	organique	Constantes Replages
inorganique	inorganique	Constantes Replages
type Polluant	type Polluant	Constantes Replages
Object	Output	Sub-system
Cs attrib	Cs <sub>2</sub>	Poulet
	Cs <sub>2</sub>	Poule

## General variable changes

### Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">apport_irrig</a>	apport irrig	
<b>Description</b>		
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte un apport par irrigation.		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	oui
Antimoine	non	
Arsenic	non	oui
Benzo(a)pyrène	non	oui
Cadmium	non	oui
Chrome	non	oui
Cobalt	non	
Cuivre	non	oui
Manganèse	non	
Mercure	non	oui
Nickel	non	oui
Plomb	non	oui
Vanadium	non	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">definition_Cs_attrib</a>	definition Cs attrib	
<b>Description</b>		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration de polluant dans le sol attribuable à la source ou aux sources étudiée(s) (hors bruit de fond) : valeur calculée par le modèle (Cs_attrib_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cs_attrib_E).		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	non_defini
Antimoine	valeur_calculée	
Arsenic	valeur_calculée	non_defini
Benzo(a)pyrène	valeur_calculée	non_defini
Cadmium	valeur_calculée	non_defini
Chrome	valeur_calculée	non_defini
Cobalt	valeur_calculée	
Cuivre	valeur_calculée	non_defini
Manganèse	valeur_calculée	
Mercure	valeur_calculée	non_defini
Nickel	valeur_calculée	non_defini
Plomb	valeur_calculée	non_defini
Vanadium	valeur_calculée	

Full Name	Symbol	Unit
-----------	--------	------

**Description**

A définir si definition\_Cs\_attrib=valeur\_calculée et apport\_atm=oui. Définir le type de données utilisées pour représenter les dépôts : 1) dépôt gazeux humide, dépôt gazeux sec, dépôt particulaire humide et/ou dépôts particuliers sec 2) dépôts gazeux et/ou dépôts particuliers 3) dépôts totaux.

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	option_depots3	non_defini
Antimoine	option_depots3	
Arsenic	option_depots3	non_defini
Benzo(a)pyrène	option_depots3	non_defini
Cadmium	option_depots3	non_defini
Chrome	option_depots3	non_defini
Cobalt	option_depots3	
Cuivre	option_depots3	non_defini
Manganèse	option_depots3	
Mercuré	option_depots3	non_defini
Nickel	option_depots3	non_defini
Plomb	option_depots3	non_defini
Vanadium	option_depots3	

**Parameter changes****Scalar parameters**

Full Name	Symbol	Unit			
<b>Epaisseur de la couche de sol considérée</b>	$Z_s$	m			
<b>Description</b>					
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.1	0.0				
<b>Comment</b>					
Vérifié. 0,01m pour l'ingestion de sol; 0,15 à 0,45 m pour les cultures maraîchères (0,3 m par défaut); 0,45 à 0,9 m pour les cultures de plein champs (0,6 m par défaut); 0,1 à 0,6 m pour le fourrage (0,5 m par défaut)					

Full Name	Symbol	Unit			
<b>Porosité du sol</b>	n	unitless			
<b>Description</b>					
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.5	0.0	0.3	0.7		
<b>Comment</b>					
Vérifié. Sols sableux : 0,4 par défaut ; sols limoneux ou argileux : 0,5 par défaut					

## Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit				
<b>Facteur de biodisponibilité relative du polluant dans le sol</b>	$B_s$	unitless				
<b>Description</b>						
A définir pour le calcul des doses d'exposition via l'ingestion de sol						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.8	1.0	0.5	0.8		
Antimoine	1.0					
Arsenic	1.0					
Benzo(a)pyrène	1.0					
Cadmium	1.0					
Chrome	1.0					
Cobalt	1.0					
Cuivre	1.0					
Manganèse	1.0					
Mercure	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					
Vanadium	1.0					
Materials	Comment					
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Vérifié. Valeur prédéfinie égale à 1 (valeur conservatoire). Min et max fournis à titre indicatif, information et confiance limitées					
Antimoine						
Arsenic						
Benzo(a)pyrène						
Cadmium						
Chrome						
Cobalt						
Cuivre						
Manganèse						
Mercure						
Nickel						
Plomb						
Vanadium						

## Lookup table changes

### Vector lookup tables

Full Name	Symbol	Unit
<b>Dépôt total sur le sol (hors bruit de fond)</b>	$D_t$	$\text{mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>Description</b>		
A définir si option_depots3 pour definition_depot_atmospheriques		

**Cyclic option**

No

**Interpolation**

Use Input Below

<b>Time</b>	<b>2378_Tétrachlorodibenzodioxine</b>	<b>Time</b>	<b>Antimoine</b>	<b>Time</b>	<b>Arsenic</b>	<b>Time</b>	<b>Benzo(a)pyrène</b>
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0
0.0	3.55E-13	0.0	5.31E-7	0.0	4.47E-8	0.0	8.83E-8

<b>Time</b>	<b>Cadmium</b>	<b>Time</b>	<b>Chrome</b>	<b>Time</b>	<b>Cobalt</b>	<b>Time</b>	<b>Cuivre</b>	<b>Time</b>	<b>Manganèse</b>
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0
0.0	2.65E-7	0.0	7.87E-8	0.0	5.38E-7	0.0	5.9E-7	0.0	6.48E-7

<b>Time</b>	<b>Mercure</b>	<b>Time</b>	<b>Nickel</b>	<b>Time</b>	<b>Plomb</b>	<b>Time</b>	<b>Vanadium</b>
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0
0.0	2.57E-7	0.0	8.27E-7	0.0	4.92E-8	0.0	5.37E-7

### 3.4. Legumes racines

Legumes racines		Sub-system
Id	Legumes_racines	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Legumes racines	
Description	<p>Ce module permet de calculer les concentrations dans les végétaux consommées liés aux dépôts atmosphériques directs, à l'absorption gazeuse (polluants organiques), aux dépôts de particules du sol remises en suspension, à l'irrigation par aspersion, au prélèvement direct à partir du sol. Pour calculer la concentration dans le végétal considéré, il est nécessaire de définir son type (grains, autres_parties_supérieures d'une plante : tige, feuilles, fruits ; fourrage, tubercules, parties_racinaires) et les différents transferts à prendre en compte. Un module sera défini pour chaque type de végétal à considérer.</p> <p><b>Ce module est paramétré pour des végétaux de type "légumes-racines".</b></p> <p>Les concentrations dans les végétaux sont données au moment de la récolte et de récolte en récolte. La date de récolte (Trecolte) doit être supérieure aux dates de début de prélèvement sol (Tdat_prel) et de début d'exposition aux dépôts (Texp_veg). Pour les substances organiques et certains types de végétaux, des relations en fonction du Kow sont proposées pour estimer les coefficients de bioconcentration sol-plante et air-plante. Ce module permet éventuellement de calculer la concentration dans l'eau du sol de la couche racinaire à partir de la concentration définie pour cette couche et en appliquant ou non la loi de Raoult.</p> <p>Voir le chapitre 1.6 Partie B du rapport Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle.</p>	
Object	Input	Sub-system
organique	organique	Constantes Reglages
inorganique	inorganique	Constantes Reglages
type Polluant	type Polluant	Constantes Reglages
Object	Output	Sub-system
Dose <sub>veg,individu</sub>	Dose <sub>veg,individu</sub>	Niveaux Exposition Risque
Dose <sub>veg,classe,age</sub>	Dose <sub>veg,classe,age</sub>	Niveaux Exposition Risque

## General variable changes

### Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">definition_Cp</a>	definition Cp	
<b>Description</b>		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Legumes_racines.valeur_entree
Antimoine	valeur_calculée	
Arsenic	valeur_calculée	Legumes_racines.valeur_entree
Benzo(a)pyrène	valeur_calculée	Legumes_racines.valeur_entree
Cadmium	valeur_calculée	Legumes_racines.valeur_entree
Chrome	valeur_calculée	Legumes_racines.valeur_entree
Cobalt	valeur_calculée	
Cuivre	valeur_calculée	Legumes_racines.valeur_entree
Manganèse	valeur_calculée	
Mercure	valeur_calculée	Legumes_racines.valeur_entree
Nickel	valeur_calculée	Legumes_racines.valeur_entree
Plomb	valeur_calculée	Legumes_racines.valeur_entree
Vanadium	valeur_calculée	

## Parameter changes

### Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit			
<a href="#">Fraction de la quantité consommée et exposée à la contamination du site pour le végétal</a>	$f_{veg,exp}$	unitless			
<b>Description</b>					
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal					
<b>Value</b>	<b>Predefined</b>	<b>Min value</b>	<b>Max value</b>	<b>PDF</b>	<b>Predefined</b>
0.25	0.45	0.25	0.65		
<b>Comment</b>					
Vérifié. Valeur par défaut, min et max correspondent respectivement à la population possédant un jardin, à la population générale, à la population agricole					

### Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)</a>	Br <sub>E</sub>	$mg\ kg_{vegsec}^{-1} (mg\ kg^{-1})^{-1}$
<b>Description</b>		

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée, si prelevement\_direct\_sol=oui et si Br= Br\_E. Facteur de bioconcentration sol-plante : valeur définie par l'utilisateur. En l'absence de données, mettre -1.

<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined</b>	<b>Min value</b>	<b>Max value</b>	<b>PDF</b>	<b>Predefined</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0042					
Antimoine	0.0	-1.0				
Arsenic	0.013	-1.0	4.3E-4	0.37	logn(0.03,0.063)	
Benzo(a)pyrène	0.02	0.0060	0.0030	0.01		
Cadmium	0.58	-1.0	0.065	5.1	logn(0.82,0.84)	
Chrome	0.01	-1.0	7.5E-4	0.14	logn(0.017,0.023)	
Cobalt	0.065	-1.0				
Cuivre	0.25	-1.0				
Manganèse	0.15	-1.0				
Mercure	0.043	-1.0	0.011	0.16	logn(0.049,0.028)	
Nickel	0.025	-1.0	0.0034	0.19	logn(0.034,0.031)	
Plomb	0.041	-1.0	2.9E-4	6.0	logn(0.27,1.7)	
Vanadium	0.0030					
<b>Materials</b>	<b>Comment</b>					
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé					
Antimoine						
Arsenic	Validé. médiane =1,3e-2					
Benzo(a)pyrène	Vérifié					
Cadmium	Validé. médiane =0,58					
Chrome	Validé. médiane =0,010					
Cobalt						
Cuivre						
Manganèse						
Mercure	Validé. médiane =0,043					
Nickel	Validé. médiane =0,025					
Plomb	Validé. médiane =0,041					
Vanadium	Non vérifié					

### 3.5. Tubercules

Tubercules		Sub-system
Id	Tubercules	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Tubercules	
Description	<p>Ce module permet de calculer les concentrations dans les végétaux consommés liées aux dépôts atmosphériques directs, à l'absorption gazeuse (polluants organiques), aux dépôts de particules du sol remises en suspension, à l'irrigation par aspersion, au prélèvement direct à partir du sol. Pour calculer la concentration dans le végétal considéré, il est nécessaire de définir son type (grains, autres_parties_supérieures d'une plante : tige, feuilles, fruits ; fourrage, tubercules, parties_racinaires) et les différents transferts à prendre en compte. Un module sera défini pour chaque type de végétal à considérer.</p> <p><b>Ce module est paramétré pour des végétaux de type "tubercule".</b></p> <p>Les concentrations dans les végétaux sont données au moment de la récolte et de récolte en récolte. La date de récolte (Trecolte) doit être supérieure aux dates de début de prélèvement sol (Tdat_prel) et de début d'exposition aux dépôts (Texp_veg). Pour les substances organiques et certains types de végétaux, des relations en fonction du Kow sont proposées pour estimer les coefficients de bioconcentration sol-plante et air-plante. Ce module permet éventuellement de calculer la concentration dans l'eau du sol de la couche racinaire à partir de la concentration définie pour cette couche et en appliquant ou non la loi de Raoult.</p> <p>Voir le chapitre 1.6 Partie B du rapport Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle.</p>	
Object	Input	Sub-system
organique	organique	Constantes Reglages
inorganique	inorganique	Constantes Reglages
type Polluant	type Polluant	Constantes Reglages
Object	Output	Sub-system
Dose <sub>veg,classe,age</sub>	Dose <sub>veg,classe,age</sub>	Niveaux Exposition Risque
Dose <sub>veg,individu</sub>	Dose <sub>veg,individu</sub>	Niveaux Exposition Risque

## General variable changes

### Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">definition_Cp</a>	definition Cp	
<b>Description</b>		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Tubercules.valeur_entree
Antimoine	valeur_calculée	
Arsenic	valeur_calculée	Tubercules.valeur_entree
Benzo(a)pyrène	valeur_calculée	Tubercules.valeur_entree
Cadmium	valeur_calculée	Tubercules.valeur_entree
Chrome	valeur_calculée	Tubercules.valeur_entree
Cobalt	valeur_calculée	
Cuivre	valeur_calculée	Tubercules.valeur_entree
Manganèse	valeur_calculée	
Mercure	valeur_calculée	Tubercules.valeur_entree
Nickel	valeur_calculée	Tubercules.valeur_entree
Plomb	valeur_calculée	Tubercules.valeur_entree
Vanadium	valeur_calculée	

## Parameter changes

### Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit			
<a href="#">Fraction de la quantité consommée et exposée à la contamination du site pour le végétal</a>	$f_{veg,exp}$	unitless			
<b>Description</b>					
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal					
<b>Value</b>	<b>Predefined</b>	<b>Min value</b>	<b>Max value</b>	<b>PDF</b>	<b>Predefined</b>
0.25	0.45	0.25	0.75		
<b>Comment</b>					
Vérifié. Valeur par défaut, min et max correspondent respectivement à la population possédant un jardin, à la population générale, à la population agricole					

### Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)</a>	Br E	$\text{mg kg}_{vegsec}^{-1} (\text{mg kg}^{-1})$ -1
<b>Description</b>		

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée, si prelevement\_direct\_sol=oui et si Br= Br\_E. Facteur de bioconcentration sol-plante : valeur définie par l'utilisateur. En l'absence de données, mettre -1.

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	8.4E-4	8.4E-4				
Antimoine	0.0	-1.0				
Arsenic	0.0037	-1.0	1.3E-4	0.1	logn(0.0085,0.0178)	
Benzo(a)pyrène	1.0E-4	1.0E-4	6.0E-5	2.0E-4		
Cadmium	0.11	-1.0	0.0013	9.6	logn(0.5,2.18)	
Chrome	0.0088	-1.0	3.1E-4	0.25	logn(0.021,0.043)	
Cobalt	0.065	-1.0				
Cuivre	0.25	-1.0				
Manganèse	0.15	-1.0				
Mercure	3.0	-1.0	0.05	0.2		
Nickel	0.037	-1.0	0.0010	1.4	logn(0.1,0.24)	
Plomb	0.014	-1.0	0.0010	0.059	logn(0.024,0.014)	
Vanadium	0.0030		7.8E-5	0.0028		

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé
Antimoine	
Arsenic	Validé. médiane =3,7e-3
Benzo(a)pyrène	Vérifié
Cadmium	Validé. médiane =0,11
Chrome	Validé. médiane =8,8e-3
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercure	Vérifié
Nickel	Validé. médiane =3,7e-2
Plomb	Validé. médiane =1,4e-2
Vanadium	Non vérifié

### 3.6. Fruits

Fruits		Sub-system
Id	Fruits	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Fruits	
Description	<p>Ce module permet de calculer les concentrations dans les végétaux consommés liées aux dépôts atmosphériques directs, à l'absorption gazeuse (polluants organiques), aux dépôts de particules du sol remises en suspension, à l'irrigation par aspersion, au prélèvement direct à partir du sol. Pour calculer la concentration dans le végétal considéré, il est nécessaire de définir son type (grains, autres_parties_supérieures d'une plante : tige, feuilles, fruits ; fourrage, tubercules, parties_racinaires) et les différents transferts à prendre en compte. Un module sera défini pour chaque type de végétal à considérer.</p> <p><b>Ce module est paramétré pour des végétaux de type "fruits".</b></p> <p>Les concentrations dans les végétaux sont données au moment de la récolte et de récolte en récolte. La date de récolte (Trecolte) doit être supérieure aux dates de début de prélèvement sol (Tdat_prel) et de début d'exposition aux dépôts (Texp_veg). Pour les substances organiques et certains types de végétaux, des relations en fonction du Kow sont proposées pour estimer les coefficients de bioconcentration sol-plante et air-plante. Ce module permet éventuellement de calculer la concentration dans l'eau du sol de la couche racinaire à partir de la concentration définie pour cette couche et en appliquant ou non la loi de Raoult.</p> <p>Voir le chapitre 1.6 Partie B du rapport Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle.</p>	
Object	Input	Sub-system
organique	organique	Constantes Reglages
inorganique	inorganique	Constantes Reglages
type Polluant	type Polluant	Constantes Reglages
Object	Output	Sub-system
Dose <sub>veg,individu</sub>	Dose <sub>veg,individu</sub>	Niveaux Exposition Risque
Dose <sub>veg,classe,age</sub>	Dose <sub>veg,classe,age</sub>	Niveaux Exposition Risque

## General variable changes

### Scalar general variables

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">modele_interception</a>	modele interception	
<b>Description</b>		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et (si depots_particulaires_atm=oui, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=oui) et si (type_plante=fourrage ou type_plante=autres_parties_superieures). Indiquer si vous souhaitez tenir compte de l'évolution du facteur d'interception des dépôts par les parties consommables du végétal considéré (ne concerne que les parties foliaires ou les fruits) pendant sa période de croissance. Sinon, le facteur d'interception maximal (Imax) est pris en compte sur toute la période d'exposition aux dépôts (periode_exp_veg)		
<b>Value</b>		
oui	Fruits.non	

### Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">Concentration dans l'air extérieur sous forme particulaire et issue du sol</a>	Cap e sol	
<b>Description</b>		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_indirects_sol=option_vit_depot_part. Sélectionner la concentration dans l'air sous forme particulaire et issue du sol pour le dépôt indirect à partir du sol sur les végétaux: valeur définie par l'utilisateur (Cap_e_sol_E) ou calculée par le modèle (Cap_e_sol_C)		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Cap_e_sol_C	Fruits.Cap_e_sol_E
Antimoine	Cap_e_sol_C	
Arsenic	Cap_e_sol_C	Fruits.Cap_e_sol_E
Benzo(a)pyrène	Cap_e_sol_C	Fruits.Cap_e_sol_E
Cadmium	Cap_e_sol_C	Fruits.Cap_e_sol_E
Chrome	Cap_e_sol_C	Fruits.Cap_e_sol_E
Cobalt	Cap_e_sol_C	
Cuivre	Cap_e_sol_C	Fruits.Cap_e_sol_E
Manganèse	Cap_e_sol_C	
Mercure	Cap_e_sol_C	Fruits.Cap_e_sol_E
Nickel	Cap_e_sol_C	Fruits.Cap_e_sol_E
Plomb	Cap_e_sol_C	Fruits.Cap_e_sol_E
Vanadium	Cap_e_sol_C	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">definition_Cp</a>	definition Cp	
<b>Description</b>		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Fruits.valeur_entree

Antimoine	valeur_calculée	
Arsenic	valeur_calculée	Fruits.valeur_entree
Benzo(a)pyrène	valeur_calculée	Fruits.valeur_entree
Cadmium	valeur_calculée	Fruits.valeur_entree
Chrome	valeur_calculée	Fruits.valeur_entree
Cobalt	valeur_calculée	
Cuivre	valeur_calculée	Fruits.valeur_entree
Manganèse	valeur_calculée	
Mercure	valeur_calculée	Fruits.valeur_entree
Nickel	valeur_calculée	Fruits.valeur_entree
Plomb	valeur_calculée	Fruits.valeur_entree
Vanadium	valeur_calculée	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">definition_depots_atmospheriques</a>	definition depots atmospheriques	

**Description**

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée et si depots\_particulaires\_atm=où. Définir le type de données utilisées pour représenter les dépôts atmosphériques directs : 1) dépôt gazeux humide, dépôt gazeux sec, dépôt particulaire humide et/ou dépôts particulaires sec 2) dépôts gazeux totaux et/ou dépôts particulaires totaux 3) dépôts totaux

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	option_depots3	Fruits.non_defini
Antimoine	option_depots3	
Arsenic	option_depots3	Fruits.non_defini
Benzo(a)pyrène	option_depots3	Fruits.non_defini
Cadmium	option_depots3	Fruits.non_defini
Chrome	option_depots3	Fruits.non_defini
Cobalt	option_depots3	
Cuivre	option_depots3	Fruits.non_defini
Manganèse	option_depots3	
Mercure	option_depots3	Fruits.non_defini
Nickel	option_depots3	Fruits.non_defini
Plomb	option_depots3	Fruits.non_defini
Vanadium	option_depots3	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">depot_irrigation</a>	depot irrigation	

**Description**

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte le dépôt sur les végétaux lié à l'irrigation par aspersion pour cette catégorie de plante. Ce dépôt n'est pris en compte par le modèle que pour les végétaux correspondant à la partie foliaire ou aux autres parties supérieures des plantes (cf. type\_plante). Sélectionner "non" si type\_plante est différent de "autres\_parties\_superieures" ou si type\_plante est différent de "fourrage".

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	Fruits.oui
Antimoine	non	

Arsenic	non	Fruits.oui
Benzo(a)pyrène	non	Fruits.oui
Cadmium	non	Fruits.oui
Chrome	non	Fruits.oui
Cobalt	non	
Cuivre	non	Fruits.oui
Manganèse	non	
Mercure	non	Fruits.oui
Nickel	non	Fruits.oui
Plomb	non	Fruits.oui
Vanadium	non	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">depots_indirects_sol</a>	depots indirects sol	

#### Description

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte le dépôt de particules issues du sol pour cette catégorie de plante et si oui, si vous souhaitez estimer la concentration résultante dans la plante à partir de la fraction de particules adhérent à la plante (option\_f\_part\_veg) ou à partir de la vitesse de dépôt des particules (option\_vit\_depot\_part).

Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour des produits végétaux correspondant à la partie foliaire ou aux autres parties supérieures des plantes non protégées par une enveloppe (cf. type\_plante). Sélectionner "non" si type\_plante est différent de "autres\_parties\_superieures" ou si type\_plante est différent de "fourrage".

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	option_vit_depot_part	Fruits.non_defini
Antimoine	option_vit_depot_part	
Arsenic	option_vit_depot_part	Fruits.non_defini
Benzo(a)pyrène	option_vit_depot_part	Fruits.non_defini
Cadmium	option_vit_depot_part	Fruits.non_defini
Chrome	option_vit_depot_part	Fruits.non_defini
Cobalt	option_vit_depot_part	
Cuivre	option_vit_depot_part	Fruits.non_defini
Manganèse	option_vit_depot_part	
Mercure	option_vit_depot_part	Fruits.non_defini
Nickel	option_vit_depot_part	Fruits.non_defini
Plomb	option_vit_depot_part	Fruits.non_defini
Vanadium	option_vit_depot_part	

## Parameter changes

### Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">Fraction de la quantité consommée et exposée à la contamination du site pour le végétal</a>	f <sub>veg,exp</sub>	unitless

**Description**

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.1	0.2	0.1	0.25		
<b>Comment</b>					
Valeur par défaut, min et max correspondent respectivement à l'autoconsommation de la population possédant un jardin, à la population générale, à la population agricole					

### Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
<b>Bf_E (Facteur de bioconcentration air-plante)</b>	Bf <sub>E</sub>	m <sup>3</sup> kg <sub>vegfr</sub> <sup>-1</sup>

**Description**  
Validé. Cette valeur intègre le lavage et la préparation

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	100.0		80.0	240.0		
Antimoine	0.0	-1.0				
Arsenic	0.0					
Benzo(a)pyrène	0.021393253	-1.0				
Cadmium	0.0					
Chrome	0.0					
Cobalt	0.0	-1.0				
Cuivre	0.0	-1.0				
Manganèse	0.0	-1.0				
Mercure	2100.0	-1.0	1500.0	3000.0		
Nickel	0.0					
Plomb	0.0					
Vanadium	0.0					

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé
Antimoine	
Arsenic	
Benzo(a)pyrène	
Cadmium	
Chrome	
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercure	Vérfié. Valeur médiane = 2100
Nickel	
Plomb	
Vanadium	

Full Name	Symbol	Unit
<b>Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)</b>	Br <sub>E</sub>	mg kg <sub>vegsec</sub> <sup>-1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>-1</sup>

**Description**

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée, si prelevement\_direct\_sol=oui et si Br= Br\_E. Facteur de bioconcentration sol-plante : valeur définie par l'utilisateur. En l'absence de données, mettre -1.

Materials	Value	Predefined Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0				
Antimoine	0.0	-1.0			
Arsenic	0.0036	-1.0	1.3E-5	0.99	logn(0.0387,0.418)
Benzo(a)pyrène	0.0020				
Cadmium	0.15	-1.0	0.0030	7.8	logn(0.488,0.149)
Chrome	0.01	-1.0	6.9E-5	1.5	logn(0.0674,0.436)
Cobalt	0.05	-1.0			
Cuivre	0.34	-1.0			
Manganèse	0.32	-1.0			
Mercure	0.02	-1.0	8.6E-4	0.48	logn(0.043,0.081)
Nickel	0.13	-1.0	0.0030	5.2	logn(0.359,0.96)
Plomb	0.012	-1.0	1.51E-4	0.98	logn(0.0521,0.217)
Vanadium	0.0030		0.0010	0.0070	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé
Antimoine	
Arsenic	Validé. médiane =3,6e-3
Benzo(a)pyrène	Vérifié
Cadmium	Validé. médiane =0,15
Chrome	Validé. médiane =0,010
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercure	Validé. Médiane =0,020
Nickel	Validé. médiane =0,13
Plomb	Validé. médiane =0,012
Vanadium	Non vérifié

Full Name	Symbol	Unit
<b>Pression de vapeur à température ambiante</b>	Pvap <sub>Ta</sub>	Pa

**Description**

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée, absorption\_gazeuse=oui et si Cag\_e n'est pas définie (y compris par un module amont, par connexion). Paramètre servant au calcul de Cag\_e à partir de Cair.

Materials	Value	Predefined Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	2.0E-7	9.9E-8	4.5E-6		

Antimoine	-1.0	
Arsenic	0.0	
Benzo(a)pyrène	7.32E-7	
Cadmium	0.0	
Chrome	0.0	
Cobalt	-1.0	
Cuivre	0.0	-1.0
Manganèse	-1.0	
Mercure	0.0090	
Nickel	0.0	
Plomb	0.0	
Vanadium	0.0	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé
Antimoine	
Arsenic	Vérifié
Benzo(a)pyrène	Vérifié
Cadmium	Vérifié
Chrome	Vérifié
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercure	Vérifié (Chlorure de mercure). Pour le mercure organique : 1,8 (méthylmercure)
Nickel	Vérifié
Plomb	Vérifié
Vanadium	Vérifié

Full Name	Symbol	Unit
Température de fusion	T <sub>m</sub>	K

**Description**  
A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée, absorption\_gazeuse=oui et si Cag\_e n'est pas définie (y compris par un module amont, par connexion). Paramètre servant au calcul de Cag\_e à partir de Cair.

Materials	Value	Predefined Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	578.65				
Antimoine	-1.0				
Arsenic	1087.15				
Benzo(a)pyrène	452.3				
Cadmium	594.15				
Chrome	2176.15				
Cobalt	-1.0				
Cuivre	1358.0	-1.0			
Manganèse	-1.0				

Mercure	550.1
Nickel	1725.15
Plomb	600.65
Vanadium	2190.15
<b>Materials</b>	<b>Comment</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé
Antimoine	
Arsenic	Vérifié
Benzo(a)pyrène	Vérifié
Cadmium	Vérifié
Chrome	Vérifié
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercure	Non vérifié (Chlorure de mercure). Pour le mercure organique : 443 (méthylmercure)
Nickel	Vérifié
Plomb	Vérifié
Vanadium	Vérifié

## Lookup table changes

### Vector lookup tables

Full Name	Symbol	Unit							
<b>Concentration de polluant dans l'air sous forme gazeuse</b>	Cag <sub>e</sub>	mg m <sup>-3</sup>							
<b>Description</b>									
<p>A définir si definition_Cp=valeur_calculée, absorption_gazeuse=oui. L'utilisateur doit alors définir Cair (Concentration de polluant dans l'air sous forme particulaire et gazeuse) ou Cag<sub>e</sub> (Concentration de polluant dans l'air sous forme gazeuse). Cag<sub>e</sub> peut être définie par un module amont (par connexion à partir de Cag<sub>e</sub> dans le module "Par_envir", à partir de Cag<sub>e</sub>_Hb_attrib ou à partir de Cag<sub>e</sub>_Hb_tot dans le module "Conc_gaz_ext"). <b>Si Cag<sub>e</sub> et Cair sont renseignés, Cag<sub>e</sub> est utilisée prioritairement. Si l'on veut utiliser Cair, laisser la valeur -1 par défaut pour Cag<sub>e</sub></b></p>									
<b>Cyclic option</b>									
No									
<b>Interpolation</b>									
Interpolation-Extrapolation									
<b>Time</b>	<b>2378_Tétrachlorodibenzodioxine</b>	<b>Time</b>	<b>Antimoine</b>	<b>Time</b>	<b>Arsenic</b>	<b>Time</b>	<b>Benzo(a)pyrène</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	6.03E-26	0.0	1.67E-19	0.0	7.81E-18	0.0	3.3E-16		
<b>Time</b>	<b>Cadmium</b>	<b>Time</b>	<b>Chrome</b>	<b>Time</b>	<b>Cobalt</b>	<b>Time</b>	<b>Cuivre</b>	<b>Time</b>	<b>Manganèse</b>
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0
0.0	2.33E-18	0.0	4.5E-18	0.0	1.34E-18	0.0	1.05E-17	0.0	2.06E-17
<b>Time</b>	<b>Mercure</b>	<b>Time</b>	<b>Nickel</b>	<b>Time</b>	<b>Plomb</b>	<b>Time</b>	<b>Vanadium</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	2.22E-18	0.0	5.2E-17	0.0	1.3E-17	0.0	1.28E-18		

Full Name	Symbol	Unit							
<b>Concentration de polluant dans l'air sous forme particulaire et gazeuse</b>	Cair	mg m <sup>-3</sup>							
<b>Description</b>									
A définir si definition_Cp=valeur_calculée, absorption_gazeuse=oui et si type_polluant=organique (hors mercure organique). L'utilisateur doit alors définir Cair (Concentration de polluant dans l'air sous forme particulaire et gazeuse) ou Cag_e (Concentration de polluant dans l'air sous forme gazeuse). Si Cag_e et Cair sont renseignés, Cag_e est utilisée prioritairement. Pour le mercure, utiliser Cag_e et non Cair.									
<b>Cyclic option</b>									
No									
<b>Interpolation</b>									
Interpolation-Extrapolation									
<b>Time</b>	<b>2378_Tétrachlorodibenzodioxine</b>	<b>Time</b>	<b>Antimoine</b>	<b>Time</b>	<b>Arsenic</b>	<b>Time</b>	<b>Benzo(a)pyrène</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0		
<b>Time</b>	<b>Cadmium</b>	<b>Time</b>	<b>Chrome</b>	<b>Time</b>	<b>Cobalt</b>	<b>Time</b>	<b>Cuivre</b>	<b>Time</b>	<b>Manganèse</b>
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0
0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0
<b>Time</b>	<b>Mercure</b>	<b>Time</b>	<b>Nickel</b>	<b>Time</b>	<b>Plomb</b>	<b>Time</b>	<b>Vanadium</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0		

Full Name	Symbol	Unit							
<b>Dépôt particulaire total sur les végétaux (hors bruit de fond)</b>	D <sub>pt</sub>	mg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>							
<b>Description</b>									
A définir si option_depots2 ou option_depots3 retenue pour definition_depot_atmospheriques									
<b>Cyclic option</b>									
No									
<b>Interpolation</b>									
Interpolation-Extrapolation									
<b>Time</b>	<b>2378_Tétrachlorodibenzodioxine</b>	<b>Time</b>	<b>Antimoine</b>	<b>Time</b>	<b>Arsenic</b>	<b>Time</b>	<b>Benzo(a)pyrène</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	3.55E-13	0.0	5.31E-7	0.0	4.47E-8	0.0	8.83E-8		
<b>Time</b>	<b>Cadmium</b>	<b>Time</b>	<b>Chrome</b>	<b>Time</b>	<b>Cobalt</b>	<b>Time</b>	<b>Cuivre</b>	<b>Time</b>	<b>Manganèse</b>
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0
0.0	2.65E-7	0.0	7.87E-8	0.0	5.38E-7	0.0	5.9E-7	0.0	6.48E-7
<b>Time</b>	<b>Mercure</b>	<b>Time</b>	<b>Nickel</b>	<b>Time</b>	<b>Plomb</b>	<b>Time</b>	<b>Vanadium</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	2.57E-7	0.0	8.27E-7	0.0	4.92E-8	0.0	5.37E-7		

### 3.7. Legumes feuilles

Legumes feuilles		Sub-system
Id	Legumes_feuilles	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Legumes feuilles	
Description	<p>Ce module permet de calculer les concentrations dans les végétaux consommés liées aux dépôts atmosphériques directs, à l'absorption gazeuse (polluants organiques), aux dépôts de particules du sol remises en suspension, à l'irrigation par aspersion, au prélèvement direct à partir du sol. Pour calculer la concentration dans le végétal considéré, il est nécessaire de définir son type (grains, autres_parties_supérieures d'une plante : tige, feuilles, fruits ; fourrage, tubercules, parties_racinaires) et les différents transferts à prendre en compte. Un module sera défini pour chaque type de végétal à considérer.</p> <p><b>Ce module est paramétré pour des végétaux de type "légumes-feuilles".</b></p> <p>Les concentrations dans les végétaux sont données au moment de la récolte et de récolte en récolte. La date de récolte (Trecolte) doit être supérieure aux dates de début de prélèvement sol (Tdat_prel) et de début d'exposition aux dépôts (Texp_veg). Pour les substances organiques et certains types de végétaux, des relations en fonction du Kow sont proposées pour estimer les coefficients de bioconcentration sol-plante et air-plante. Ce module permet éventuellement de calculer la concentration dans l'eau du sol de la couche racinaire à partir de la concentration définie pour cette couche et en appliquant ou non la loi de Raoult.</p> <p>Voir le chapitre 1.6 Partie B du rapport Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle.</p>	
Object	Input	Sub-system
organique	organique	Constantes Reglages
inorganique	inorganique	Constantes Reglages
type Polluant	type Polluant	Constantes Reglages
Object	Output	Sub-system
Dose <sub>veg,classe,age</sub>	Dose <sub>veg,classe,age</sub>	Niveaux Exposition Risque
Dose <sub>veg,individu</sub>	Dose <sub>veg,individu</sub>	Niveaux Exposition Risque

## General variable changes

### Scalar general variables

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">modele_interception</a>	modele interception	
<b>Description</b>		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et (si depots_particulaires_atm=oui, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=oui) et si (type_plante=fourrage ou type_plante=autres_parties_superieures). Indiquer si vous souhaitez tenir compte de l'évolution du facteur d'interception des dépôts par les parties consommables du végétal considéré (ne concerne que les parties foliaires ou les fruits) pendant sa période de croissance. Sinon, le facteur d'interception maximal (Imax) est pris en compte sur toute la période d'exposition aux dépôts (periode_exp_veg)		
<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>	
oui	Legumes_feuilles.non	

### Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">Concentration dans l'air extérieur sous forme particulaire et issue du sol</a>	Cap e sol	
<b>Description</b>		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_indirects_sol=option_vit_depot_part. Sélectionner la concentration dans l'air sous forme particulaire et issue du sol pour le dépôt indirect à partir du sol sur les végétaux: valeur définie par l'utilisateur (Cap_e_sol_E) ou calculée par le modèle (Cap_e_sol_C)		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Cap_e_sol_C	Legumes_feuilles.Cap_e_sol_E
Antimoine	Cap_e_sol_C	
Arsenic	Cap_e_sol_C	Legumes_feuilles.Cap_e_sol_E
Benzo(a)pyrène	Cap_e_sol_C	Legumes_feuilles.Cap_e_sol_E
Cadmium	Cap_e_sol_C	Legumes_feuilles.Cap_e_sol_E
Chrome	Cap_e_sol_C	Legumes_feuilles.Cap_e_sol_E
Cobalt	Cap_e_sol_C	
Cuivre	Cap_e_sol_C	Legumes_feuilles.Cap_e_sol_E
Manganèse	Cap_e_sol_C	
Mercure	Cap_e_sol_C	Legumes_feuilles.Cap_e_sol_E
Nickel	Cap_e_sol_C	Legumes_feuilles.Cap_e_sol_E
Plomb	Cap_e_sol_C	Legumes_feuilles.Cap_e_sol_E
Vanadium	Cap_e_sol_C	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">definition_Cp</a>	definition Cp	
<b>Description</b>		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Legumes_feuilles.valeur_entree

Antimoine	valeur_calculée	
Arsenic	valeur_calculée	Legumes_feuilles.valeur_entree
Benzo(a)pyrène	valeur_calculée	Legumes_feuilles.valeur_entree
Cadmium	valeur_calculée	Legumes_feuilles.valeur_entree
Chrome	valeur_calculée	Legumes_feuilles.valeur_entree
Cobalt	valeur_calculée	
Cuivre	valeur_calculée	Legumes_feuilles.valeur_entree
Manganèse	valeur_calculée	
Mercure	valeur_calculée	Legumes_feuilles.valeur_entree
Nickel	valeur_calculée	Legumes_feuilles.valeur_entree
Plomb	valeur_calculée	Legumes_feuilles.valeur_entree
Vanadium	valeur_calculée	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">definition_depots_atmospheriques</a>	definition depots atmospheriques	

#### Description

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée et si depots\_particulaires\_atm=où. Définir le type de données utilisées pour représenter les dépôts atmosphériques directs : 1) dépôt gazeux humide, dépôt gazeux sec, dépôt particulaire humide et/ou dépôts particulaires sec 2) dépôts gazeux totaux et/ou dépôts particulaires totaux 3) dépôts totaux

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	option_depots3	Legumes_feuilles.non_defini
Antimoine	option_depots3	
Arsenic	option_depots3	Legumes_feuilles.non_defini
Benzo(a)pyrène	option_depots3	Legumes_feuilles.non_defini
Cadmium	option_depots3	Legumes_feuilles.non_defini
Chrome	option_depots3	Legumes_feuilles.non_defini
Cobalt	option_depots3	
Cuivre	option_depots3	Legumes_feuilles.non_defini
Manganèse	option_depots3	
Mercure	option_depots3	Legumes_feuilles.non_defini
Nickel	option_depots3	Legumes_feuilles.non_defini
Plomb	option_depots3	Legumes_feuilles.non_defini
Vanadium	option_depots3	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">depot_irrigation</a>	depot irrigation	

#### Description

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte le dépôt sur les végétaux lié à l'irrigation par aspersion pour cette catégorie de plante. Ce dépôt n'est pris en compte par le modèle que pour les végétaux correspondant à la partie foliaire ou aux autres parties supérieures des plantes (cf. type\_plante). Sélectionner "non" si type\_plante est différent de "autres\_parties\_superieures" ou si type\_plante est différent de "fourrage".

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	Legumes_feuilles.oui
Antimoine	non	

Arsenic	non	Legumes_feuilles.oui
Benzo(a)pyrène	non	Legumes_feuilles.oui
Cadmium	non	Legumes_feuilles.oui
Chrome	non	Legumes_feuilles.oui
Cobalt	non	
Cuivre	non	Legumes_feuilles.oui
Manganèse	non	
Mercure	non	Legumes_feuilles.oui
Nickel	non	Legumes_feuilles.oui
Plomb	non	Legumes_feuilles.oui
Vanadium	non	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">depots_indirects_sol</a>	depots indirects sol	

#### Description

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte le dépôt de particules issues du sol pour cette catégorie de plante et si oui, si vous souhaitez estimer la concentration résultante dans la plante à partir de la fraction de particules adhérent à la plante (option\_f\_part\_veg) ou à partir de la vitesse de dépôt des particules (option\_vit\_depot\_part).

Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour des produits végétaux correspondant à la partie foliaire ou aux autres parties supérieures des plantes non protégées par une enveloppe (cf. type\_plante). Sélectionner "non" si type\_plante est différent de "autres\_parties\_superieures" ou si type\_plante est différent de "fourrage".

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	option_vit_depot_part	Legumes_feuilles.non_defini
Antimoine	option_vit_depot_part	
Arsenic	option_vit_depot_part	Legumes_feuilles.non_defini
Benzo(a)pyrène	option_vit_depot_part	Legumes_feuilles.non_defini
Cadmium	option_vit_depot_part	Legumes_feuilles.non_defini
Chrome	option_vit_depot_part	Legumes_feuilles.non_defini
Cobalt	option_vit_depot_part	
Cuivre	option_vit_depot_part	Legumes_feuilles.non_defini
Manganèse	option_vit_depot_part	
Mercure	option_vit_depot_part	Legumes_feuilles.non_defini
Nickel	option_vit_depot_part	Legumes_feuilles.non_defini
Plomb	option_vit_depot_part	Legumes_feuilles.non_defini
Vanadium	option_vit_depot_part	

## Parameter changes

### Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">Fraction de la quantité consommée et exposée à la contamination du site pour le végétal</a>	f <sub>veg,exp</sub>	unitless

**Description**

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.25	0.5	0.25	0.65		
<b>Comment</b>					
Vérifié. Valeur par défaut, min et max correspondent respectivement à la population possédant un jardin, à la population générale, à la population agricole					

## Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
<b>Bf_E (Facteur de bioconcentration air-plante)</b>	Bf <sub>E</sub>	m <sup>3</sup> kg <sub>vegfr</sub> <sup>-1</sup>

**Description**  
A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée, si absorption\_gazeuse=oui et si Bf= Bf\_E.Facteur de bioconcentration air-plante : valeur définie par l'utilisateur. Mettre 0 pour les substances inorganiques (hors mercure inorganique).

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	100.0		80.0	240.0		
Antimoine	0.0	-1.0				
Arsenic	0.0					
Benzo(a)pyrène	0.021393253	-1.0				
Cadmium	0.0					
Chrome	0.0					
Cobalt	0.0	-1.0				
Cuivre	0.0	-1.0				
Manganèse	0.0	-1.0				
Mercure	2100.0	-1.0	1500.0	3000.0		
Nickel	0.0					
Plomb	0.0					
Vanadium	0.0					

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé. Cette valeur intègre le lavage et la préparation
Antimoine	
Arsenic	
Benzo(a)pyrène	
Cadmium	
Chrome	
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercure	Vérifié. Valeur médiane = 2100
Nickel	
Plomb	
Vanadium	

Full Name	Symbol	Unit
<b>Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)</b>	Br <sub>E</sub>	mg kg <sub>vegsec</sub> <sup>-1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>-1</sup>

**Description**

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée, si prelevement\_direct\_sol=oui et si Br= Br\_E. Facteur de bioconcentration sol-plante : valeur définie par l'utilisateur. En l'absence de données, mettre -1.

Materials	Value	Predefined Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0				
Antimoine	0.0	-1.0			
Arsenic	0.068	-1.0	1.1E-4	40.0	logn(1.46,31.4)
Benzo(a)pyrène	0.02	-1.0	0.0060	0.04	
Cadmium	1.3	-1.0	0.09	18.0	logn(2.19,3.02)
Chrome	0.011	-1.0	4.6E-6	27.0	logn(1.06,101.0)
Cobalt	0.2	-1.0			
Cuivre	9.3	-1.0			
Manganèse	0.586	-1.0			
Mercure	0.074	-1.0	0.0061	0.9	logn(0.118,0.148)
Nickel	0.024	-1.0	0.0026	0.22	logn(0.035,0.037)
Plomb	0.02	-1.0	3.3E-4	1.2	logn(0.072,0.25)
Vanadium	0.0055				

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé
Antimoine	
Arsenic	Validé. Moy.géo. =6,8e-2
Benzo(a)pyrène	Vérifié. Moy. géo des valeurs mesurées : 0,02
Cadmium	Validé. Moy.géo. =1,3
Chrome	Validé. Moy.géo. =0,011
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercure	Validé. Moy.géo. =0,074
Nickel	Validé. Moy.géo. =0,024
Plomb	Validé. Moy.géo. =0,02
Vanadium	Non vérifié

Full Name	Symbol	Unit
<b>Pression de vapeur à température ambiante</b>	Pvap <sub>Ta</sub>	Pa

**Description**

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée, absorption\_gazeuse=oui et si Cag\_e n'est pas définie (y compris par un module amont, par connexion). Paramètre servant au calcul de Cag\_e à partir de Cair.

Materials	Value	Predefined Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	2.0E-7	9.9E-8	4.5E-6		

Antimoine	-1.0	
Arsenic	0.0	
Benzo(a)pyrène	7.32E-7	
Cadmium	0.0	
Chrome	0.0	
Cobalt	-1.0	
Cuivre	0.0	-1.0
Manganèse	-1.0	
Mercure	0.0090	
Nickel	0.0	
Plomb	0.0	
Vanadium	0.0	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé
Antimoine	
Arsenic	Vérifié
Benzo(a)pyrène	Vérifié
Cadmium	Vérifié
Chrome	Vérifié
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercure	Vérifié (Chlorure de mercure). Pour le mercure organique : 1,8 (méthylmercure)
Nickel	Vérifié
Plomb	Vérifié
Vanadium	Vérifié

Full Name	Symbol	Unit
Température de fusion	T <sub>m</sub>	K

**Description**  
A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée, absorption\_gazeuse=oui et si Cag\_e n'est pas définie (y compris par un module amont, par connexion). Paramètre servant au calcul de Cag\_e à partir de Cair.

Materials	Value	Predefined Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	578.65				
Antimoine	-1.0				
Arsenic	1087.15				
Benzo(a)pyrène	452.3				
Cadmium	594.15				
Chrome	2176.15				
Cobalt	-1.0				
Cuivre	1358.0	-1.0			
Manganèse	-1.0				

Mercure	550.1
Nickel	1725.15
Plomb	600.65
Vanadium	2190.15
<b>Materials</b>	<b>Comment</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé
Antimoine	
Arsenic	Vérifié
Benzo(a)pyrène	Vérifié
Cadmium	Vérifié
Chrome	Vérifié
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercure	Non vérifié (Chlorure de mercure). Pour le mercure organique : 443 (méthylmercure)
Nickel	Vérifié
Plomb	Vérifié
Vanadium	Vérifié

## Lookup table changes

### Vector lookup tables

Full Name	Symbol	Unit							
<b>Concentration de polluant dans l'air sous forme gazeuse</b>	Cag <sub>e</sub>	mg m <sup>-3</sup>							
<b>Description</b>									
<p>A définir si definition_Cp=valeur_calculée, absorption_gazeuse=oui. L'utilisateur doit alors définir Cair (Concentration de polluant dans l'air sous forme particulaire et gazeuse) ou Cag<sub>e</sub> (Concentration de polluant dans l'air sous forme gazeuse). Cag<sub>e</sub> peut être définie par un module amont (par connexion à partir de Cag<sub>e</sub> dans le module "Par_envir", à partir de Cag<sub>e</sub>_Hb_attrib ou à partir de Cag<sub>e</sub>_Hb_tot dans le module "Conc_gaz_ext"). <b>Si Cag<sub>e</sub> et Cair sont renseignés, Cag<sub>e</sub> est utilisée prioritairement. Si l'on veut utiliser Cair, laisser la valeur -1 par défaut pour Cag<sub>e</sub></b></p>									
<b>Cyclic option</b>									
No									
<b>Interpolation</b>									
Interpolation-Extrapolation									
<b>Time</b>	<b>2378_Tétrachlorodibenzodioxine</b>	<b>Time</b>	<b>Antimoine</b>	<b>Time</b>	<b>Arsenic</b>	<b>Time</b>	<b>Benzo(a)pyrène</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	6.03E-26	0.0	1.67E-19	0.0	7.81E-18	0.0	3.3E-16		
<b>Time</b>	<b>Cadmium</b>	<b>Time</b>	<b>Chrome</b>	<b>Time</b>	<b>Cobalt</b>	<b>Time</b>	<b>Cuivre</b>	<b>Time</b>	<b>Manganèse</b>
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0
0.0	2.33E-18	0.0	4.5E-18	0.0	1.34E-18	0.0	1.05E-17	0.0	2.06E-17
<b>Time</b>	<b>Mercure</b>	<b>Time</b>	<b>Nickel</b>	<b>Time</b>	<b>Plomb</b>	<b>Time</b>	<b>Vanadium</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	2.22E-18	0.0	5.2E-17	0.0	1.3E-17	0.0	1.28E-18		

Full Name	Symbol	Unit							
<b>Concentration de polluant dans l'air sous forme particulaire et gazeuse</b>	Cair	mg m <sup>-3</sup>							
<b>Description</b>									
A définir si definition_Cp=valeur_calculée, absorption_gazeuse=oui et si type_polluant=organique (hors mercure organique). L'utilisateur doit alors définir Cair (Concentration de polluant dans l'air sous forme particulaire et gazeuse) ou Cag_e (Concentration de polluant dans l'air sous forme gazeuse). Si Cag_e et Cair sont renseignés, Cag_e est utilisée prioritairement. Pour le mercure, utiliser Cag_e et non Cair. Pour le mercure, utiliser Cag_e et non Cair.									
<b>Cyclic option</b>									
No									
<b>Interpolation</b>									
Interpolation-Extrapolation									
<b>Time</b>	<b>2378_Tétrachlorodibenzodioxine</b>	<b>Time</b>	<b>Antimoine</b>	<b>Time</b>	<b>Arsenic</b>	<b>Time</b>	<b>Benzo(a)pyrène</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0		
<b>Time</b>	<b>Cadmium</b>	<b>Time</b>	<b>Chrome</b>	<b>Time</b>	<b>Cobalt</b>	<b>Time</b>	<b>Cuivre</b>	<b>Time</b>	<b>Manganèse</b>
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0
0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0
<b>Time</b>	<b>Mercure</b>	<b>Time</b>	<b>Nickel</b>	<b>Time</b>	<b>Plomb</b>	<b>Time</b>	<b>Vanadium</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0		

Full Name	Symbol	Unit							
<b>Dépôt particulaire total sur les végétaux (hors bruit de fond)</b>	D <sub>pt</sub>	mg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>							
<b>Description</b>									
A définir si option_depots2 ou option_depots3 retenue pour definition_depot_atmospheriques									
<b>Cyclic option</b>									
No									
<b>Interpolation</b>									
Interpolation-Extrapolation									
<b>Time</b>	<b>2378_Tétrachlorodibenzodioxine</b>	<b>Time</b>	<b>Antimoine</b>	<b>Time</b>	<b>Arsenic</b>	<b>Time</b>	<b>Benzo(a)pyrène</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	3.55E-13	0.0	5.31E-7	0.0	4.47E-8	0.0	8.83E-8		
<b>Time</b>	<b>Cadmium</b>	<b>Time</b>	<b>Chrome</b>	<b>Time</b>	<b>Cobalt</b>	<b>Time</b>	<b>Cuivre</b>	<b>Time</b>	<b>Manganèse</b>
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0
0.0	2.65E-7	0.0	7.87E-8	0.0	5.38E-7	0.0	5.9E-7	0.0	6.48E-7
<b>Time</b>	<b>Mercure</b>	<b>Time</b>	<b>Nickel</b>	<b>Time</b>	<b>Plomb</b>	<b>Time</b>	<b>Vanadium</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	2.57E-7	0.0	8.27E-7	0.0	4.92E-8	0.0	5.37E-7		

### 3.8. Legumes fruits

Legumes fruits		Sub-system
Id	Legumes_fruits	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Legumes fruits	
Description	<p>Ce module permet de calculer les concentrations dans les végétaux consommés liées aux dépôts atmosphériques directs, à l'absorption gazeuse (polluants organiques), aux dépôts de particules du sol remises en suspension, à l'irrigation par aspersion, au prélèvement direct à partir du sol. Pour calculer la concentration dans le végétal considéré, il est nécessaire de définir son type (grains, autres_parties_supérieures d'une plante : tige, feuilles, fruits ; fourrage, tubercules, parties_racinaires) et les différents transferts à prendre en compte. Un module sera défini pour chaque type de végétal à considérer.</p> <p><b>Ce module est paramétré pour des végétaux de type "légumes-fruits".</b></p> <p>Les concentrations dans les végétaux sont données au moment de la récolte et de récolte en récolte. La date de récolte (Trecolte) doit être supérieure aux dates de début de prélèvement sol (Tdat_prel) et de début d'exposition aux dépôts (Texp_veg). Pour les substances organiques et certains types de végétaux, des relations en fonction du Kow sont proposées pour estimer les coefficients de bioconcentration sol-plante et air-plante. Ce module permet éventuellement de calculer la concentration dans l'eau du sol de la couche racinaire à partir de la concentration définie pour cette couche et en appliquant ou non la loi de Raoult.</p> <p>Voir le chapitre 1.6 Partie B du rapport Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle.</p>	
Object	Input	Sub-system
type Polluant	type Polluant	Constantes Reglages
organique	organique	Constantes Reglages
inorganique	inorganique	Constantes Reglages
Object	Output	Sub-system
Dose <sub>veg,classe,age</sub>	Dose <sub>veg,classe,age</sub>	Niveaux Exposition Risque
Dose <sub>veg,individu</sub>	Dose <sub>veg,individu</sub>	Niveaux Exposition Risque

## General variable changes

### Scalar general variables

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">modele_interception</a>	modele interception	
<b>Description</b>		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et (si depots_particulaires_atm=oui, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=oui) et si (type_plante=fourrage ou type_plante=autres_parties_superieures). Indiquer si vous souhaitez tenir compte de l'évolution du facteur d'interception des dépôts par les parties consommables du végétal considéré (ne concerne que les parties foliaires ou les fruits) pendant sa période de croissance. Sinon, le facteur d'interception maximal (Imax) est pris en compte sur toute la période d'exposition aux dépôts (periode_exp_veg)		
<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>	
oui	Legumes_fruits.non	

### Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">Concentration dans l'air extérieur sous forme particulaire et issue du sol</a>	Cap e sol	
<b>Description</b>		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_indirects_sol=option_vit_depot_part. Sélectionner la concentration dans l'air sous forme particulaire et issue du sol pour le dépôt indirect à partir du sol sur les végétaux: valeur définie par l'utilisateur (Cap_e_sol_E) ou calculée par le modèle (Cap_e_sol_C)		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Cap_e_sol_C	Legumes_fruits.Cap_e_sol_E
Antimoine	Cap_e_sol_C	
Arsenic	Cap_e_sol_C	Legumes_fruits.Cap_e_sol_E
Benzo(a)pyrène	Cap_e_sol_C	Legumes_fruits.Cap_e_sol_E
Cadmium	Cap_e_sol_C	Legumes_fruits.Cap_e_sol_E
Chrome	Cap_e_sol_C	Legumes_fruits.Cap_e_sol_E
Cobalt	Cap_e_sol_C	
Cuivre	Cap_e_sol_C	Legumes_fruits.Cap_e_sol_E
Manganèse	Cap_e_sol_C	
Mercure	Cap_e_sol_C	Legumes_fruits.Cap_e_sol_E
Nickel	Cap_e_sol_C	Legumes_fruits.Cap_e_sol_E
Plomb	Cap_e_sol_C	Legumes_fruits.Cap_e_sol_E
Vanadium	Cap_e_sol_C	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">definition_Cp</a>	definition Cp	
<b>Description</b>		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Legumes_fruits.valeur_entree

Antimoine	valeur_calculée	
Arsenic	valeur_calculée	Legumes_fruits.valeur_entree
Benzo(a)pyrène	valeur_calculée	Legumes_fruits.valeur_entree
Cadmium	valeur_calculée	Legumes_fruits.valeur_entree
Chrome	valeur_calculée	Legumes_fruits.valeur_entree
Cobalt	valeur_calculée	
Cuivre	valeur_calculée	Legumes_fruits.valeur_entree
Manganèse	valeur_calculée	
Mercure	valeur_calculée	Legumes_fruits.valeur_entree
Nickel	valeur_calculée	Legumes_fruits.valeur_entree
Plomb	valeur_calculée	Legumes_fruits.valeur_entree
Vanadium	valeur_calculée	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">definition_depots_atmospheriques</a>	definition depots atmospheriques	

**Description**

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée et si depots\_particulaires\_atm=où. Définir le type de données utilisées pour représenter les dépôts atmosphériques directs : 1) dépôt gazeux humide, dépôt gazeux sec, dépôt particulaire humide et/ou dépôts particulaires sec 2) dépôts gazeux totaux et/ou dépôts particulaires totaux 3) dépôts totaux

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	option_depots3	Legumes_fruits.non_defini
Antimoine	option_depots3	
Arsenic	option_depots3	Legumes_fruits.non_defini
Benzo(a)pyrène	option_depots3	Legumes_fruits.non_defini
Cadmium	option_depots3	Legumes_fruits.non_defini
Chrome	option_depots3	Legumes_fruits.non_defini
Cobalt	option_depots3	
Cuivre	option_depots3	Legumes_fruits.non_defini
Manganèse	option_depots3	
Mercure	option_depots3	Legumes_fruits.non_defini
Nickel	option_depots3	Legumes_fruits.non_defini
Plomb	option_depots3	Legumes_fruits.non_defini
Vanadium	option_depots3	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">depot_irrigation</a>	depot irrigation	

**Description**

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte le dépôt sur les végétaux lié à l'irrigation par aspersion pour cette catégorie de plante. Ce dépôt n'est pris en compte par le modèle que pour les végétaux correspondant à la partie foliaire ou aux autres parties supérieures des plantes (cf. type\_plante). Sélectionner "non" si type\_plante est différent de "autres\_parties\_superieures" ou si type\_plante est différent de "fourrage".

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	Legumes_fruits.oui
Antimoine	non	

Arsenic	non	Legumes_fruits.oui
Benzo(a)pyrène	non	Legumes_fruits.oui
Cadmium	non	Legumes_fruits.oui
Chrome	non	Legumes_fruits.oui
Cobalt	non	
Cuivre	non	Legumes_fruits.oui
Manganèse	non	
Mercure	non	Legumes_fruits.oui
Nickel	non	Legumes_fruits.oui
Plomb	non	Legumes_fruits.oui
Vanadium	non	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">depots_indirects_sol</a>	depots indirects sol	

#### Description

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte le dépôt de particules issues du sol pour cette catégorie de plante et si oui, si vous souhaitez estimer la concentration résultante dans la plante à partir de la fraction de particules adhérent à la plante (option\_f\_part\_veg) ou à partir de la vitesse de dépôt des particules (option\_vit\_depot\_part).

Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour des produits végétaux correspondant à la partie foliaire ou aux autres parties supérieures des plantes non protégées par une enveloppe (cf. type\_plante). Sélectionner "non" si type\_plante est différent de "autres\_parties\_superieures" ou si type\_plante est différent de "fourrage".

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	option_vit_depot_part	Legumes_fruits.non_defini
Antimoine	option_vit_depot_part	
Arsenic	option_vit_depot_part	Legumes_fruits.non_defini
Benzo(a)pyrène	option_vit_depot_part	Legumes_fruits.non_defini
Cadmium	option_vit_depot_part	Legumes_fruits.non_defini
Chrome	option_vit_depot_part	Legumes_fruits.non_defini
Cobalt	option_vit_depot_part	
Cuivre	option_vit_depot_part	Legumes_fruits.non_defini
Manganèse	option_vit_depot_part	
Mercure	option_vit_depot_part	Legumes_fruits.non_defini
Nickel	option_vit_depot_part	Legumes_fruits.non_defini
Plomb	option_vit_depot_part	Legumes_fruits.non_defini
Vanadium	option_vit_depot_part	

## Parameter changes

### Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">Fraction de la quantité consommée et exposée à la contamination du site pour le végétal</a>	f <sub>veg,exp</sub>	unitless

**Description**

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.25	0.55	0.25	0.65		
<b>Comment</b>					
Vérifié. Valeur par défaut, min et max correspondent respectivement à la population possédant un jardin, à la population générale, à la population agricole					

### Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
<b>Bf_E (Facteur de bioconcentration air-plante)</b>	Bf <sub>E</sub>	m <sup>3</sup> kg <sub>vegfr</sub> <sup>-1</sup>

**Description**  
A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée, si absorption\_gazeuse=oui et si Bf= Bf\_E.Facteur de bioconcentration air-plante : valeur définie par l'utilisateur. Mettre 0 pour les substances inorganiques (hors mercure inorganique).

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	100.0		80.0	240.0		
Antimoine	0.0	-1.0				
Arsenic	0.0					
Benzo(a)pyrène	0.0214	-1.0				
Cadmium	0.0					
Chrome	0.0					
Cobalt	0.0	-1.0				
Cuivre	0.0	-1.0				
Manganèse	0.0	-1.0				
Mercure	2100.0	-1.0	1500.0	3000.0		
Nickel	0.0					
Plomb	0.0					
Vanadium	0.0					

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé. Cette valeur intègre le lavage et la préparation
Antimoine	
Arsenic	
Benzo(a)pyrène	
Cadmium	
Chrome	
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercure	Vérifié. Valeur médiane = 2100
Nickel	
Plomb	
Vanadium	

Full Name	Symbol	Unit
<b>Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)</b>	Br <sub>E</sub>	mg kg <sub>vegsec</sub> <sup>-1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> ) -1

#### Description

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée, si prelevement\_direct\_sol=oui et si Br= Br\_E. Facteur de bioconcentration sol-plante : valeur définie par l'utilisateur. En l'absence de données, mettre -1.

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0					
Antimoine	0.0	-1.0				
Arsenic	0.00633	-1.0	1.3E-5	0.99	logn(0.039,0.42)	
Benzo(a)pyrène	0.0020					
Cadmium	0.125	-1.0	0.0030	7.79	logn(0.49,1.49)	
Chrome	0.00488	-1.0	6.9E-5	1.5	logn(0.067,0.44)	
Cobalt	0.12	-1.0				
Cuivre	0.8	-1.0				
Manganèse	0.686	-1.0				
Mercure	4.286	-1.0	8.6E-4	0.48	logn(0.043,0.081)	
Nickel	0.00931	-1.0	0.0030	5.2	logn(0.36,0.96)	
Plomb	0.0136	-1.0	1.5E-4	0.98	logn(0.052,0.22)	
Vanadium	0.0030		0.0010	0.0070		

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé. Attention pour les cucurbitacées, un transfert sol-plante a été observé et la valeur par défaut n'est pas valide
Antimoine	
Arsenic	Validé. médiane =3,6e-3
Benzo(a)pyrène	Vérifié
Cadmium	Validé. médiane =0,15
Chrome	Validé. médiane =0,010
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercure	Validé. Médiane =0,020
Nickel	Validé. médiane =0,13
Plomb	Validé. médiane =0,012
Vanadium	Non vérifié

Full Name	Symbol	Unit
<b>Pression de vapeur à température ambiante</b>	Pvap <sub>Ta</sub>	Pa

#### Description

A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée, absorption\_gazeuse=oui et si Cag\_e n'est pas définie (y compris par un module amont, par connexion). Paramètre servant au calcul de Cag\_e à partir de Cair.

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
-----------	-------	------------	-----------	-----------	-----	------------

2378_Tétrachlorodibenzodioxine	2.0E-7	9.9E-8	4.5E-6
Antimoine	-1.0		
Arsenic	0.0		
Benzo(a)pyrène	7.32E-7		
Cadmium	0.0		
Chrome	0.0		
Cobalt	-1.0		
Cuivre	0.0	-1.0	
Manganèse	-1.0		
Mercure	0.0090		
Nickel	0.0		
Plomb	0.0		
Vanadium	0.0		

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé
Antimoine	
Arsenic	Vérifié
Benzo(a)pyrène	Vérifié
Cadmium	Vérifié
Chrome	Vérifié
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercure	Vérifié (Chlorure de mercure). Pour le mercure organique : 1,8 (méthylmercure)
Nickel	Vérifié
Plomb	Vérifié
Vanadium	Vérifié

Full Name	Symbol	Unit
<b>Température de fusion</b>	T <sub>m</sub>	K

**Description**  
A définir si definition\_Cp=valeur\_calculée, absorption\_gazeuse=oui et si Cag\_e n'est pas définie (y compris par un module amont, par connexion). Paramètre servant au calcul de Cag\_e à partir de Cair.

Materials	Value	Predefined Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	578.65				
Antimoine	-1.0				
Arsenic	1087.15				
Benzo(a)pyrène	452.3				
Cadmium	594.15				
Chrome	2176.15				
Cobalt	-1.0				
Cuivre	1358.0	-1.0			
Manganèse	-1.0				

Mercur	550.1
Nickel	1725.15
Plomb	600.65
Vanadium	2190.15
<b>Materials</b>	<b>Comment</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé
Antimoine	
Arsenic	Vérifié
Benzo(a)pyrène	Vérifié
Cadmium	Vérifié
Chrome	Vérifié
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercur	Non vérifié (Chlorure de mercure). Pour le mercure organique : 443 (méthylmercure)
Nickel	Vérifié
Plomb	Vérifié
Vanadium	Vérifié

## Lookup table changes

### Vector lookup tables

Full Name	Symbol	Unit							
<b>Concentration de polluant dans l'air sous forme gazeuse</b>	Cag <sub>e</sub>	mg m <sup>-3</sup>							
<b>Description</b>									
<p>A définir si definition_Cp=valeur_calculée, absorption_gazeuse=oui. L'utilisateur doit alors définir Cair (Concentration de polluant dans l'air sous forme particulaire et gazeuse) ou Cag<sub>e</sub> (Concentration de polluant dans l'air sous forme gazeuse). Cag<sub>e</sub> peut être définie par un module amont (par connexion à partir de Cag<sub>e</sub> dans le module "Par_envir", à partir de Cag<sub>e</sub>_Hb_attrib ou à partir de Cag<sub>e</sub>_Hb_tot dans le module "Conc_gaz_ext"). <b>Si Cag<sub>e</sub> et Cair sont renseignés, Cag<sub>e</sub> est utilisée prioritairement. Si l'on veut utiliser Cair, laisser la valeur -1 par défaut pour Cag<sub>e</sub></b></p>									
<b>Cyclic option</b>									
No									
<b>Interpolation</b>									
Interpolation-Extrapolation									
<b>Time</b>	<b>2378_Tétrachlorodibenzodioxine</b>	<b>Time</b>	<b>Antimoine</b>	<b>Time</b>	<b>Arsenic</b>	<b>Time</b>	<b>Benzo(a)pyrène</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	6.03E-26	0.0	1.67E-19	0.0	7.81E-18	0.0	3.3E-16		
<b>Time</b>	<b>Cadmium</b>	<b>Time</b>	<b>Chrome</b>	<b>Time</b>	<b>Cobalt</b>	<b>Time</b>	<b>Cuivre</b>	<b>Time</b>	<b>Manganèse</b>
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0
0.0	2.33E-18	0.0	4.5E-18	0.0	1.34E-18	0.0	1.05E-17	0.0	2.06E-17
<b>Time</b>	<b>Mercur</b>	<b>Time</b>	<b>Nickel</b>	<b>Time</b>	<b>Plomb</b>	<b>Time</b>	<b>Vanadium</b>		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	2.22E-18	0.0	5.2E-17	0.0	1.3E-17	0.0	1.28E-18		

Full Name		Symbol	Unit						
Concentration de polluant dans l'air sous forme particulaire et gazeuse		Cair	mg m <sup>-3</sup>						
<b>Description</b>									
A définir si definition_Cp=valeur_calculée, absorption_gazeuse=oui et si type_polluant=organique (hors mercure organique). L'utilisateur doit alors définir Cair (Concentration de polluant dans l'air sous forme particulaire et gazeuse) ou Cag_e (Concentration de polluant dans l'air sous forme gazeuse). Si Cag_e et Cair sont renseignés, Cag_e est utilisée prioritairement. Pour le mercure, utiliser Cag_e et non Cair.									
<b>Cyclic option</b>									
No									
<b>Interpolation</b>									
Interpolation-Extrapolation									
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Antimoine	Time	Arsenic	Time	Benzo(a)pyrène		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0		
Time	Cadmium	Time	Chrome	Time	Cobalt	Time	Cuivre	Time	Manganèse
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0
0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0
Time	Mercure	Time	Nickel	Time	Plomb	Time	Vanadium		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0		

Full Name		Symbol	Unit						
Dépôt particulaire total sur les végétaux (hors bruit de fond)		D <sub>pt</sub>	mg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>						
<b>Description</b>									
A définir si option_depots2 ou option_depots3 retenue pour definition_depot_atmospheriques									
<b>Cyclic option</b>									
No									
<b>Interpolation</b>									
Interpolation-Extrapolation									
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Antimoine	Time	Arsenic	Time	Benzo(a)pyrène		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	3.55E-13	0.0	5.31E-7	0.0	4.47E-8	0.0	8.83E-8		
Time	Cadmium	Time	Chrome	Time	Cobalt	Time	Cuivre	Time	Manganèse
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0
0.0	2.65E-7	0.0	7.87E-8	0.0	5.38E-7	0.0	5.9E-7	0.0	6.48E-7
Time	Mercure	Time	Nickel	Time	Plomb	Time	Vanadium		
Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0	Predefined	0.0:-1.0		
0.0	2.57E-7	0.0	8.27E-7	0.0	4.92E-8	0.0	5.37E-7		

### 3.9. Poulet

Poulet		Sub-system
Id	Poulet	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Poulet	
Description	<p>Ce module permet de calculer les concentrations dans l'animal (tissu 1 : viande, matières grasses) et dans les produits excrétés par l'animal (tissu 2 : matières grasses de ce produit).</p> <p>Ce module est paramétré pour un poulet.</p> <p>Les concentrations peuvent être calculées à l'état stationnaire ou avec une approche dynamique. <b>L'utilisateur doit préciser, si les concentrations doivent être exprimées en poids frais ou en poids sec et définir les données d'entrée nécessaires dans l'unité correspondante .</b></p> <p>Pour l'approche stationnaire, l'utilisateur peut définir un facteur de bioconcentration ou un facteur de biotransfert. Pour les substances organiques, une relation en fonction du Kow est proposée pour estimer le facteur de bioconcentration dans la matière grasse. Pour l'approche dynamique, le taux d'absorption de la substance et les constantes d'élimination par le tissu 2 excrété et par les autres voies d'élimination doivent être définis. Avec cette approche, <b>les concentrations dans les tissus animaux sont estimées pour un animal en fin de vie</b> (cas d'une exposition la plus longue possible). L'exposition de l'animal peut être calculée à partir de son ingestion de sol, d'eau et/ou de végétaux contaminés.</p> <p>L'utilisateur peut définir jusqu'à 3 concentrations de sols différents (Cs_1, Cs_2, Cs_3), 3 concentrations d'eaux différentes (Ce_1, Ce_2, Ce_3) et 5 concentrations de végétaux différents (Cp_1, Cp_2, Cp_3, Cp_4, Cp_5).</p> <p>Voir le chapitre 1.7 Partie B du rapport Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle.</p>	
Object	Input	Sub-system
Cs <sub>2</sub>	Cs <sub>attrib</sub>	Sol10
Object	Output	Sub-system
Dose <sub>anim1,individu</sub>	Dose <sub>anim1,individu</sub>	Niveaux Exposition Risque
Dose <sub>anim1,classe,age</sub>	Dose <sub>anim1,classe,age</sub>	Niveaux Exposition Risque

## General variable changes

### Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">definition_Canim1</a>	definition Canim1	
<b>Description</b>		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans le tissu 1. Si vous ne voulez pas calculer les concentrations dans le tissu de type 1, sélectionner "aucun" comme mode d'estimation. Le calcul par approche stationnaire n'a de sens que si les conditions d'exposition sont suffisamment stables pour que l'état stationnaire puisse être atteint. Il est préférable de n'utiliser ce mode de calcul que si les conditions d'exposition de l'animal sont constantes dans le temps. tissu 1 : viande, matières grasses		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	approche_stationnaire	Poulet.aucun
Antimoine	approche_stationnaire	
Arsenic	approche_stationnaire	Poulet.aucun
Benzo(a)pyrène	approche_stationnaire	Poulet.aucun
Cadmium	approche_stationnaire	Poulet.aucun
Chrome	approche_stationnaire	Poulet.aucun
Cobalt	approche_stationnaire	
Cuivre	approche_stationnaire	Poulet.aucun
Manganèse	approche_stationnaire	
Mercure	approche_stationnaire	Poulet.aucun
Nickel	approche_stationnaire	Poulet.aucun
Plomb	approche_stationnaire	Poulet.aucun
Vanadium	approche_stationnaire	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">definition_Coefficient_anim1</a>	definition Coefficient anim1	
<b>Description</b>		
Sélectionner le facteur à utiliser pour le calcul de la concentration dans le tissu 1 : coefficient de biotransfert défini par l'utilisateur (BTanim1), Coefficient de bioconcentration défini par l'utilisateur (BCFanim1), coefficient de bioconcentration estimé en fonction du Kow (BCFanim_fat_QSAR)  tissu 1 : viande, matières grasses		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_entree_BTanim	Poulet.valeur_entree_BCFanim
Antimoine	valeur_entree_BTanim	
Arsenic	valeur_entree_BTanim	Poulet.valeur_entree_BCFanim
Benzo(a)pyrène	valeur_entree_BTanim	Poulet.non_defini
Cadmium	valeur_entree_BTanim	Poulet.valeur_entree_BCFanim
Chrome	valeur_entree_BTanim	
Cobalt	valeur_entree_BTanim	
Cuivre	valeur_entree_BTanim	Poulet.non_defini
Manganèse	valeur_entree_BTanim	
Mercure	valeur_entree_BTanim	Poulet.valeur_entree_BCFanim
Nickel	valeur_entree_BTanim	Poulet.valeur_entree_BCFanim

Plomb	valeur_entree_BTanim	
Vanadium	valeur_entree_BTanim	Poulet.valeur_entree_BCFanim

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">type_expr_Canim</a>	type expr Canim	

#### Description

Indiquer pour chaque substance si les concentrations dans les tissus animaux sont ou doivent être exprimées par rapport au poids frais ou au poids de matière grasse du tissu.

Les concentrations à l'état stationnaire (Canim1\_C1 et Canim2\_C1) sont calculées en poids frais ou en poids de matière grasse en fonction de l'expression du facteur de bioconcentration ou de biotransfert entré par l'utilisateur.

Les concentrations calculées par l'approche dynamique (Canim1\_C2 et Canim2\_C2) sont calculées en poids frais ou en poids de matière grasse selon l'option choisie par l'utilisateur en utilisant Masse\_anim1 ou Masse\_mg\_anim1 et Masse\_anim2 ou Masse\_mg\_anim2

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	poids_frais	Poulet.poids_mat_grasse
Antimoine	poids_frais	Poulet.non_defini
Arsenic	poids_frais	
Benzo(a)pyrène	poids_frais	Poulet.non_defini
Cadmium	poids_frais	
Chrome	poids_frais	
Cobalt	poids_frais	Poulet.non_defini
Cuivre	poids_frais	Poulet.non_defini
Manganèse	poids_frais	Poulet.non_defini
Mercure	poids_frais	
Nickel	poids_frais	
Plomb	poids_frais	
Vanadium	poids_frais	

## Parameter changes

### Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">Fraction consommée pour le tissu 1, exposée à la contamination du site</a>	f <sub>anim1,exp</sub>	unitless

#### Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de tissu 1 : viande, matières grasses Fraction de la quantité de produit animal (viande) consommée et exposée à la contamination du site

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.2	1.0	0.2	0.75		

#### Comment

Vérfié. Valeur min relative à la population générale, valeur max relative à la population agricole

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">Quantité de végétal 3 ingérée par l'animal</a>	Q <sub>a,veg,3</sub>	kg <sub>sec</sub> d <sup>-1</sup>

## Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 2 et si definition\_Canim1 ou definition\_Canim2 est différent de valeur\_entree

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0	1.4	0.0	2.9		

## Comment

Validé. Quantité de concentrés (céréales, protéagineux, oléagineux) : valeurs correspondant à la dernière période d'élevage. Valeurs à utiliser pour une approche dynamique : voir référence

## Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
<b>Facteur de biotransfert pour le tissu 1 de l'animal</b>	BTanim1	d kg <sup>-1</sup>

## Description

A définir si definition\_Canim1=approche\_stationnaire. Pour un calcul par approche stationnaire, renseigner le facteur de bioconcentration (BCFamim1) ou le facteur de biotransfert (BTanim1).tissu 1 : viande, matières grasses (selon le tissu de stockage)

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	24.7	-1.0				
Antimoine	0.0	-1.0				
Arsenic	0.02	-1.0				
Benzo(a)pyrène	0.02767757	-1.0				
Cadmium	0.10625	-1.0				
Chrome	0.06		0.04	0.1		
Cobalt	0.0010	-1.0				
Cuivre	0.5	-1.0				
Manganèse	0.05	-1.0				
Mercure	0.016	-1.0				
Nickel	0.0050	-1.0				
Plomb	0.01	-1.0	0.0030	2.0		
Vanadium	0.0	-1.0				

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	
Antimoine	
Arsenic	
Benzo(a)pyrène	
Cadmium	
Chrome	Vérifié (CrVI). Exprimé en j/kg de matières fraîches
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercure	
Nickel	
Plomb	Validé. Exprimé en j/kg de matières fraîches. 0,01 pour des apports de l'ordre de la dizaine

de mg/j , 1 pour des apports  $\leq$  1mg/j

---

Vanadium

---

### 3.10. Poule

Poule		Sub-system
Id	Poule	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Poule	
Description	<p>Ce module permet de calculer les concentrations dans l'animal (tissu 1 : viande, matières grasses) et dans les produits excrétés par l'animal (tissu 2 : oeuf ou matières grasses de ce produit).</p> <p>Ce module est paramétré pour une poule.</p> <p>Les concentrations peuvent être calculées à l'état stationnaire ou avec une approche dynamique. <b>L'utilisateur doit préciser, si les concentrations doivent être exprimées en poids frais ou en poids sec et définir les données d'entrée nécessaires dans l'unité correspondante .</b></p> <p>Pour l'approche stationnaire, l'utilisateur peut définir un facteur de bioconcentration ou un facteur de biotransfert. Pour les substances organiques, une relation en fonction du Kow est proposée pour estimer le facteur de bioconcentration dans la matière grasse. Pour l'approche dynamique, le taux d'absorption de la substance et les constantes d'élimination par le tissu 2 excrété et par les autres voies d'élimination doivent être définis. Avec cette approche, <b>les concentrations dans les tissus animaux sont estimées pour un animal en fin de vie</b> (cas d'une exposition la plus longue possible). L'exposition de l'animal peut être calculée à partir de son ingestion de sol, d'eau et/ou de végétaux contaminés.</p> <p>L'utilisateur peut définir jusqu'à 3 concentrations de sols différents (Cs_1, Cs_2, Cs_3), 3 concentrations d'eaux différentes (Ce_1, Ce_2, Ce_3) et 5 concentrations de végétaux différents (Cp_1, Cp_2, Cp_3, Cp_4, Cp_5).</p> <p>Voir le chapitre 1.7 Partie B du rapport Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle.</p>	
Object	Input	Sub-system
Cs <sub>2</sub>	Cs <sub>attrib</sub>	Sol10
Object	Output	Sub-system
Dose <sub>anim1,classe,age</sub>	Dose <sub>anim1,classe,age</sub>	Niveaux Exposition Risque
Dose <sub>anim1,individu</sub>	Dose <sub>anim1,individu</sub>	Niveaux Exposition Risque
Dose <sub>anim2,individu</sub>	Dose <sub>anim2,individu</sub>	Niveaux Exposition Risque
Dose <sub>anim2,classe,age</sub>	Dose <sub>anim2,classe,age</sub>	Niveaux Exposition Risque

## General variable changes

### Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">definition_Canim1</a>	definition Canim1	
<b>Description</b>		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans le tissu 1. Si vous ne voulez pas calculer les concentrations dans le tissu de type 1, sélectionner "aucun" comme mode d'estimation. Le calcul par approche stationnaire n'a de sens que si les conditions d'exposition sont suffisamment stables pour que l'état stationnaire puisse être atteint. Il est préférable de n'utiliser ce mode de calcul que si les conditions d'exposition de l'animal sont constantes dans le temps. tissu 1 : viande, matières grasses		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	approche_stationnaire	Poule.aucun
Antimoine	approche_stationnaire	
Arsenic	approche_stationnaire	Poule.aucun
Benzo(a)pyrène	approche_stationnaire	Poule.aucun
Cadmium	approche_stationnaire	Poule.aucun
Chrome	approche_stationnaire	Poule.aucun
Cobalt	approche_stationnaire	
Cuivre	approche_stationnaire	Poule.aucun
Manganèse	approche_stationnaire	
Mercure	approche_stationnaire	Poule.aucun
Nickel	approche_stationnaire	Poule.aucun
Plomb	approche_stationnaire	Poule.aucun
Vanadium	approche_stationnaire	

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">definition_Canim2</a>	definition Canim2	
<b>Description</b>		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans le tissu 2. Si vous ne voulez pas calculer les concentrations dans le tissu de type 2, sélectionner "aucun" comme mode d'estimation. Le calcul par approche stationnaire n'a de sens que si les conditions d'exposition sont suffisamment stables pour que l'état stationnaire puisse être atteint. Il est préférable de n'utiliser ce mode de calcul que si les conditions d'exposition de l'animal sont constantes dans le temps. tissu 2 : lait, oeuf, matières grasses de ces produits		
<b>Materials</b>	<b>Value</b>	<b>Predefined value</b>
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	approche_stationnaire	Poule.aucun
Antimoine	approche_stationnaire	
Arsenic	approche_stationnaire	Poule.aucun
Benzo(a)pyrène	approche_stationnaire	Poule.aucun
Cadmium	approche_stationnaire	Poule.aucun
Chrome	approche_stationnaire	Poule.aucun
Cobalt	approche_stationnaire	
Cuivre	approche_stationnaire	Poule.aucun
Manganèse	approche_stationnaire	
Mercure	approche_stationnaire	Poule.aucun
Nickel	approche_stationnaire	Poule.aucun

Plomb	approche_stationnaire	Poule.aucun
Vanadium	approche_stationnaire	

Full Name	Symbol	Unit
-----------	--------	------

[definition\\_Coefficient\\_anim1](#)      definition Coefficient anim1

#### Description

Sélectionner le facteur à utiliser pour le calcul de la concentration dans le tissu 1 : coefficient de biotransfert défini par l'utilisateur (BTanim1), Coefficient de bioconcentration défini par l'utilisateur (BCFanim1), coefficient de bioconcentration estimé en fonction du Kow (BCFanim\_fat\_QSAR)

tissu 1 : viande, matières grasses

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_entree_BTanim	
Antimoine	valeur_entree_BTanim	
Arsenic	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BCFanim
Benzo(a)pyrène	valeur_entree_BTanim	Poule.non_defini
Cadmium	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BCFanim
Chrome	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BCFanim
Cobalt	valeur_entree_BTanim	
Cuivre	valeur_entree_BTanim	Poule.non_defini
Manganèse	valeur_entree_BTanim	
Mercure	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BCFanim
Nickel	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BCFanim
Plomb	valeur_entree_BTanim	
Vanadium	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BCFanim

Full Name	Symbol	Unit
-----------	--------	------

[definition\\_Coefficient\\_anim2](#)      definition Coefficient anim2

#### Description

Sélectionner le facteur à utiliser pour le calcul de la concentration dans le tissu 2 : coefficient de biotransfert défini par l'utilisateur (BTanim2), Coefficient de bioconcentration défini par l'utilisateur (BCFanim2), coefficient de bioconcentration estimé en fonction du Kow (BCFanim\_fat\_QSAR)

tissu 2 : lait, oeufs ou matières grasses de ces produits

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_entree_BTanim	
Antimoine	valeur_entree_BTanim	
Arsenic	valeur_entree_BTanim	
Benzo(a)pyrène	valeur_entree_BTanim	Poule.non_defini
Cadmium	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BCFanim
Chrome	valeur_entree_BTanim	
Cobalt	valeur_entree_BTanim	
Cuivre	valeur_entree_BTanim	Poule.non_defini
Manganèse	valeur_entree_BTanim	
Mercure	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BCFanim

Nickel	valeur_entree_BTanim	
Plomb	valeur_entree_BTanim	
Vanadium	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BCFanim

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">type_expr_Canim</a>	type expr Canim	

#### Description

Indiquer pour chaque substance si les concentrations dans les tissus animaux sont ou doivent être exprimées par rapport au poids frais ou au poids de matière grasse du tissu.

Les concentrations à l'état stationnaire (Canim1\_C1 et Canim2\_C1) sont calculées en poids frais ou en poids de matière grasse en fonction de l'expression du facteur de bioconcentration ou de biotransfert entré par l'utilisateur.

Les concentrations calculées par l'approche dynamique (Canim1\_C2 et Canim2\_C2) sont calculées en poids frais ou en poids de matière grasse selon l'option choisie par l'utilisateur en utilisant Masse\_anim1 ou Masse\_mg\_anim1 et Masse\_anim2 ou Masse\_mg\_anim2

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	poids_frais	Poule.poids_mat_grasse
Antimoine	poids_frais	
Arsenic	poids_frais	
Benzo(a)pyrène	poids_frais	Poule.non_defini
Cadmium	poids_frais	
Chrome	poids_frais	
Cobalt	poids_frais	
Cuivre	poids_frais	Poule.non_defini
Manganèse	poids_frais	
Mercure	poids_frais	
Nickel	poids_frais	
Plomb	poids_frais	
Vanadium	poids_frais	

## Parameter changes

### Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">Fraction consommée pour le tissu 1, exposée à la contamination du site</a>	f <sub>anim1,exp</sub>	

#### Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de tissu 1 : viande, matières grasses Fraction de la quantité de produit animal (viande) consommée et exposée à la contamination du site

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.2	1.0	0.2	0.75		

#### Comment

Vérfié. Valeur min relative à la population générale, valeur max relative à la population agricole

Full Name	Symbol	Unit
<a href="#">Fraction consommée pour le tissu 2, exposée à la contamination du site</a>	f <sub>anim2,exp</sub>	

## Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de tissu 2 : lait, oeufs. Fraction de la quantité d'aliment excrétée par l'animal (lait ou oeufs) consommée et exposée à la contamination du site

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.15	1.0	0.15	0.6		

## Comment

Vérifié. Valeur min relative à la population générale, valeur max relative à la population agricole

Full Name	Symbol	Unit
Quantité de végétal 3 ingérée par l'animal	$Q_{a,veg,3}$	$kg_{sec} d^{-1}$

## Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 2 et si definition\_Canim1 ou definition\_Canim2 est différent de valeur\_entree

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0	1.4	0.0	2.9		

## Comment

Validé. Quantité de concentrés (céréales, protéagineux, oléagineux) : valeurs correspondant à la dernière période d'élevage. Valeurs à utiliser pour une approche dynamique : voir référence

## Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de biotransfert pour le tissu 1 de l'animal	BTanim1	$d kg^{-1}$

## Description

A définir si definition\_Canim1=approche\_stationnaire. Pour un calcul par approche stationnaire, renseigner le facteur de bioconcentration (BCFamim1) ou le facteur de biotransfert (BTanim1).tissu 1 : viande, matières grasses (selon le tissu de stockage)

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	810.0	-1.0	390.0	810.0		
Antimoine	0.0	-1.0				
Arsenic	0.02	-1.0				
Benzo(a)pyrène	0.02767757	-1.0				
Cadmium	0.10625	-1.0				
Chrome	0.03	-1.0				
Cobalt	0.0010	-1.0				
Cuivre	0.5	-1.0				
Manganèse	0.05	-1.0				
Mercure	0.016	-1.0				
Nickel	0.0050	-1.0				
Plomb	0.01	-1.0	0.0030	2.0		
Vanadium	0.0	-1.0				

## Materials Comment

2378\_Tétrachlorodibenzodioxine Validé. Exprimé en j/kg de matières grasses

Antimoine	
Arsenic	
Benzo(a)pyrène	
Cadmium	
Chrome	
Cobalt	
Cuivre	
Manganèse	
Mercur	
Nickel	
Plomb	Validé. Exprimé en j/kg de matières fraîches. 0,01 pour des apports de l'ordre de la dizaine de mg/j , 1 pour des apports <= 1mg/j
Vanadium	

Full Name	Symbol	Unit
<b>Facteur de biotransfert pour le tissu 2 de l'animal</b>	B <sub>T,2</sub>	d kg <sup>-1</sup>

**Description**

A définir si definition\_Canim2=approche\_stationnaire. Pour un calcul par approche stationnaire, renseigner le facteur de bioconcentration (BCFamim2) ou le facteur de biotransfert (BTanim2)  
tissu 2 : lait, oeufs ou matières grasses de ces produits

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	250.0	-1.0	250.0	420.0		
Antimoine	0.0	-1.0				
Arsenic	0.02	-1.0	0.02	0.2		
Benzo(a)pyrène	0.01581576	-1.0				
Cadmium	0.0025	-1.0				
Chrome	0.0	3.0E-4	0.0	0.0010		
Cobalt	0.0010	-1.0				
Cuivre	0.5	-1.0				
Manganèse	0.07	-1.0				
Mercur	9.9E-4	-1.0				
Nickel	0.0	0.0070	0.0025	0.4		
Plomb	0.01	-1.0	0.0030	2.0		
Vanadium	0.0	-1.0				

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Validé. Exprimé en j/kg de matières grasses
Antimoine	
Arsenic	Vérifié. Exprimé en j/kg de matières fraîches
Benzo(a)pyrène	
Cadmium	
Chrome	Validé. Exprimé en j/kg de matières fraîches. 0 pour des apports de quelques mg/j de CrIII et 10-4 à 10-3 pour des apport de la dizaine ou centaine de mg/j de CrIII
Cobalt	
Cuivre	

Manganèse

---

Mercure

---

Nickel Validé. Exprimé en j/kg de matières fraîches. 0 pour des apports de quelques mg/j de CrIII et 10<sup>-4</sup> à 10<sup>-3</sup> pour des apport de la dizaine ou centaine de mg/j de CrIII

---

Plomb Validé. Exprimé en j/kg de matières fraîches. 0,01 pour des apports de l'ordre de la dizaine de mg/j , 1 pour des apports <= 1mg/j

---

Vanadium

---



### 3.11. Niveaux Exposition Risque

Niveaux Exposition Risque		Sub-system
Id	Niveaux_Exposition_Risque	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Niveaux Exposition Risque	
Description	<p>Ce module permet de calculer, d'une part les niveaux d'exposition chroniques (en moyenne annuelle) pour les différentes classes d'âge définies par l'utilisateur et pour le profil d'individus (défini par l'âge en début d'exposition et la date au début de l'exposition : cf. module Constantes_Reglages), et d'autre part les niveaux de risques chroniques pour des effets cancérigènes et non cancérigènes.</p> <p>Les niveaux de risques sont définis par substance individuelle et pour toutes les substances et peuvent aussi être définis par organe cible, en précisant les organes cibles de chaque substance par voies orale et respiratoire.</p> <p>La classe d'âge ayant les niveaux de risque non cancérigènes les plus élevés est mise en évidence (Max_Age_QD_).</p> <p>Pour la voie orale, l'utilisateur peut définir en données d'entrée les doses d'exposition en fonction du temps pour les différentes classes d'âge et le profil d'individus définis ou bien connecter ces données à partir des modules adhoc (modules "Sol", "Vegetaux", "Animaux_aquatiques"...).</p> <p>Pour l'inhalation, les concentrations inhalées en moyenne annuelle, pondérées par la fréquence d'exposition pour les différentes classes d'âge (Cinh_fraction_expo_classe_age_moy_an) seront définies par l'utilisateur ou connectées aux données des modules adhoc pour le calcul des risques non cancérigènes. Pour le calcul du risque cancérigène par inhalation, la concentration inhalée moyennée sur la durée d'exposition et pondérée par la fréquence d'exposition (Cinh_fraction_expo_vie_entiere) sera définie ou connectée aux données des modules adhoc.</p> <p><b>Attention : Les VTR (Valeurs de Référence Toxicologiques) et les organes cibles de chaque substance ne sont pas renseignés par défaut.</b></p>	
Object	Input	Sub-system
Dose veg,individu	Dose veg,individu Dose veg,individu Dose veg,individu Dose veg,individu Dose veg,individu	Fruits Legumes feuilles Legumes fruits Legumes racines Tubercules
Dose anim1,individu	Dose anim1,individu Dose anim1,individu	Poulet Poule
Dose ingsol,freq,expo,classe,age	Dose ingsol,freq,expo,classe,age	Sol1
Dose anim1,classe,age	Dose anim1,classe,age Dose anim1,classe,age	Poulet Poule
Dose anim2,classe,age	Dose anim2,classe,age	Poule
Dose ingsol,freq,expo,individu	Dose ingsol,freq,expo,individu	Sol1

Dose veg,classe,age	Dose veg,classe,age Dose veg,classe,age Dose veg,classe,age Dose veg,classe,age Dose veg,classe,age	Fruits Legumes feuilles Legumes fruits Legumes racines Tubercules
Dose anim2,individu	Dose anim2,individu	Poule

## Parameter changes

### Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit				
VTR à seuil par voie orale	VTR <sub>seuil,orale</sub>	mg kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>				
<b>Description</b>						
Si la substance ne possède pas de VTR pour les effets à seuil par voie orale, laisser la mention "NaN"						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	7.0E-10	NaN				
Antimoine	0.0060	NaN				
Arsenic	4.5E-4	NaN				
Benzo(a)pyrène	3.0E-4	NaN				
Cadmium	3.5E-4	NaN				
Chrome	9.0E-4	NaN				
Cobalt	0.0015	NaN				
Cuivre	1.4	NaN				
Manganèse	0.055	NaN				
Mercure	5.7E-4	NaN				
Nickel	0.0028	NaN				
Plomb	6.3E-4	NaN				
Vanadium	0.0020	NaN				

Full Name	Symbol	Unit				
VTR sans seuil par voie orale	VTR <sub>o,ss</sub>	mg <sup>-1</sup> kg d				
<b>Description</b>						
Si la substance ne possède pas de VTR pour les effets sans seuil par voie orale, laisser la mention "NaN"						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	130000.0	NaN				
Antimoine	NaN					
Arsenic	1.5	NaN				
Benzo(a)pyrène	1.0	NaN				
Cadmium	NaN					
Chrome	0.5	NaN				
Cobalt	NaN					
Cuivre	NaN					

Manganèse	NaN	
Mercure	NaN	
Nickel	NaN	
Plomb	0.0085	NaN
Vanadium	NaN	

## 4. Simulation settings

---

Simulation type	Deterministic
Start time	0.0 Years
End time	30.0 Years
Output option	Produce specified output only
Time series	Linear Increment(start,end,1.0)
Solver	NDF
Absolute tolerance	Auto
Relative tolerance	0.0010
Initial step size	1.0E-5
Maximum step size	0.5
Minimum step size	Auto
Refine output	1
Limit number of data points to last	1000
Control error relative to norm of solution	No
Allowed number of step size violations	1
Enable saturation	Yes
Maximum order	5
LU decomposition matrix format	Dense