

Création d'un crématorium animalier à Aléria(2B)

Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS), modélisation de la dispersion atmosphérique des émissions incluse

Pour le compte de :
ESKA Conseil



● Intervenants

CLIENT		ESKA Conseil
Coordonnées	3, rue Max Holste - 51100 Reims - France	
Contacts	Kévin GUILLIER	
	E-mail : kguillier@eska-conseil.fr	
	Mobile : +33 6 58 91 39 17	
PRESTATAIRE		NUMTECH
Coordonnées	5 rue des Planchettes – 63000 Clermont-Ferrand – 06 72 11 52 38	
Contacts	Emmanuelle Duthier	
	Chef de projet Qualité de l’Air NUMTECH	
	E-mail : emmanuelle.duthier@numtech.fr	
	Mobile : +33 6 49 65 15 34	
VERSION	DATE	MODIFICATIONS
1.0	22/08/2025	Version initiale
REDACTION		VERIFICATION
Alisson GODART Ingénieur en Evaluation des risques sanitaires		Emmanuelle DUTHIER Cheffe de Projet Qualité de l’Air
		
Léa BRITO Ingénieur d'étude		
		

● Résumé

NUMTECH est a été sollicitée par ESKA CONSEIL afin d'évaluer les risques sanitaires relatifs aux rejets d'un projet de crématorium animalier à Aléria en Corse (2B).

L'évaluation des risques sanitaires a été réalisée en 4 étapes selon la démarche préconisée par l'Institut de l'environnement et des risques industriels (INERIS). Les effets aigus (pour une durée d'exposition de 1 heure à 2 semaines) et chroniques (pour une durée d'exposition d'au moins 1 an) susceptibles d'être induits suite à une exposition respiratoire et/ou orale à une série de substances ont été étudiés. Les niveaux d'expositions des populations riveraines au projet de crématorium et les risques sanitaires ont été estimés via une étude de dispersion.

Les valeurs toxicologiques de référence ont été choisies en suivant les recommandations de la note méthodologique de la direction générale de la santé (DGS) d'octobre 2014.

Comme indiqué dans le guide de l'Ineris, la caractérisation des risques a porté uniquement sur les émissions du site en projet, ainsi, l'exposition actuelle des populations, appelée aussi « exposition ambiante » ou « niveau de fond ambiant » n'a pas été considérée dans l'étape de caractérisation des risques.

D'après les résultats obtenus, aucun dépassement de seuil sanitaire ($QD < 1$ et $ERI < 10^{-5}$) n'est observé lors d'expositions aiguës et chroniques par voie respiratoire et/ou digestive, pour l'ensemble des substances étudiées.

Les sommes de risques effectuées pour les effets chroniques non cancérigènes et les deux voies d'exposition (respiratoire et orale) conduisent à l'obtention d'un risque inférieur au seuil sanitaire ($QD < 1$). La somme de risques effectuées pour les effets chroniques cancérigènes conduit également à l'obtention d'un risque inférieur au seuil sanitaire ($ERI < 1.10^{-5}$).

Le document produit par NUMTECH doit être diffusé dans son intégralité de façon à ce que les lecteurs disposent de l'ensemble des éléments ayant servi à établir les résultats. La responsabilité de NUMTECH ne pourra pas être engagée si les informations qui lui ont été fournies au cours de l'étude par le commanditaire sont erronées ou parcellaires ou si le rapport et ses annexes sont présentés de façon partielle ou utilisés à d'autres fins que celles prévues dans l'introduction de cette étude.

● Table des matières

1	Introduction	8
1.1	Contexte et objectifs de l'étude	8
1.2	Cadre de l'évaluation quantitative des risques sanitaires (ERS)	8
1.2.1	Définition de l'ERS et références méthodologiques	8
1.2.2	Champ d'intervention	8
1.2.3	Structure du rapport	8
1.2.4	Principes conducteurs à la réalisation de l'étude	9
2	Caractérisation du site et de son environnement	11
2.1	Présentation de l'installation et de son environnement proche	11
2.2	Détermination de la taille du domaine d'étude	11
2.3	Caractérisation des populations et des usages de l'environnement	12
2.3.1	Population résidente	12
2.3.2	Populations fréquentant le domaine d'étude	12
2.3.3	Usages de l'environnement	14
2.4	Présence d'activités industrielles	16
2.5	Inventaire et choix des substances émises	17
3	Identification des dangers	18
3.1	Méthode	19
3.2	Etude des dangers	19
4	Inventaire et choix des valeurs toxicologiques de référence	21
4.1	Définition	21
4.2	Sources de données	21
4.2.1	Cas particulier du benzène	23
4.3	Choix des valeurs toxicologiques de référence	24
4.4	Choix des traceurs de risque	27
5	Évaluation des expositions	28
5.1	Exposition par inhalation	28
5.2	Exposition par ingestion	28
5.2.1	Médias d'exposition orale retenus	28
5.2.2	Médias d'exposition orale exclus	29
5.3	Exposition par voie cutanée	29
5.4	Schéma conceptuel d'exposition	30
5.5	Calcul des doses d'exposition par inhalation	30
5.5.1	Paramètres d'exposition retenus	31
5.5.2	Estimation des concentrations en substances dans l'air (Ci)	32

5.5.3	Résultats de l'étude de dispersion	32
5.6	Calcul des doses d'exposition par ingestion	36
5.6.1	Définition du scénario d'exposition	38
5.6.2	Paramètres du scénario d'exposition	40
5.6.3	Estimation des doses journalières d'exposition	40
6	Caractérisation des risques sanitaires	43
6.1	Méthode	43
6.1.1	Quotients de danger pour les substances à effets à seuil de dose	43
6.1.2	Excès de risque individuel pour les substances à effets sans seuil de dose	43
6.2	Exposition par voie respiratoire	45
6.2.1	Exposition aiguë	45
6.2.2	Expositions chroniques	46
6.3	Résultats pour la voie digestive	47
6.4	Risques cumulés	49
6.4.1	Risques cumulés pour les effets à seuil de dose	49
6.4.2	Risques cumulés pour les effets sans seuil de dose	50
7	incertitudes	52
7.1	Incertitudes ayant pour effet de sous-estimer les risques	52
7.1.1	Sélection des substances retenues dans l'étude	52
7.2	Incertitudes ayant pour effet de surestimer les risques	52
7.2.1	Mélanges de substances	52
7.2.2	Spéciation des COV	53
7.3	Incertitudes dont l'effet sur les risques est inconnu (ou variable)	53
7.3.1	Spéciation des métaux	53
7.3.2	Taux d'exposition journalier	53
7.3.3	Fréquence d'exposition annuelle pour des expositions chroniques	54
7.3.4	Estimation des concentrations intérieures et extérieures (Ci)	54
7.3.5	Incertitude associée au choix des VTR	54
7.3.6	Variables humaines d'exposition	56
7.3.7	Modélisation de la dispersion atmosphérique	56
7.3.8	Modélisation des transferts dans la chaîne alimentaire	57
7.3.9	Incertitude intrinsèque aux VTR	58
8	Conclusion	59
8.1	Exposition respiratoire	59
8.1.1	Exposition aiguë	59
8.1.2	Exposition chronique et effets à seuil de dose	59
8.1.3	Exposition chronique et effets sans seuil de dose (cancérogènes)	59
8.2	Exposition orale	59
8.3	Risques cumulés	59
	Annexe 1 : La modélisation de la dispersion atmosphérique	61
	Annexe 2 : Fiches toxicologiques des substances étudiées dans l'ERS	68
	Annexe 3 : Récapitulatif des données et des résultats obtenus avec MODULERS	69

● Figures

Figure 1 - Environnement proche de l'installation	11
Figure 2 – Localisation des sites sensibles	14
Figure 3 – Zone de culture (source : RPG 2023)	16
Figure 4 - Logigramme pour le choix des VTR (note n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014)	22
Figure 5 - Schéma conceptuel d'exposition considéré dans le cadre de cette étude	30
Figure 6 – Variabilité spatiale de l'exposition moyenne annuelle (cas des oxydes d'azote)	33
Figure 7 – Variabilité spatiale de l'exposition maximale horaire (cas des oxydes d'azote)	34
Figure 8 – Variabilité spatiale de l'exposition maximale journalière (cas des oxydes d'azote)	35
Figure 9. Modèle d'exposition selon l'outil MODULERS	38
Figure 10. Variabilité spatiale des dépôts atmosphériques en dioxines-furannes	39
Figure 11. Variabilité temporelle des DJE estimées pour les dioxines-furannes induites pas le projet	41

● Tableaux

Tableau 1 – Population recensée dans le domaine d'étude (source : INSEE, 2017)	12
Tableau 2 – Sites sensibles	13
Tableau 3 - Typologie des sols dans le domaine d'étude (source : Corine Land Cover 2018)	15
Tableau 4 – Sites BASIAS	17
Tableau 5 – Substances réglementées et VLE associées, exprimées sur gaz sec	17
Tableau 6 - Substances inventoriées, voie et durée d'exposition et systèmes cibles associés	20
Tableau 7 - Présence ou absence de VTR pour les substances recensées à l'émission du projet de crématorium	23
Tableau 8 - VTR aiguës pour la voie respiratoire	24
Tableau 9 - VTR chronique non cancérogène pour la voie respiratoire	24
Tableau 10 - VTR chronique cancérogène pour la voie respiratoire	25
Tableau 11 - VTR chronique non cancérogène pour la voie digestive	25
Tableau 12 - VTR chronique sans seuil pour la voie digestive	26
Tableau 13. Identification des traceurs de risques pour la voie orale	27
Tableau 14. Paramètres retenus pour le scénario d'exposition considéré	32
Tableau 15. Concentrations atmosphériques maximales (Ci, µg/m³) obtenues sur le domaine d'étude pour les substances retenues dans l'ERS	35
Tableau 16. Dépôts atmosphériques obtenus au niveau du site ingestion	39
Tableau 17. DJE cumulées maximales obtenues après 30 ans de fonctionnement (mg/kgPC/j)	42
Tableau 18. Quotients de danger et comparaison aux VTR ou valeurs guide pour une exposition aiguë	45
Tableau 19. Quotients de danger obtenus pour une exposition chronique dans le domaine d'étude	46
Tableau 20. Détermination des ERI	47
Tableau 21. Quotients de danger (QD) obtenus pour la voie digestive	47
Tableau 22. Excès de risque individuels (ERI) obtenus pour la voie orale	48
Tableau 23. Sommes de QD chroniques selon le système cible pour les 2 voies d'exposition confondues	49
Tableau 24. Estimation des risques cumulés sans seuil	50
Tableau 25. Détermination des ERI associés aux PM ₁₀ et PM _{2.5}	55
Tableau 26 – Complexité du site et de son environnement	56

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

NUMTECH est sollicitée par ESKA CONSEIL afin d'évaluer les risques sanitaires relatif aux rejets d'un projet de crématorium animalier à Aléria (2B).

1.2 Cadre de l'évaluation quantitative des risques sanitaires (ERS)

1.2.1 DEFINITION DE L'ERS ET REFERENCES METHODOLOGIQUES

L'évaluation des risques sanitaires est une démarche structurée élaborée par le national research council (NRC) (l'Académie des sciences nord-américaine) (NRC, 1983)¹ qui la décrit comme « ...l'utilisation de faits scientifiques pour définir les effets sur la santé d'une exposition d'individus ou de populations à des matériaux ou des situations dangereuses ». Cette démarche suit une méthode définie permettant de fournir aux gestionnaires des estimations des risques pour la santé, en l'état actuel des connaissances scientifiques. Dans le cadre des installations classées, elle s'applique de façon itérative afin, si possible, de quantifier le risque potentiel attendu autour du site.

Concernant la méthodologie à suivre pour la réalisation d'une ERS, le guide méthodologique de l'Ineris a été considéré (Ineris, 2021)², car il fait référence en France. Dans le cas particulier d'un crématorium, un second guide méthodologique de l'ADEME paru en 2006 a également été utilisé (ADEME, 2006)³.

1.2.2 CHAMP D'INTERVENTION

Dans la présente ERS, seul le risque sur la santé des populations riveraines au projet d'installation est étudié. Les travailleurs du site lui-même, dans le cadre de leur poste de travail, n'entrent pas dans la présente évaluation mais sont soumis à la législation du travail (Cf. Notice Hygiène et Sécurité du Dossier de demande d'autorisation d'exploiter). De même, l'étude n'évalue pas :

- les risques écotoxiques (impact sur la faune et la flore),
- les impacts liés aux odeurs,
- les risques liés aux agents physiques et microbiologiques,
- les risques liés aux sources d'émission non atmosphériques,
- les risques liés aux rejets diffus.

1.2.3 STRUCTURE DU RAPPORT

La démarche d'évaluation des risques sanitaires s'appuie sur les 4 étapes suivantes :

¹ National Research Council (NRC), 1983, Risk assessment in the federal government. Managing the process. Washington DC, National Academy of Science, 191 p.

² Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), Évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires Démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées Deuxième édition – Septembre 2021.

³ ADEME, 2006, Caractérisation des émissions atmosphériques d'un échantillon représentatif du parc français des crématoriums en vue d'une évaluation globale du risque sanitaire

- Etape 1 : l'identification des dangers qui consiste en l'identification et la description les plus exhaustives possible des substances capables de générer un effet sanitaire indésirable, ainsi que la description de cet effet sanitaire,
- Etape 2 : l'évaluation de la relation dose-réponse qui a pour but d'estimer le lien entre la dose d'une substance mise en contact avec l'organisme et l'incidence de l'apparition d'un effet toxique jugé critique pour l'organisme. Cette étape se caractérise par le choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour chaque toxique étudié,
- Etape 3 : l'évaluation des expositions qui permet de juger du niveau de contamination des milieux, de caractériser les populations potentiellement exposées et de quantifier l'exposition de celles-ci,
- Etape 4 : la caractérisation du risque qui est une étape de synthèse des étapes précédentes permettant de quantifier le risque encouru pour la ou les population(s) exposées.

Cette étape est suivie d'un récapitulatif des hypothèses et des incertitudes liées à la démarche d'évaluation des risques sanitaires.

Comme le recommande l'Ineris, une étape préalable de « Caractérisation de l'installation et de son environnement » a été réalisée. Dans le cadre de cette étude, elle permet d'identifier les populations potentiellement exposées, ainsi que les usages de l'environnement potentiellement impactés par le projet de crématorium.

1.2.4 PRINCIPES CONDUCTEURS A LA REALISATION DE L'ETUDE

Plusieurs grands principes sont respectés dans l'ERS, conformément aux recommandations de l'InVS, de l'Ineris et de la circulaire du 17 février 1998 relative à l'application de l'article 19 de la loi LAURE⁴, complétant le contenu des études d'impact des projets d'aménagement :

- la transparence : les sources de données et les méthodes utilisées, les choix réalisés et les incertitudes relevées sont explicités et référencés,
- la cohérence : les meilleures connaissances scientifiques du moment (cohérence externe) sont utilisées de même que des règles systématiques pour recueillir et traiter l'information, choisir les méthodes et les hypothèses de calcul (cohérence interne),
- la spécificité : l'étude s'appuie sur les connaissances scientifiques et les données propres au site ou qui s'en rapprochent le plus,
- la prudence scientifique : en l'absence de donnée reconnue, sont prises en compte des hypothèses raisonnablement majorantes,
- la proportionnalité : le degré d'approfondissement doit être cohérent avec l'importance des incidences prévisibles de la pollution.

⁴ Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie

Cette étude s'appuie sur les méthodes et les connaissances disponibles au moment de la rédaction du rapport. Sa validité est donc limitée par l'évolution des outils et des connaissances des sciences utilisées dans l'évaluation des risques sanitaires.

Le document produit par NUMTECH doit être diffusé dans son intégralité de façon à ce que les lecteurs disposent de l'ensemble des éléments ayant servi à établir les résultats. La responsabilité de NUMTECH ne pourra pas être engagée si les informations qui lui ont été fournies au cours de l'étude par le commanditaire sont erronées ou parcellaires ou si le rapport et ses annexes sont présentés de façon partielle ou utilisés à d'autres fins que celles prévues dans l'introduction de cette étude.



2 CARACTERISATION DU SITE ET DE SON ENVIRONNEMENT

2.1 Présentation de l'installation et de son environnement proche

Le site d'implantation du crématorium est localisé au sud de l'agglomération d'Aléria, en Corse (2B). Les émissions à l'atmosphère se font par l'intermédiaire d'une cheminée. Ce crématorium est équipé d'1 four (FT40). Il fonctionnera de 9h à 17h du lundi au vendredi.

Localisation du site d'étude

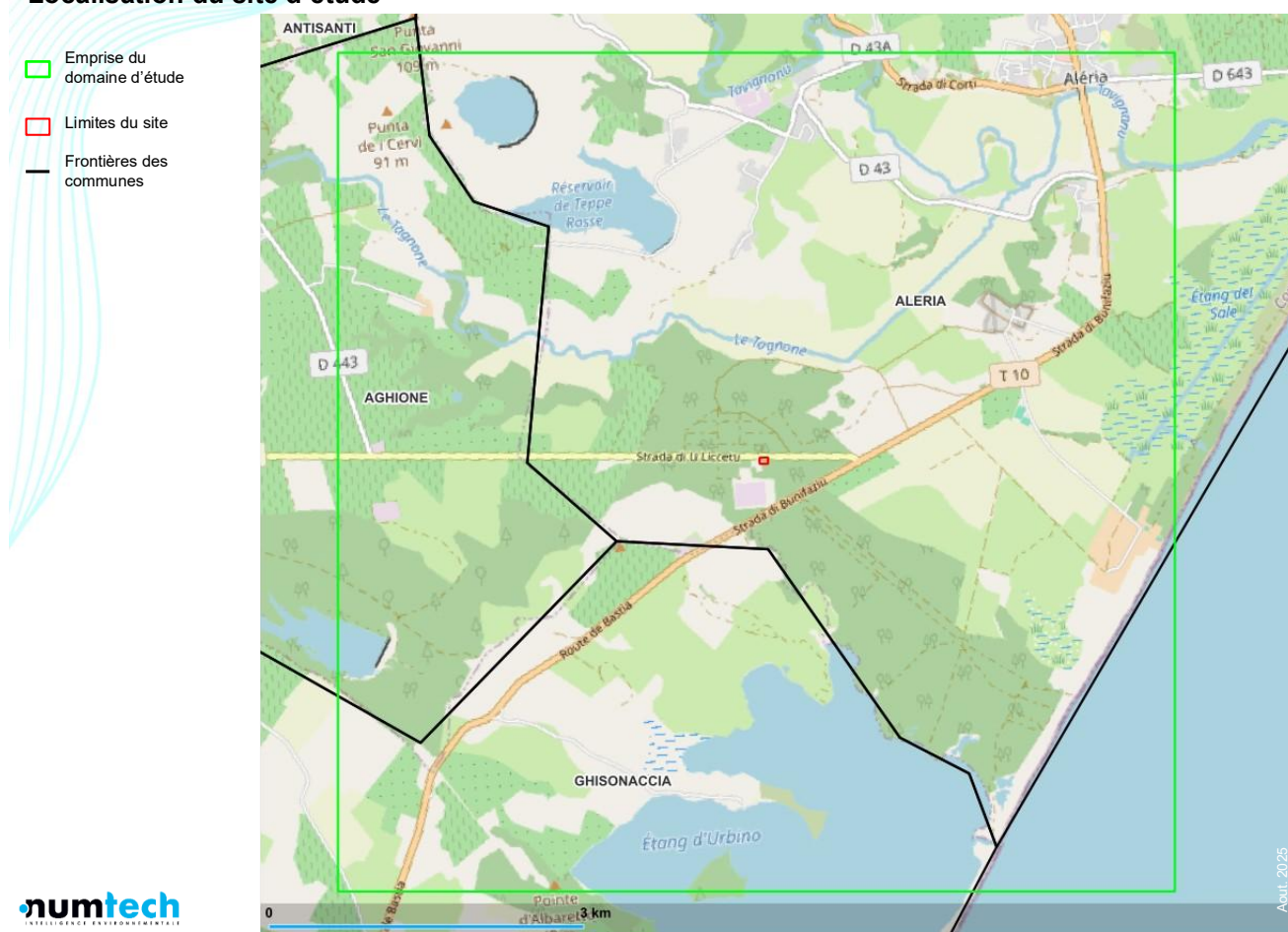


Figure 1 - Environnement proche de l'installation

2.2 Détermination de la taille du domaine d'étude

Le domaine d'étude retenu est un rectangle de 8 kilomètres de côté centré sur le projet. Cette étendue a été fixée par l'intermédiaire de l'étude de dispersion réalisée dans le cadre de cette étude en considérant les émissions en oxydes d'azote (NO_x) émis par le projet de crématorium. En effet, il a été vérifié que le domaine d'étude comprend bien les zones d'exposition correspondantes au moins à

1/10 de la concentration maximale estimée à proximité du site. Cette méthode d'estimation de la taille du domaine d'étude est couramment utilisée pour les évaluations des risques sanitaires.

2.3 Caractérisation des populations et des usages de l'environnement

2.3.1 POPULATION RESIDENTE

Le domaine d'étude se situe sur 3 communes : principalement sur les communes d'Aléria, et dans une moindre mesure sur les communes de Ghisonaccia et Aghione. Afin d'estimer le nombre de personnes résidant dans la zone d'étude, des données carroyées (carreaux de 200 mètres) proposées par l'INSEE ont été utilisées. Elles sont issues de la source Revenus Fiscaux Localisés 2017. D'après ces informations, la zone d'étude comprend 1 350 habitants. Le profil d'âge de cette population est présenté dans le Tableau 1 suivant :

Tableau 1 – Population recensée dans le domaine d'étude (source : INSEE, 2017)

Classe d'âge	Nombre d'individus
0-3 ans	71.7
4-5 ans	35.7
6-10 ans	92.5
11-17 ans	117.6
18-24 ans	60.1
25-39 ans	238.7
40-54 ans	278.7
55-64 ans	175.1
65-79 ans	203.3
80 ans et +	74.7
Age incertain	1.8
TOTAL	1350

2.3.2 POPULATIONS FREQUENTANT LE DOMAINE D'ETUDE

Dans la zone d'étude considérée dans le cadre de l'ERS, des sites appelés « sites sensibles » ont été localisés. Ces sites correspondent à des lieux de vie où des personnes potentiellement plus sensibles à la pollution atmosphérique que la population générale, passent un temps significatif. Ces populations sensibles sont les enfants, les personnes âgées et hospitalisées. Étant donné que les personnes exerçant une activité physique ont une ventilation pulmonaire augmentée, cette population a également été considérée

Les « sites sensibles » recensés sont donc les suivants :

- les structures d'accueil des enfants en bas-âge : crèches, haltes garderies,
- les établissements scolaires : écoles maternelles et primaires, collèges,
- les structures d'accueil des personnes âgées et/ou handicapées : maisons de retraite, foyers pour personnes âgées,
- les établissements hospitaliers : hôpitaux, cliniques.
- les lieux dédiés à la pratique du sport.

Les paragraphes suivants précisent les données collectées relatives aux sites sensibles. Le Tableau 2 et la Figure 2 les présentent.

2.3.2.1 Enfants / adolescents

Les structures d'accueil des enfants de moins de 3 ans prises en compte sont les crèches et les haltes garderies. D'après les informations recueillies⁵, il n'existe aucune structure d'accueil d'enfants en bas âge dans le domaine d'étude.

Les structures d'accueil des enfants entre 3 et 16 ans recensés sont les établissements scolaires (écoles maternelles, écoles primaires et collèges). La liste des établissements scolaires est issue de la base de données Etalab 2023 correspondante aux Etablissements des premier et second degrés sous tutelle du ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche. Cette base de données est disponible en libre accès en « Open Data »⁶. D'après les données collectées, le domaine d'étude ne compte aucun établissement scolaire.

2.3.2.2 Personnes fréquentant les établissements sanitaires et sociaux

D'après les informations disponibles dans le FINESS⁷, aucun établissement sanitaire et sociaux n'est présent sur le domaine d'étude.

2.3.2.3 Personnes exerçant une activité physique

Le recensement des sites utilisés pour la pratique sportive, ainsi que leur localisation, est déduit de la base de données du ministère des Sports et des jeux olympiques et paralympiques⁸. Cette base de données permet d'identifier 5 sites sensibles liés à une pratique sportive en extérieur sur la zone d'étude. Ces sites sont recensés dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Sites sensibles

Sites sensibles	Communes	Distance au site
Base nautique d'Aléria	Aléria	4.7 km
Terrains de tennis et foot du centre pénitencier de Casabianda	Aléria	2.7 km
Stade Xavier Carlotti	Aléria	2.4 km
Tir Club d'Aléria	Aléria	4.1 km
Terrain de foot du centre pénitencier de Casabianda	Aléria	3.7 km

⁵ <https://www.journaldesfemmes.fr/maman/creches>

⁶ www.data.gouv.fr

⁷ Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux

⁸ Data ES - Base de données — Data ES (sports.gouv.fr)

Localisation des sites sensibles



Figure 2 – Localisation des sites sensibles

2.3.3 USAGES DE L'ENVIRONNEMENT

Les données issues de l'inventaire Corine Land Cover 2018 ont été utilisées pour caractériser l'usage des sols dans le domaine d'étude retenu. Cet inventaire biophysique de l'occupation des terres, piloté par l'Agence européenne pour l'environnement (service Copernicus), fournit une information géographique de référence pour les états européens, dont la France. Les données proposées sont issues de l'interprétation visuelle d'images satellitaires. D'après les résultats présentés dans le Tableau 3 et en Figure 3, le domaine d'étude est plutôt agricole puisque les surfaces à usage agricole représentent un peu moins de trois quarts de la surface d'étude (69%). Le reste de la zone d'étude est forestier (19%) ou maritime et lacustre (17%). Seulement 1% de la zone d'étude est recouvert par des surfaces urbaines et industrielles.

Tableau 3 - Typologie des sols dans le domaine d'étude (source : Corine Land Cover 2018)

Type	surface (ha)	part
Terres arables hors périmètres d'irrigation	1011.1	15.87%
Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole	956.3	15.01%
Systèmes culturaux et parcellaires complexes	931.4	14.62%
Forêt et végétation arbustive en mutation	619.9	9.73%
Vignobles	573.3	9.00%
Forêts de feuillus	539.5	8.47%
Lagunes littorales	513.2	8.06%
Mers et océans	335.8	5.27%
Vergers et petits fruits	255.0	4.00%
Pelouses et pâturages naturels	175.3	2.75%
Plans d'eau	140.6	2.21%
Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	75.9	1.19%
Tissu urbain discontinu	67.3	1.06%
Landes et broussailles	50.4	0.79%
Marais intérieurs	49.0	0.77%
Marais maritimes	25.1	0.39%
Zones industrielles ou commerciales et installations publiques	25.0	0.39%
Forêts de conifères	15.0	0.24%
Plages, dunes et sable	11.1	0.17%
TOTAL	6370.2	100.0%

Les données Agreste, relatives à la statistique agricole, permettent de recenser les activités d'élevage en 2020 dans les communes de Aléria, Ghisonaccia et Aghione. En 2020, 17 exploitations de vaches nourrices sont recensées, 32 exploitations avec des brebis et 5 avec des chèvres. 3 exploitations avec des porcs à l'engraissement et 3 avec des truies reproductrices sont recensés à Aléria.

Les sites internet des villes de Aléria, Ghisonaccia et Aghione ne mentionnent pas l'existence de jardins partagées sur les communes.

Concernant les cultures végétales, le registre parcellaire agricole de 2023 permet de se rendre compte des différents types de cultures végétales dans le domaine d'étude. Comme indiqué en Figure 3, le domaine est susceptible de comprendre des vignes, des prairies (permanentes et temporaires), des estives et landes et des cultures de céréales (maïs, orge, autres...).

En parallèle des éléments d'information collectés dans les différentes bases de données pour l'identification des usages de l'environnement pour la production d'aliments, il ne peut être exclu la présence d'élevages privatifs de type avicoles, destinés à l'autoconsommation de viande ou d'œufs. C'est notamment le cas au niveau des jardins familiaux, lesquels sont également connus pour faciliter l'autoconsommation de fruits et légumes.

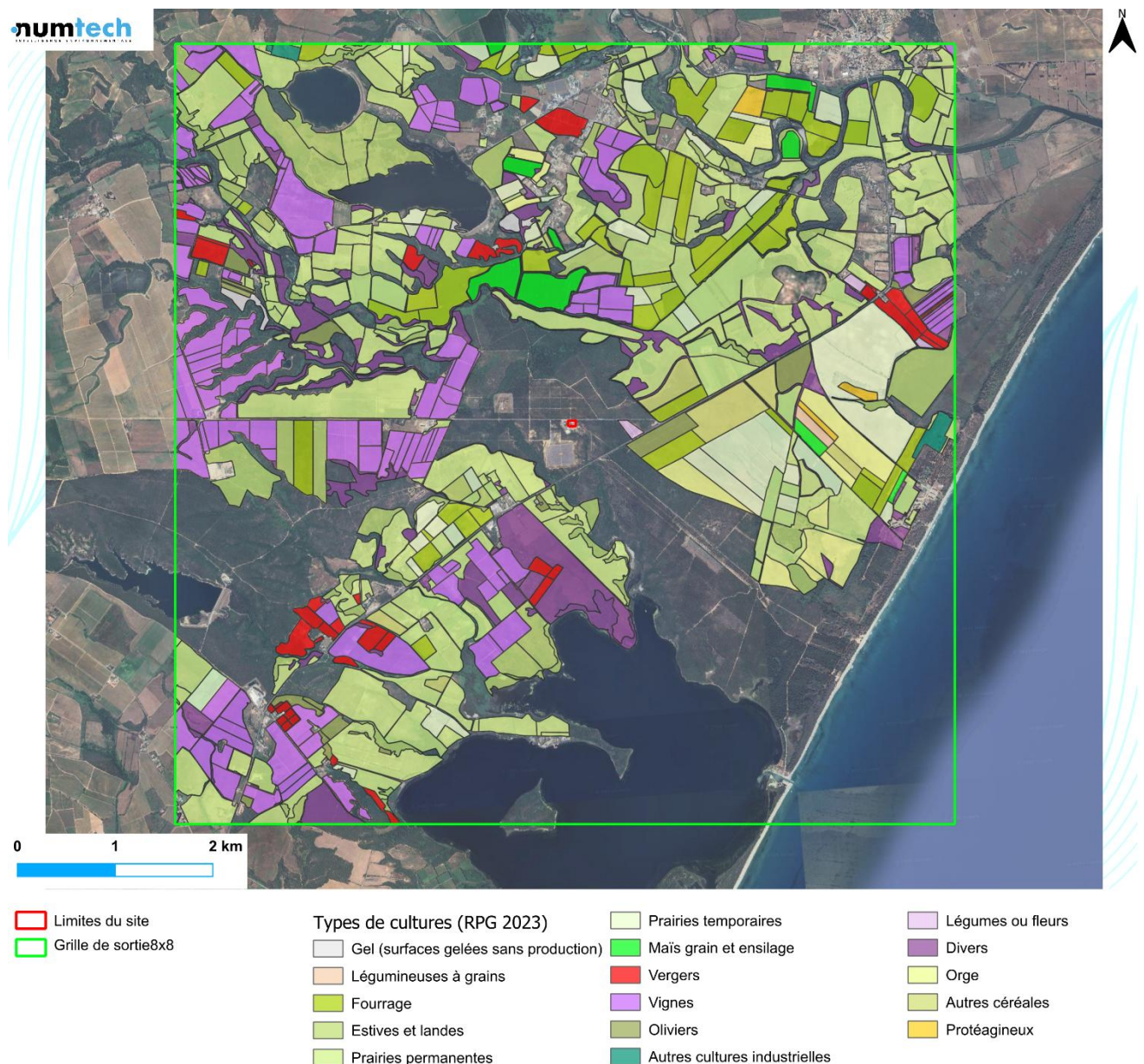


Figure 3 – Zone de culture (source : RPG 2023)

2.4 Présence d'activités industrielles

En parallèle des activités agricoles, les activités humaines et plus particulièrement les activités industrielles sont recensées. Elles permettent de se rendre compte de l'environnement du projet de crématorium, et notamment de la présence d'autres sources émettrices en présence. D'après les données de la base Géorisques, le domaine d'étude comprend 3 installations classées pour la protection de l'environnement. Il s'agit de la société EQUARRI CORSE spécialisée en collecte, traitement et élimination des déchets et récupération, ainsi que de 2 établissements de la COOPERATIVE VINICOLE D'AGHIONE SAMULETTO, spécialisée en fabrication de boissons.

D'après les informations disponibles, aucune de ces installations n'est connue pour émettre des polluants dans l'atmosphère en quantité significative.

La base de données Géorisques identifie 5 sites BASIAS (Base de données des anciens sites industriels et activités de services) sur le domaine d'étude. Ils sont recensés dans le Tableau 4.

Tableau 4 – Sites BASIAS

Sites BASIAS	Communes	Coordonnées	
		Latitude (°)	Longitude (°)
Station-service Total	Aléria	42.115	9.514
Station-service Vito	Aléria	42.114	9.513
SOCOTRAP	Aléria	42.108	9.504
Palazzi Jean-Michel	Aléria	42.114	9.452
Corse Européenne d'entreprise, SARL	Aghione	42.073	9.427

Aussi, 2 sites BASOL (sites pollués) sont identifiés sur le domaine d'étude : un sur la commune de Ghisonaccia et l'autre à une dizaine de mètres du site d'étude, dans la commune d'Aléria.

2.5 Inventaire et choix des substances émises, et émissions

Les substances prises en compte dans le cadre de cette étude sanitaire correspondent aux substances réglementées à l'émission et précisées dans l'article 26 de l'arrêté du 6 juin 2018⁹. Cet arrêté liste les substances réglementées, ainsi que les valeurs-limites à l'émission (VLE) auxquelles sont astreints les nouveaux crématoriums.

Le tableau suivant présente les différentes concentrations à l'émission retenues dans l'étude.

Tableau 5 – Substances réglementées et VLE associées, exprimées sur gaz sec

Substances	Valeurs Limites à l'Emission en mg/Nm ³
Gaz	
NO _x	500
SO ₂	300
CO	150
HCl	100
COV	40
Particules	
Poussières	100
PCDD/PCDF	1 x 10 ⁻⁷
Métaux (Sb + As + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + Pb + V)	5

Dans la mesure où une évaluation des risques sanitaires s'applique à caractériser les risques pour chaque substance en contact avec les populations, une attention particulière est apportée pour spécifier le contenu des familles de substances. Les paragraphes suivants précisent les hypothèses retenues pour les différentes familles de substances considérées dans l'étude.

Pour la famille des composés organiques volatils, en l'absence d'information précise sur la composition de cette famille de substances, l'hypothèse simplificatrice majorante suggérée dans un

⁹ <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037078514>

guide de l'ADEME¹⁰ paru en 2006 a été retenue. Ainsi, cette famille a été assimilée à du benzène (composé le plus toxique).

Dans le cas de la famille des oxydes d'azotes, le degré d'oxydation de l'azote dépend des conditions météorologiques (température, ensoleillement), ainsi que de l'éventuelle présence de précurseurs chimiques (ozone, composés organiques volatils, niveaux de fond en oxydes d'azote). Dans une approche majorante, l'ensemble des oxydes d'azotes a été considéré comme du dioxyde d'azote. Cette hypothèse tend à majorer l'exposition au dioxyde d'azote, notamment au plus proche des sources d'émission.

Pour la famille des poussières, selon l'inventaire d'émission de l'OMINEA¹¹, les poussières émises par des crématoriums seraient composées à 90% de PM₁₀ (poussières dont le diamètre aérodynamique est égal ou inférieur à 10µm) et à 80% de PM_{2.5} (poussières dont le diamètre aérodynamique est égal ou inférieur à 2.5µm). Ces pourcentages ont été retenus dans le cadre de cette étude.

La famille des dioxines-furanes a été assimilée au congénère 2378-TCDD couramment utilisé comme congénère de référence. En effet, il s'agit de l'un des congénères les plus toxiques et les mieux connus. L'unité (ITEQ) indique qu'aucune conversion n'est nécessaire dans la mesure où cette famille de substances est exprimée en équivalent 2378-TCDD.

Dans la famille des métaux lourds, la part de chaque métal a été estimée grâce à la base de données « Facteurs d'émissions issues de l'inventaire d'émission 2021 » de l'US-EPA¹².

	Spéciation US-EPA
Sb	0%
As	5%
Cr VI	2%
Co	1%
Cu	0%
Mn	0%
Ni	4%
Pb	88%
V	0%
Sb + As + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + Pb + V	100%

3 IDENTIFICATION DES DANGERS

Cette première étape de l'évaluation des risques sanitaires présente les effets sur la santé humaine des substances susceptibles d'être émises par un crématorium.

¹⁰ LIVOLSI B, LABROUSSE S, ADEME, 2006, Caractérisation des émissions atmosphériques d'un échantillon représentatif du parc français des crématoriums en vue d'une évaluation globale du risque sanitaire (<https://www.ademe.fr>)

¹¹ https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/omineia/OMINEA_2023.pdf

¹² https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-02/documents/nei2017_tsd_full_jan2021.pdf



3.1 Méthode

Pour chacune des substances recensées susceptibles d'être émise par l'installation en projet, ce chapitre présente un résumé des connaissances en toxicité aiguë et chronique, qui sont les deux types d'exposition étudiés dans cette ERS. Pour les expositions chroniques, il est distingué les connaissances sur les effets cancérogènes et celles sur les effets non cancérogènes. Les principales bases de données consultées sont les suivantes :

- L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS),
- « L'International Program on Chemical Safety » (IPCS),
- Santé Canada (« Health Canada »),
- L'institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (Ineris),
- L'institut National de Recherche et de Sécurité (INRS),
- L'Hazardous Substances Data Bank (HSDB).

La consultation de ces bases a permis de répertorier les dangers associés aux substances inventoriées. Des fiches toxicologiques complètes sont présentées en Annexe 2.

3.2 Etude des dangers

Le descriptif des dangers associés à chacune des substances appréhendées dans le cadre de cette étude est présenté dans les fiches toxicologiques associées aux substances.

Le Tableau 6 présente les principaux systèmes cibles et les substances associées à ces systèmes, selon la voie d'exposition. Ce tableau n'a pas pour ambition de lister l'ensemble des effets répertoriés dans la littérature mais de pointer le fait que chaque système est la cible de plusieurs substances étudiées. Ces substances peuvent agir sur une cible avec des mécanismes d'action différents ou similaires. Elles peuvent interagir pour potentialiser, neutraliser ou diminuer les effets néfastes de substances considérées individuellement. Les effets des mélanges de substances sont actuellement appréhendés dans les évaluations de risques sanitaires avec des hypothèses d'additivité des effets portant sur les mêmes cibles, ce qui est loin de représenter la variabilité de comportement des substances en mélange.

Tableau 6 - Substances inventoriées, voie et durée d'exposition et systèmes cibles associés

Substances	Systèmes cibles									
	Respiratoire	Oculaire	Hématologique et immunitaire	Cardiovasculaire	Nerveux	Digestif	Musculo-squelettique	Urinaire	Cutané	Reproductif et développemental
Dioxyde d'azote	AR, CR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dioxyde de soufre	AR, CR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Poussières	AR, CR	-	-	AR	-	-	-	-	-	-
Monoxyde de carbone				CR	AR, CR					
Chlorure d'hydrogène	AR, CR	AR				AR			AR, CR	
Benzène	-	-	AR, CR, CO	-	CR, CO	-	-	-	-	-
Antimoine	CR	-	-	-	-	AO, AR	-	-	-	-
Arsenic	AR, CR	-	AO, CO	CR, CO	AO, CR, CO	AO, CO	-	-	AO, CR, CO	-
Chrome	CR, CO	-	-	-	AO	AO	-	-	-	-
Cobalt	AR, CR, CO	-	-	CO	-	AO, CO	CO	CO	-	-
Cuivre	CR	-	-	-	AR, AO	CR, AO, CO	AR	-	-	-
Manganèse	AR	-	-	-	CR	-	-	-	-	-
Nickel	AR, CR				AR	AR, AO	-	-	-	CR, CO
Plomb	-	-	CR, CO	-	AO, CR, CO	AO	CR	AO, CR, CO	-	CR
Vanadium	AR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dioxines-furanes	AR	-	-	-	CO	-	-	-	AR, CO	-

AR : aiguë respiratoire, AO : aiguë orale, CR : chronique respiratoire, CO : chronique orale

Nd : non disponible

4 INVENTAIRE ET CHOIX DES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour une substance donnée sont des valeurs établissant une relation entre les doses ou les niveaux d'exposition auxquels les personnes peuvent être exposées et l'incidence ou la gravité des effets associés à l'exposition.

Cette étape a pour objectif de recueillir l'ensemble des VTR disponibles dans la littérature et éventuellement de réaliser un choix parmi elles.

4.1 Définition

Les valeurs toxicologiques de référence sont distinguées en fonction de leur mécanisme d'action :

- Les toxiques à seuil de dose : Les VTR sont les valeurs en dessous desquelles l'exposition est réputée sans risque.
- Les toxiques sans seuil de dose : Les VTR correspondent à la probabilité, pour un individu, de développer l'effet indésirable (ex : cancer) lié à une exposition égale, en moyenne sur sa durée de vie, à une unité de dose de la substance toxique. Ces probabilités sont exprimées par la plupart des organismes par un excès de risque unitaire (ERU). Un ERU de 10^{-5} signifie qu'une personne exposée, en moyenne durant sa vie à une unité de dose, aurait une probabilité supplémentaire de 1/100 000, par rapport au risque de base, de contracter un cancer lié à cette exposition.

4.2 Sources de données

D'après la note d'information N°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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivants : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

La Figure 4 présente le logigramme permettant de choisir les VTR selon les recommandations de la note ministérielle.

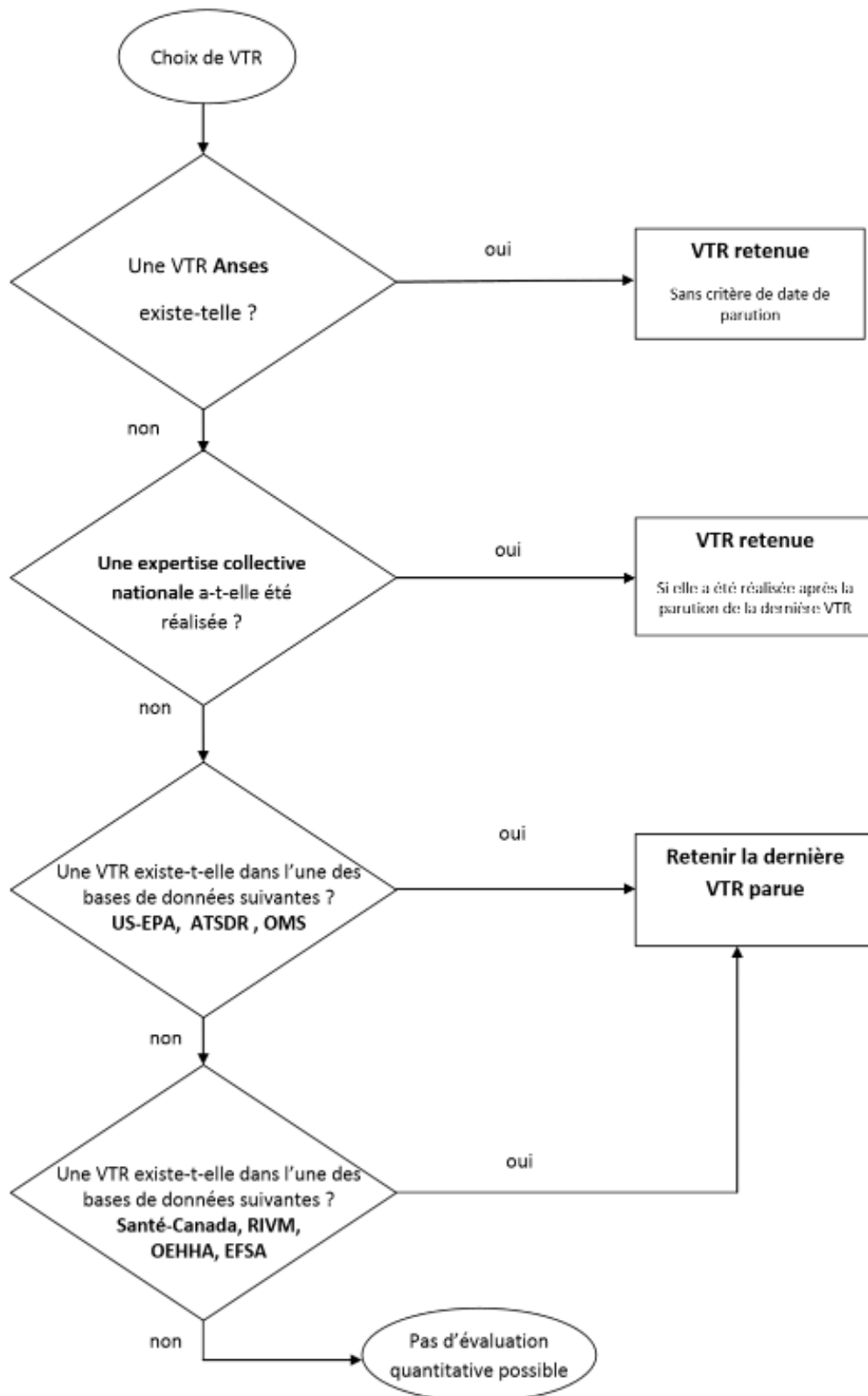


Figure 4 - Logigramme pour le choix des VTR (note n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014)

Le Tableau 7 indique, pour l'ensemble des substances susceptibles d'être émises par le crématorium, si des VTR sont disponibles dans la littérature consultée pour les voies d'exposition respiratoire et digestive, et donc si une caractérisation des risques sanitaires peut être effectuée.

Tableau 7 - Présence ou absence de VTR pour les substances recensées à l'émission du projet de crématorium

Substances	N°CAS	Exposition aiguë	Exposition chronique	
		Voie respiratoire	Voie respiratoire	Voie digestive
CO	630-08-0	X	-	-
NO ₂	10102-44-0	X	X	-
PM ₁₀	-	X	X	-
PM _{2.5}	-	X	X	-
SO ₂	7446-09-5	X	-	-
Chlorure d'hydrogène	7647-01-0	X	X	-
Dioxines-Furanes	1746-01-6	-	X	X
Benzène	71-43-2	X	X	X
Antimoine	7440-36-0	X	X	X
Arsenic	7440-38-2	-	X	X
Chrome	7440-47-3	-	X	X
Cobalt	7440-48-4	-	X	X
Cuivre	7440-50-8	-	X	X
Manganèse	7439-96-5	-	X	X
Nickel	7440-02-0	-	X	X
Plomb	7439-92-1	-	X	X
Vanadium	7440-62-2	X	X	X

4.2.1 CAS PARTICULIER DU BENZENE

Contrairement aux dioxines-furanes ou aux métaux, il est considéré dans le cadre de cette ERS que l'ingestion de benzène ne représente pas une source d'exposition pertinente pour les populations, car il se présente sous forme vapeur à la pression et à la température ambiantes.

Sur l'ensemble des substances considérées individuellement pour lesquelles il a pu être établi des données d'émission, il a pu être recueilli des VTR ou des valeurs-guides¹³ (valeurs marquées d'un astérisque dans les tableaux suivants) pour la plupart d'entre-elles pour au moins une voie et une durée d'exposition. **Les substances n'ayant pas de VTR disponibles ne pourront donc pas faire l'objet d'une caractérisation des risques sanitaires.** En l'absence de VTR, une comparaison avec des valeurs-guide peut toutefois être effectuée pour les poussières et les oxydes d'azote.

4.3 Choix des valeurs toxicologiques de référence

Les Tableau 8 à Tableau 11 synthétisent les VTR retenues selon les recommandations de la note N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.

Tableau 8 - VTR aiguës pour la voie respiratoire

Substances	N°CAS	VTR aiguë ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Durée	Système cible	Référence
SO ₂	7446-09-5	30	1-14j	Respiratoire	Expertise Ineris, 2011 (ATSDR, 1998)
NO ₂	10102-44-0	200*	1h	Respiratoire	Expertise Anses, 2013 (OMS, 2005)
NO ₂	10102-44-0	25*	24h	Respiratoire	OMS, 2021
PM ₁₀	-	45*	24h	Respiratoire	OMS, 2021
PM _{2,5}	-	15*	24h	Respiratoire	OMS, 2021
CO	630-08-0	30000	1h	Cardiovasculaire	Expertise ANSES, 2007 (Afsset, 2007)
Benzène	71-43-2	30	24h	Hématologique	Expertise INERIS, 2021 (ATSDR, 2007)
Antimoine	7440-36-0	1	24h	Respiratoire	ATSDR, 2019
Vanadium	7440-62-2	0.8	24h	Respiratoire	ATSDR, 2012

*valeurs-guides

Tableau 9 - VTR chronique non cancérogène pour la voie respiratoire

Substances	N°CAS	VTR ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Système cible	Référence
NO ₂	10102-44-0	10*	Respiratoire	OMS, 2021
PM ₁₀	-	15*	Respiratoire	OMS, 2021
PM _{2,5}	-	5*	Respiratoire	OMS, 2021
Benzène	71-43-2	10	Hématologique et immunitaire	ANSES, 2008
Chlorure d'hydrogène	7647-01-0	20	Respiratoire	US-EPA, 1995

¹³ Valeur de référence pour une grandeur (concentration en un élément donné), destinée à servir d'aide à la réflexion ou à la décision. Cette valeur, recommandée par une autorité, sans obligation légale, constitue un objectif à atteindre.

Substances	N°CAS	VTR ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Système cible	Référence
Dioxines-Furanes	-	$4 \cdot 10^{-5}$	Hématologique et immunitaire, Urinaire, Digestif, Respiratoire, Cardiovasculaire, Métabolique, endocrinien et nutritionnel	Expertise Ineris, 2015 (OEHHA, 2000)
Antimoine	7440-36-0	0.3	Respiratoire	ATSDR, 2019
Arsenic	7440-38-2	0.015	Reproductif et développemental	INERIS, 2010 (OEHHA, 2008)
Plomb	7439-92-1	0.9	Urinaire	Expertise INERIS, 2013 (ANSES, 2012)
Manganèse	7439-96-5	0.3	Nerveux	ATSDR, 2012
Nickel	7440-02-0	0.02	Respiratoire	Expertise INERIS, 2007 (OEHHA, 2005)
Vanadium	7440-62-2	0.1	Respiratoire	ATSDR, 2012
Chrome VI	7440-47-3	0.008	Respiratoire	Expertise Ineris, 2022 (US EPA, 1998)
Cobalt	7440-48-4	0.1	Respiratoire	ATSDR, 2004
Cuivre	7440-50-8	1	Hématologique et immunitaire	Expertise INERIS, 2005 (RIVM, 2001)

**valeur-guide*

Tableau 10 - VTR chronique cancérigène pour la voie respiratoire

Substances	N°CAS	VTR ($\mu\text{g.m}^{-3}$) ⁻¹	Système cible	Référence
Benzène	71-43-2	1.6E-06	Leucémie aigue	Anses, 2024
Arsenic	7440-38-2	1.5E-04	Respiratoire	Expertise Anses, 2015 (TCEQ, 2012)
Plomb	7439-92-1	1.2E-05	Urinaire	Expertise INERIS, 2016
Nickel	7440-02-0	2.6E-04	Respiratoire	Expertise Ineris, 2018
Chrome VI	7440-47-3	4.0E-02	Respiratoire	OMS, 2013
Cobalt	7440-48-4	7.7E-03	Respiratoire	OEHHA, 2020

Tableau 11 - VTR chronique non cancérigène pour la voie digestive

Substances	N°CAS	VTR ($\mu\text{g.kg}^{-1}\text{j}^{-1}$)	Système cible	Référence
Dioxines-Furanes	-	$2.9 \cdot 10^{-7}$	Reproductif et développemental	Expertise Ineris, 2019 (EFSA, 2018)
Antimoine	7440-36-0	6	Métabolique, endocrinien et nutritionnel	Expertise Ineris 2007 (OMS, 2006)
Arsenic	7440-38-2	0.45	Cutané	Expertise INERIS, 2010 (Fo Big, 2009)
Plomb	7439-92-1	0.63	Urinaire	Expertise INERIS, 2013 (ANSES, 2012)
Manganèse	7439-96-5	55		INSPQ, 2017



Substances	N°CAS	VTR	Système cible	Référence
		($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$)		
Nickel	7440-02-0	2.8	Reproductif et développemental	EFSA, 2015
Vanadium	7440-62-2	9	Métabolique, endocrinien et nutritionnel	Expertise INERIS, 2012 (EPA, 1996)
Cobalt	7440-48-4	1.5	Cardiovasculaire	RIVM, 2001
Cuivre	7440-50-8	150	Métabolique, endocrinien et nutritionnel	Expertise INERIS, 2019 (EFSA, 2018)

Tableau 12 - VTR chronique sans seuil pour la voie digestive

Substances	N°CAS	VTR	Système cible	Référence
		($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$)		
Arsenic	7440-38-2	1.5E-03	Cutané	Expertise INERIS, 2010 (OEHHA, 2009 / EPA, 1998)
Plomb	7439-92-1	8.5E-06	Urinaire	Expertise INERIS, 2016

4.4 Choix des traceurs de risque

Pour les risques par inhalation, **l'ensemble des substances pour lesquelles une donnée d'émission était disponible a été pris en compte**. Celles disposant de VTR ont pu faire l'objet d'un calcul de risque, jusqu'à l'étape de caractérisation des risques. Pour les autres substances, les risques qui leur sont associés n'ont pas pu être caractérisés, toutefois, une recherche sur leur comportement dans l'environnement ainsi que sur leur toxicité a été réalisée (cf. Annexe 2).

Contrairement au calcul de risques pour la voie respiratoire, l'estimation des niveaux d'exposition puis le calcul de risques pour la voie orale nécessitent un traitement plus approfondi. Afin de limiter les calculs et se limiter aux substances les plus pertinentes à retenir d'un point de vue sanitaire, une sélection de traceurs de risques est effectuée. Cette démarche fait intervenir les masses de substances émises, ainsi que leur toxicité. Un classement est enfin réalisé pour identifier les substances présentant les indices de risque les plus élevés, c'est-à-dire celles qui présenteront les risques les plus élevés.

Cette démarche se limite aux substances pour lequel il existe des effets à seuil de dose ; les substances à effet sans seuil de dose étant retenues par défaut. Le Tableau 13 présente les résultats obtenus. La colonne « ratio » permet de se rendre compte de l'importance du ratio obtenu par rapport au ratio le plus élevé estimé pour l'ensemble des substances appréhendées.

Il est décidé de retenir toutes les substances dont le ratio dépasse 10% du ratio maximal, obtenu pour le plomb (cf. Tableau 13). Les substances dont le ratio est inférieur à 10% sont retenues si elles sont cancérogènes. Cette approche permet de ne pas traiter plus avant le chrome III. Bien que cancérogène, le chrome VI susceptible de se déposer au sol est largement transformé en chrome III dans les sols et les sédiments (favorisé en conditions anaérobiques et à un pH faible) (Ineris, 2005). La totalité du chrome est donc considéré comme du chrome III concernant la voie digestive.

Les autres substances sont traitées à part entière pour l'estimation des niveaux d'exposition puis pour la caractérisation des risques.

Tableau 13. Identification des traceurs de risques pour la voie orale

Substance	Emission (g/s)	VTR (µg/kgPC/j)	ratio masse/VTR	Part	Sélection
Pb*	3.4E-03	6.3E-01	5.4E-03	100%	oui
As*	1.9E-04	4.5E-01	4.3E-04	8%	oui
PCDD/F*	7.8E-11	2.9E-07	2.7E-04	5%	oui
CrIII	7.0E-05	5.0E+00	1.4E-05	0.3%	non
Ni*	1.6E-04	2.8E+00	5.7E-05	1%	oui
Co*	3.4E-05	1.5E+00	2.3E-05	0%	oui

* Substances cancérogènes

L'unité du ratio est le g/s/(µg/kgPC/j). Cette unité n'a pas d'importance pour l'analyse des résultats, l'intérêt se limitant au classement des ratios obtenus des substances les unes par rapport aux autres.

5 ÉVALUATION DES EXPOSITIONS

Dans le cadre de cette ERS, plusieurs voies d'exposition sont prises en compte pour la caractérisation des risques sanitaires engendrés par les émissions atmosphériques du projet étudié. L'objet de ce chapitre est d'identifier les voies d'exposition pertinentes à considérer ainsi que les doses auxquelles les populations humaines sont susceptibles d'être exposées.

D'après les informations collectées lors de la caractérisation de l'environnement (dans le domaine d'étude), la population présente est susceptible d'être exposée aux substances par voies respiratoire, orale et cutanée.

5.1 Exposition par inhalation

Les rejets de substances pris en compte pour l'ERS sont exclusivement les émissions atmosphériques canalisées, aussi, la voie d'exposition à considérer en premier lieu est l'inhalation des substances émises à l'atmosphère. Conformément aux recommandations du guide de l'Ineris, la caractérisation des risques n'a porté que sur les émissions du projet d'installation, et n'a donc pas pris en compte le niveau de fond en substance auquel est également exposée la population riveraine du projet.

Il paraît pertinent de considérer à la fois les expositions respiratoires aiguë et chroniques. Ces modalités d'exposition correspondent respectivement à une exposition élevée sur de courtes périodes induites par des conditions météorologiques défavorables à la dispersion, et à une exposition moyenne annuelle, intégrant les différentes conditions météorologiques observables dans l'année localement.

L'inhalation de particules de sol remises en suspension dans l'air est considérée comme une voie d'exposition minoritaire et n'est pas retenue dans cette étude.

5.2 Exposition par ingestion

5.2.1 MÉDIAS D'EXPOSITION ORALE RETENUS

La zone entourant le projet comprend des zones d'activités agricoles ainsi que des forêts et des étendues d'eau. Aussi, il convient de considérer dans l'ERS, l'impact sanitaire des retombées sur le sol des substances émises et donc de prendre en compte l'exposition indirecte (par ingestion) des individus. Par ailleurs, compte tenu du fonctionnement de l'installation (fonctionnement « normal » et non accidentel), il ne semble pas pertinent de considérer les expositions orales aiguës, c'est-à-dire les expositions orales - uniques ou répétées - se produisant sur de très courtes périodes (moins de 14 jours) à des aliments fortement contaminés. Aussi, seules les expositions orales chroniques sont étudiées. Les médias d'exposition pouvant être pris en compte sont les suivants :

- **l'ingestion directe de sol contaminé** par les dépôts de polluants atmosphériques. Ces dépôts peuvent souiller les mains, des objets ou des aliments portés à la bouche. Cette voie d'exposition est plus importante chez les enfants qui, de par leurs jeux et comportements, ingèrent de plus grandes quantités de terre que les adultes.

- **l'ingestion *via* la chaîne alimentaire**, de produits d'origines végétale et animale contaminés directement ou indirectement par les retombées de polluants sur les sols et les végétaux.

Les médias d'exposition suivants sont étudiés :

- Parmi les produits végétaux, l'ingestion de légumes et fruits susceptibles d'être cultivés autour du crématorium et impactés par les retombées atmosphériques de cette installation,
- Parmi les produits animaux, la viande de bœuf de volaille et de porcs ainsi que le lait et les œufs, susceptibles d'être produits localement et impactés par les retombées atmosphériques de l'installation. En effet, comme indiqué dans la partie « Caractérisation du site », des zones agricoles et des zones résidentielles sont présents dans la zone d'étude.

De ce fait, les médias d'exposition par voie orale pouvant être pris en compte dans l'ERS sont :

- le sol,
- les légumes,
- les fruits,
- la viande de bœuf, de volaille et de porc,
- le lait et les œufs.

5.2.2 MEDIAS D'EXPOSITION ORALE EXCLUS

Compte tenu des modalités d'émission en substances (émission atmosphérique), la contamination de l'eau destinée à la consommation humaine n'a pas été jugée pertinente à retenir dans le cadre du schéma conceptuel d'exposition. En effet, la contamination de l'eau (superficielle ou souterraine) est considérée comme pertinente dans le cas où l'installation émet des rejets aqueux ou en cas de présence de sites et sols pollués. Ces deux paramètres n'étant pas validés, aucune investigation concernant les points de captage ou de zones de baignade n'est jugé utile. Pour les mêmes raisons, les risques par ingestion de poisson sont écartés.

5.3 Exposition par voie cutanée

L'absorption percutanée de substances contenues dans l'eau du robinet et l'absorption cutanée des gaz et particules en suspension dans l'air ne seront pas prises en compte par manque de valeur toxicologique de référence spécifique à cette voie. L'exclusion de cette voie d'exposition amène à une sous-estimation des risques, modérée par les éléments suivants :

- La surface cutanée totale représente environ 1,7 m² en moyenne. Cette surface corporelle est plus de cinquante fois plus petite que la superficie interne des poumons (90 m²). Il est donc probable que l'exposition par voie cutanée reste marginale par rapport à l'inhalation.
- Le lavage des mains et du visage limite la durée de contact.
- La peau agit comme une barrière de protection vis-à-vis de l'extérieur alors que les poumons ont pour rôle de favoriser les échanges gazeux intérieurs / extérieurs.



5.4 Schéma conceptuel d'exposition

La figure suivante présente schématiquement les différentes médias et voies d'exposition pris en compte dans cette étude.

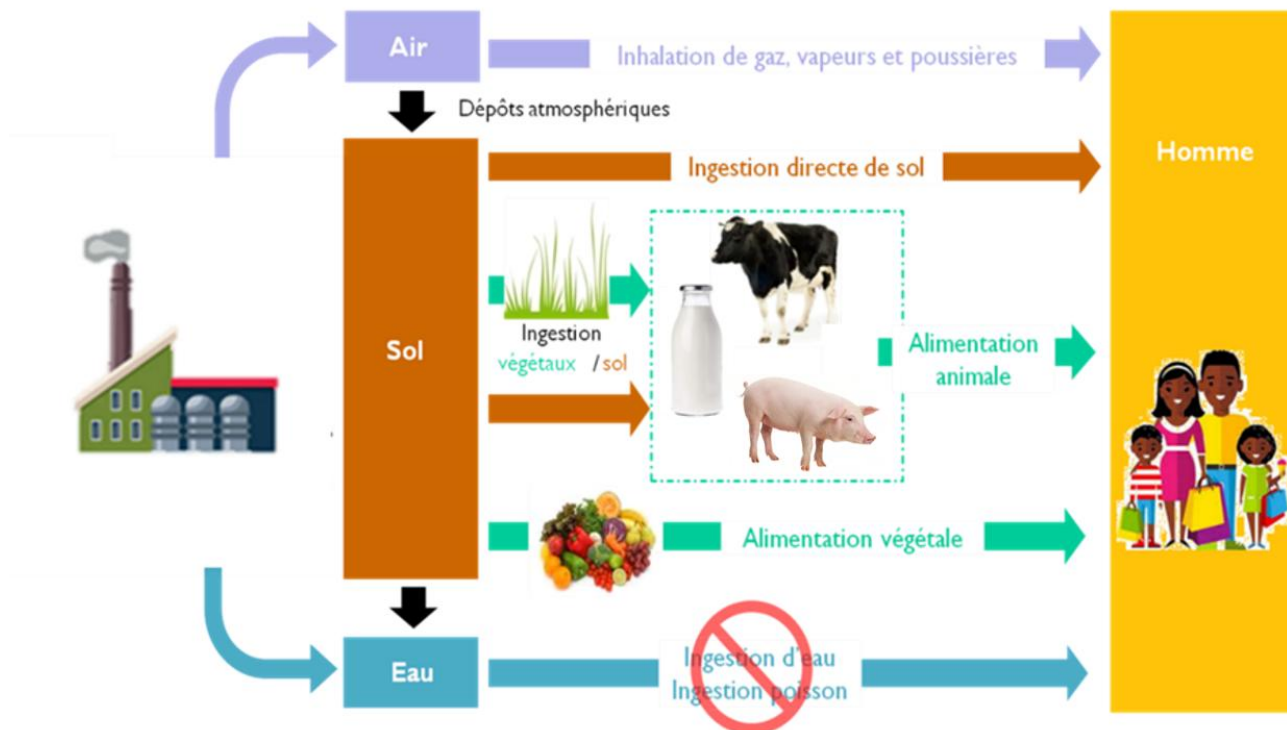


Figure 5 - Schéma conceptuel d'exposition considéré dans le cadre de cette étude

5.5 Calcul des doses d'exposition par inhalation

De manière générale, l'exposition d'une population est déterminée à partir du calcul de la concentration moyenne inhalée (CMI) en chaque substance, selon l'équation générale suivante :

Équation 1 :

$$CMI = \sum_i (C_i \cdot T_i) \cdot F \cdot \left(\frac{DE}{T_m} \right)$$

Avec :

CMI : Concentration moyenne inhalée ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)

C_i : Concentration de polluant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps *T_i* ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)

T_i : Taux d'exposition à la concentration *C_i* pendant une journée (-)

F : Fréquence ou taux d'exposition annuel (nombre annuel d'heures ou de jours d'exposition ramené au nombre total annuel d'heures ou de jours) (-)

DE : Durée d'exposition, intervient uniquement dans le calcul des risques des polluants sans effet de seuil (années)

T_m : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (années), intervient uniquement pour les effets sans seuil où cette variable est assimilée à la durée de la vie entière (*T_m* est pris égal à 70 ans)

5.5.1 PARAMETRES D'EXPOSITION RETENUS

Le scénario d'exposition retenus correspond à un scénario « **majorant** » correspondant à l'exposition au niveau du point le plus impacté, qu'il soit habité ou non.

Les paramètres d'exposition retenus pour ce scénario sont définis ci-dessous :

Taux d'exposition (Ti)

Ne disposant d'aucune donnée locale sur le budget espace-(activités)-temps des populations présentes sur la zone d'étude, nous considérons par défaut que la fraction de temps T_i (Équation 1) est égale à 1 (et ce dans le cas d'expositions aiguës et chroniques) ; ce qui signifie que les individus sont exposés 100 % du temps aux seules concentrations C_i des polluants émis par les installations étudiées en projet.

$$T_{\text{population générale}} = 1$$

Fréquence d'exposition (F)

En raison du manque de données sur les caractéristiques propres à la population locale, il est considéré, dans une hypothèse majorante, que l'ensemble des individus exposés restent à proximité de leur domicile.

$$F_{\text{population générale}} = 1$$

Durée d'exposition (DE)

Pour les substances à effet sans seuil, la durée d'exposition (DE) est à intégrer au calcul de CMI (Équation 1). Une étude sur le temps de résidence des Français (basée sur la durée des abonnements privés à Electricité de France) (Nedellec *et al.*, 1998)¹⁴ montre, que pour les données de 1993, 90 % de la population investiguée reste au plus 30 ans dans la même résidence (30 ans correspond au percentile 90 des durées d'exposition obtenues). Par ailleurs, la valeur de 30 ans est celle souvent utilisée par l'US-EPA dans les scénarios dits résidentiels (95^{ème} percentile des durées de résidence aux Etats-Unis) (EPA, 1997)¹⁵. Une durée d'exposition vie entière de 30 ans est donc retenue dans l'ERS.

$$DE_{\text{population générale}} = 30 \text{ ans}$$

Estimation des concentrations en polluants à l'intérieur et à l'extérieur des locaux (Ci)

En l'absence de données sur le taux de pénétration des polluants émis par les installations étudiées, nous supposons que leur concentration dans l'air (paramètre C_i de l'

Équation 1) des milieux intérieurs (habitations par exemple) est la même que celle obtenue à l'extérieur.

¹⁴ Nedellec V., Courgeau D., Empereur-Bissonnet P., Energies santé, 1998 (vol. 9, n°4, pp. 503-515), La durée de résidence des Français et l'évaluation des risques liés aux sols pollués.

¹⁵ Environmental Protection Agency (EPA), 1997, Exposure Factors Handbook, volume 1 : General Factors.



$$C_{i \text{ intérieur}} = C_{i \text{ extérieur}}$$

En réalité, le taux de pénétration des polluants dans les intérieurs n'est pas de 100 % et il est variable d'un polluant à l'autre. Pour certaines substances (dioxyde de soufre, poussières), les concentrations en intérieur sont susceptibles d'être inférieures aux concentrations en extérieur du fait des capacités de filtration des bâtiments (cas des poussières) (Mosqueron et Nedellec, 2001)¹⁶. Pour d'autres (COV), les concentrations en intérieur sont susceptibles d'être supérieures aux concentrations en extérieur, notamment en raison de la présence de source(s) d'émission à l'intérieur des locaux. Enfin, certaines substances (dioxyde d'azote) sont retrouvées dans des concentrations équivalentes à l'intérieur et à l'extérieur.

Le Tableau 14 synthétise les paramètres relatifs aux scénarios d'exposition retenus pour la voie respiratoire.

Tableau 14. Paramètres retenus pour le scénario d'exposition considéré

Nom du scénario	Point retenu pour la caractérisation du risque	Voies d'exposition	Durée d'exposition	Durée d'exposition
Majorant	Point le plus impacté en dehors des limites de site	Respiratoire et orale	Aigu et chronique	24 heures/24 365 jours/an 30 ans

5.5.2 ESTIMATION DES CONCENTRATIONS EN SUBSTANCES DANS L'AIR (C_i)

La modélisation de la dispersion permet de visualiser et de quantifier la redistribution dans l'environnement des substances émises par le crématorium, dont les risques peuvent être caractérisés. Dans les calculs de dispersion dont les hypothèses figurent en Annexe 1, les concentrations dans l'air (C_i) de ces polluants ont été estimées à l'aide du modèle gaussien ADMS version 6.

Les concentrations à l'émission modélisées sont présentées dans le chapitre 2.5.

5.5.3 RESULTATS DE L'ETUDE DE DISPERSION

L'étude de dispersion a pour objectif de se rendre compte de la variabilité spatiale des niveaux d'exposition induits par les émissions du projet étudié. Les figures suivantes présentent cette variabilité et localisent le site fréquenté par la population le plus impacté dans le domaine d'étude.

Dans la mesure où 3 durées d'exposition sont considérées, une analyse est effectuée pour identifier le site fréquenté le plus impacté pour chacune de ces 3 durées d'exposition. Les figures suivantes présentent la variabilité spatiale d'exposition associée à :

- une exposition moyenne annuelle,

¹⁶ Mosqueron L. et V. Nedellec, 2001, Observatoire de la qualité de l'air intérieur, Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments, 173 p.

- une exposition maximale journalière
- une exposition maximale horaire.

Ces cartographies sont représentatives de la dispersion de l'ensemble des substances gazeuses émises par le site.

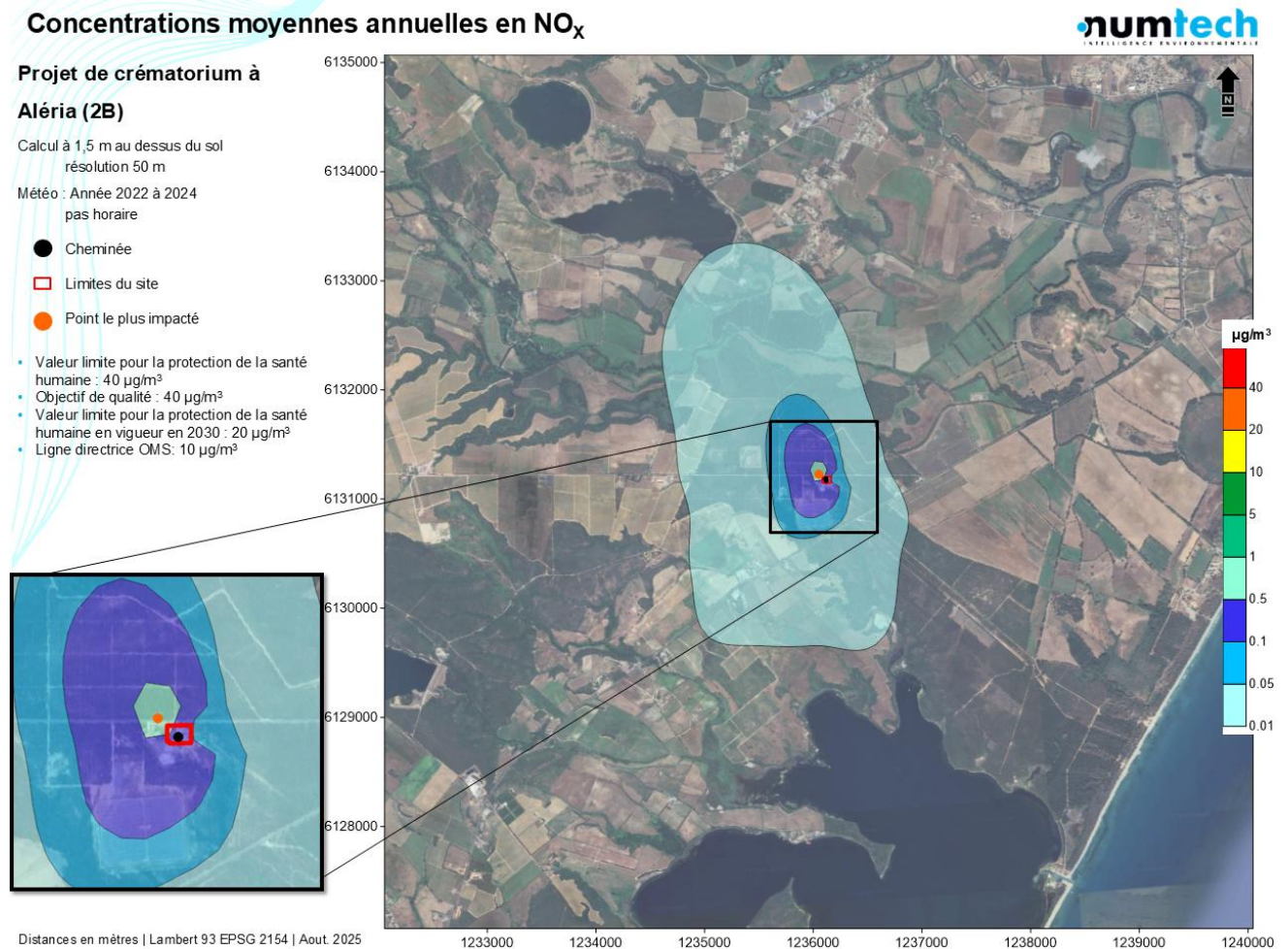


Figure 6 – Variabilité spatiale de l'exposition moyenne annuelle (cas des oxydes d'azote)

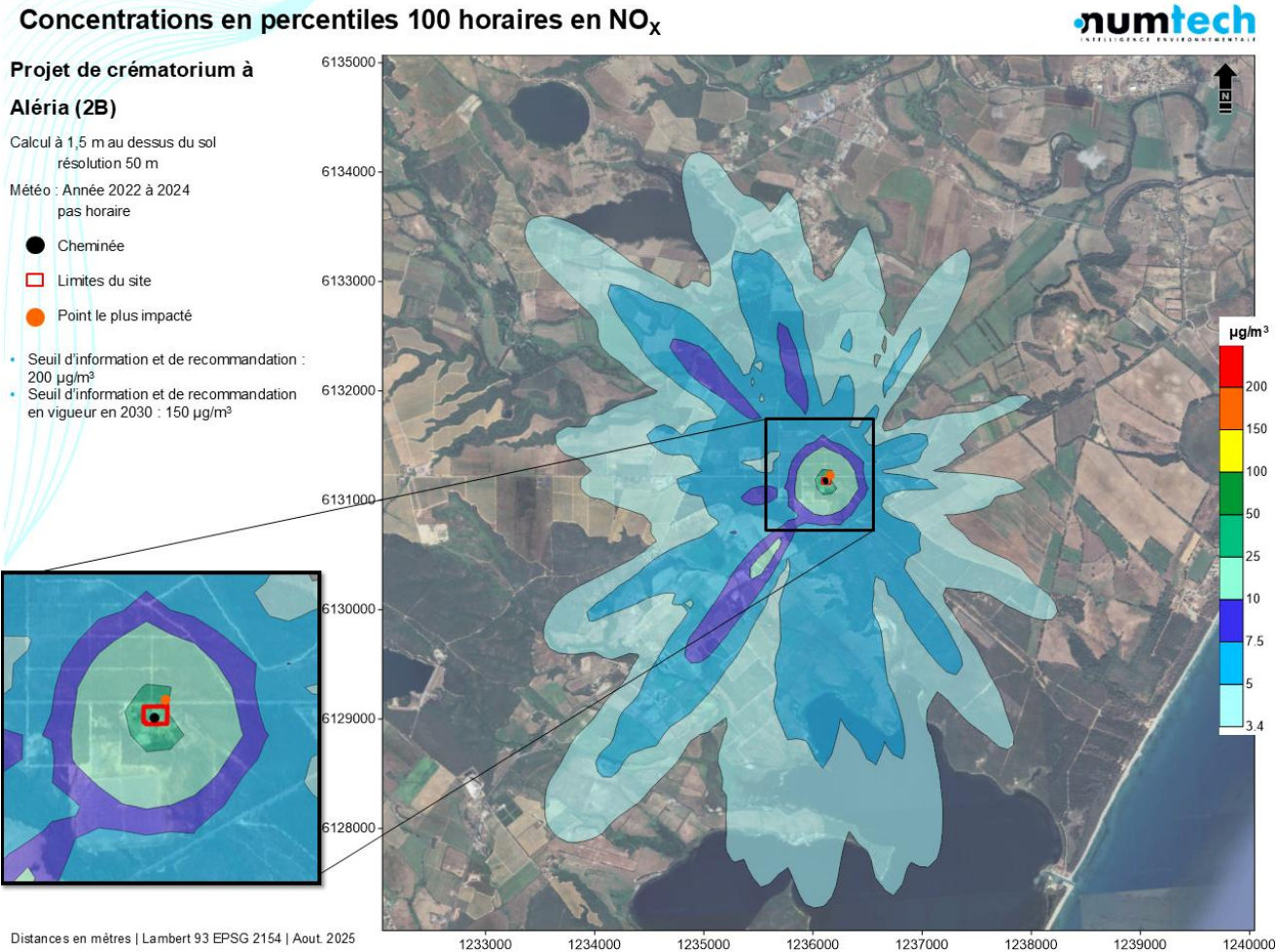


Figure 7 – Variabilité spatiale de l'exposition maximale horaire (cas des oxydes d'azote)

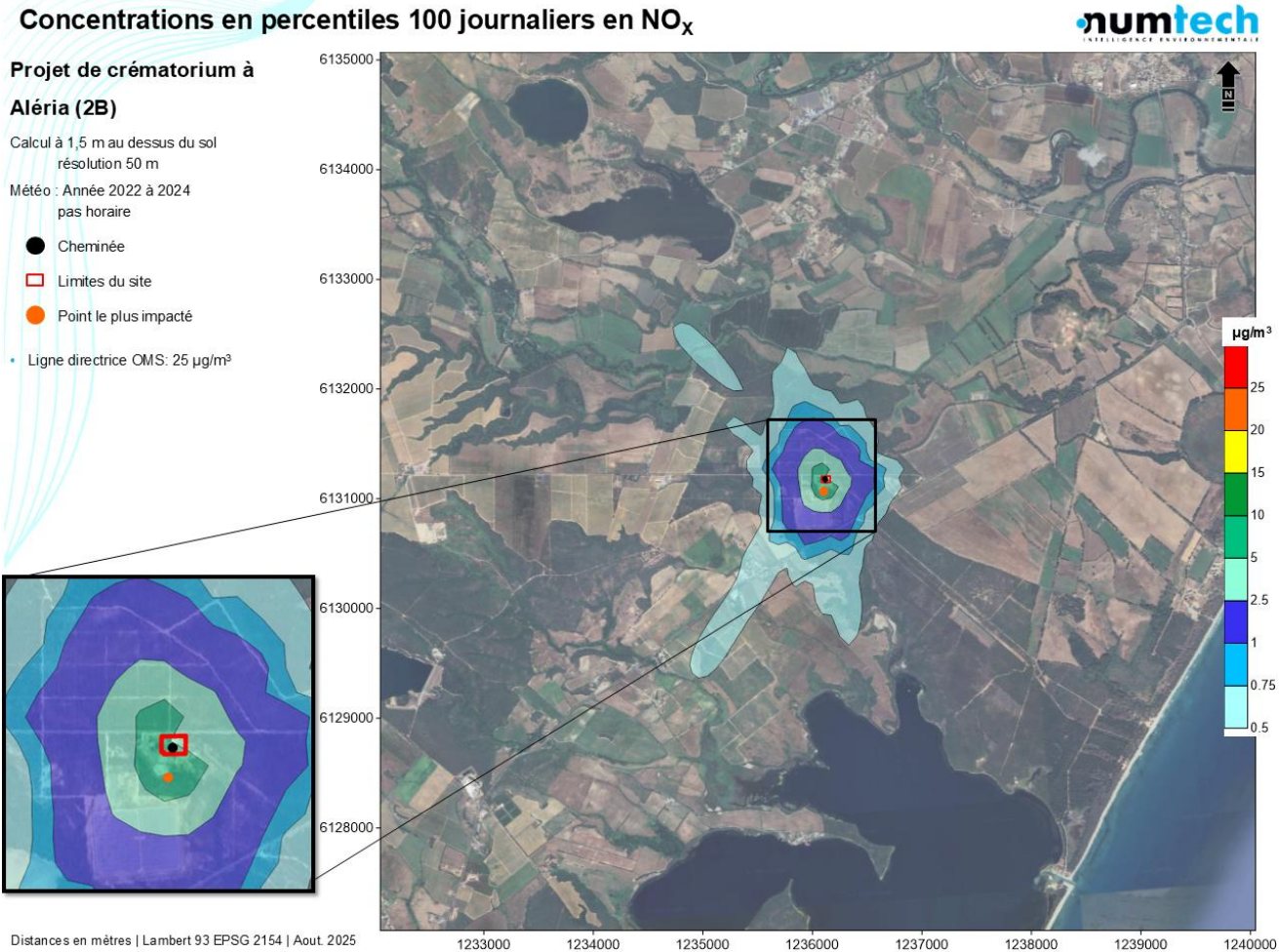


Figure 8 – Variabilité spatiale de l'exposition maximale journalière (cas des oxydes d'azote)

Le point fréquenté le plus impacté (représenté par un rond orange) varie en fonction de la durée d'exposition et est situé à proximité des limites du projet.

Le tableau suivant présente les concentrations maximales aiguës et les concentrations moyennes annuelles maximales obtenues sur le domaine d'étude.

Tableau 15. Concentrations atmosphériques maximales (Ci, µg/m³) obtenues sur le domaine d'étude pour les substances retenues dans l'ERS

Substances	Scénario Majorant	
	Concentration aiguë maximale ¹⁷	Concentration moyenne annuelle
NOX	35.7 (1h)/9.0(24h)	1.02
CO	10.7	0.31
SO2	4.8	0.61

¹⁷ le temps d'intégration de la concentration aiguë est cohérent avec la VTR associée à la substance (Tableau 8)

HCl	-	0.20
PM10	1.3	1.7E-01
PM2.5	1.4	1.6E-01
Benzene	0.7	0.08
PCDD/Fs	-	2.0E-07
Antimoine	0	0.0E+00
Arsenic	-	5.0E-04
Plomb	-	8.9E-03
Manganèse	-	0.0E+00
Nickel	-	4.1E-04
Vanadium	0	0.0E+00
Chrome VI	-	1.8E-04
Cobalt	-	8.8E-05
Cuivre	-	0.0E+00

Dans le cas particulier des oxydes d'azote (NOx), des valeurs guides ont été retenues pour le dioxyde d'azote en particulier, or, les oxydes d'azotes comprennent le dioxyde d'azote et le monoxyde d'azote. Dans une hypothèse simplificatrice et majorante, le degré d'oxydation de l'azote n'a pas été considéré précisément et l'ensemble des oxydes d'azote a été considéré comme du dioxyde d'azote.

5.6 Calcul des doses d'exposition par ingestion

Pour la voie d'exposition orale, la quantité de composé chimique administrée *via* un milieu donné, correspond à la dose journalière d'exposition (DJE) qui s'exprime selon l'équation suivante :

Équation 2 :

$$DJE_i = \left(\frac{C_i \cdot Q \cdot F}{P} \right) \cdot \frac{DE}{T_m}$$

Avec :

DJE_i : Dose journalière d'exposition liée à une exposition au milieu i (mg.kg⁻¹.jour⁻¹)

C_i : Concentration d'exposition liée au milieu i (alimentation, sol) (mg.kg⁻¹)

F : Fréquence d'exposition : fraction du nombre annuel d'unités de temps d'exposition (heures ou jours) sur le nombre d'unités de temps de l'année (-)

Q_i : Quantité de milieu i administrée par voie orale par unité de temps d'exposition (mg/jour)

P : Masse corporelle de la cible (kg)

DE : Nombre d'années d'exposition ; facteur intervenant uniquement pour les polluants à effets sans seuil de dose (années)

T_m : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (assimilée à la durée de la vie entière) ; facteur intervenant uniquement pour les polluants à effets sans seuil de dose (années) (T_m est généralement pris égal à 70 ans)

Si, pour la voie d'exposition orale plusieurs médias (i) sont concernés, une DJE totale pour la voie orale peut être calculée en sommant l'ensemble des DJE correspondantes à chaque média d'exposition :



Équation 3 :

$$DJE_j = \sum_i DJE_i$$

Avec :

DJE_j : Dose journalière d'exposition par ingestion ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{jour}^{-1}$)

DJE_i : Dose journalière d'exposition liée à une exposition au milieu i ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{jour}^{-1}$)

Pour estimer les doses journalières d'exposition associées à chacun des médias retenus, il faut renseigner dans l'Équation 2, l'ensemble des paramètres d'exposition (F, P, DE, etc.) pour tenir compte des conditions d'exposition des populations considérées dans l'EQRS. Cette équation permet la prise en compte de différentes classes d'âges afin de considérer les paramètres physiologiques et les quantités d'aliments ingérées qui varient selon l'âge.

De manière générale, pour chaque média d'exposition i retenu, la concentration en polluant C_i est estimée grâce à des équations de transfert multimédias. De telles équations, spécifiquement adaptées aux transferts de polluants atmosphériques, sont disponibles via le modèle MODUL'ERS de l'Ineris. MODUL'ERS constitue une méthodologie de référence pour estimer les transferts de polluants atmosphériques vers différents compartiments de l'environnement (sol, légumes, fruits, viande bovine, lait, viande de volailles, œufs, etc.).

Les données d'entrée principales de l'outil MODUL'ERS sont les dépôts au sol estimés pour les polluants atmosphériques. La figure suivante présente le schéma conceptuel d'exposition retenu dans l'étude schématisé par MODUL'ERS. Ce schéma montre sur la diagonale les différents médias d'exposition considérés. En bas à droite figure le module « Niveau d'exposition-Risque » qui synthétise l'ensemble des doses d'exposition induites par les différents médias considérés.

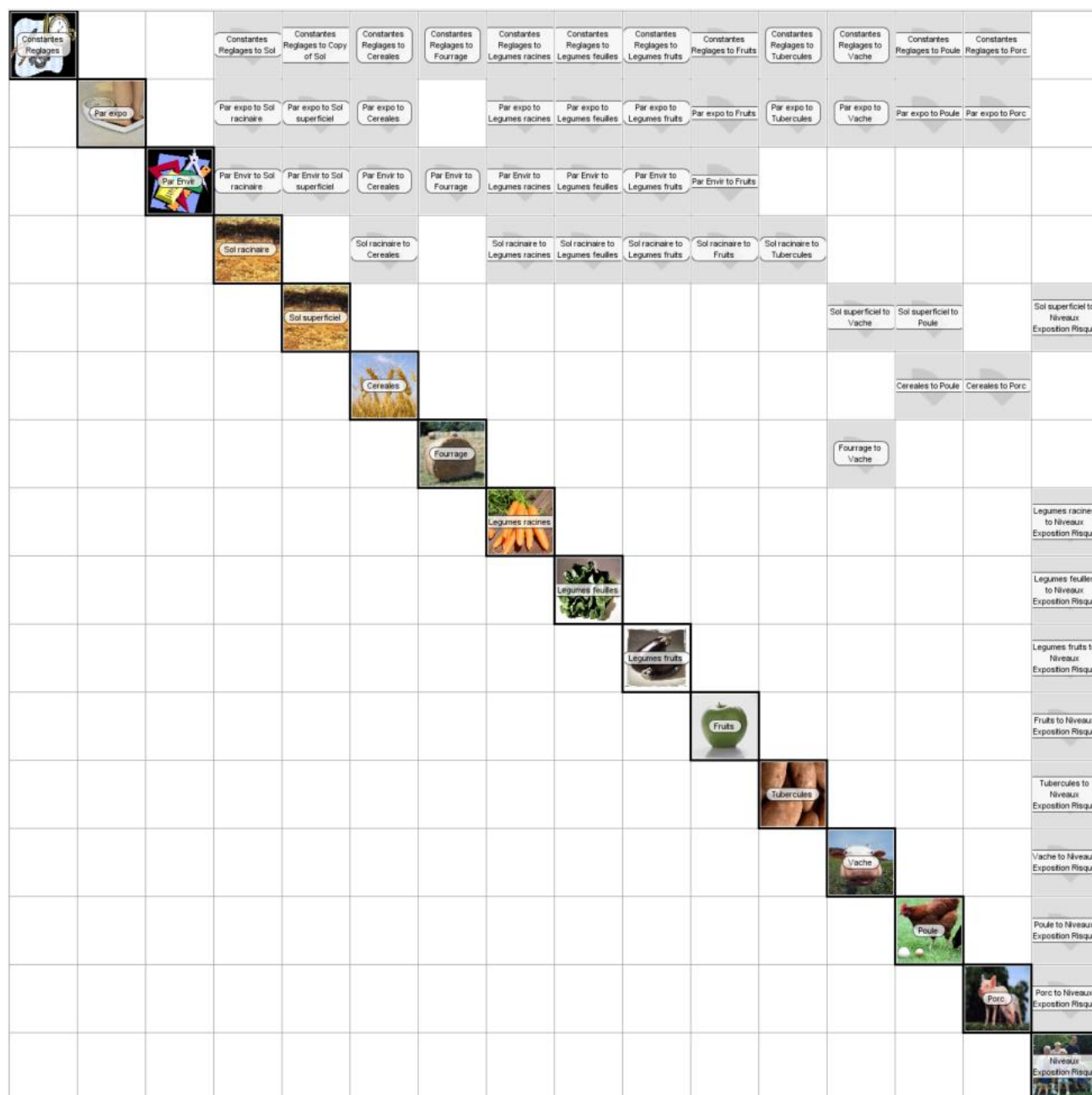


Figure 9. Modèle d'exposition selon l'outil MODULERS

5.6.1 DEFINITION DU SCENARIO D'EXPOSITION

Dans une approche majorante, il a été posé comme hypothèse qu'une partie des aliments consommés par les populations riveraines du projet de crématorium provenait pour partie de la zone agricole la plus impactée par les dépôts de substances. Le choix d'étudier un scénario ingestion à partir de l'exposition à des produits animaux et végétaux issus de la zone la plus impactée est majorant et fictif puisque l'ensemble des denrées alimentaires consommé localement ne peut pas être produit en un point.

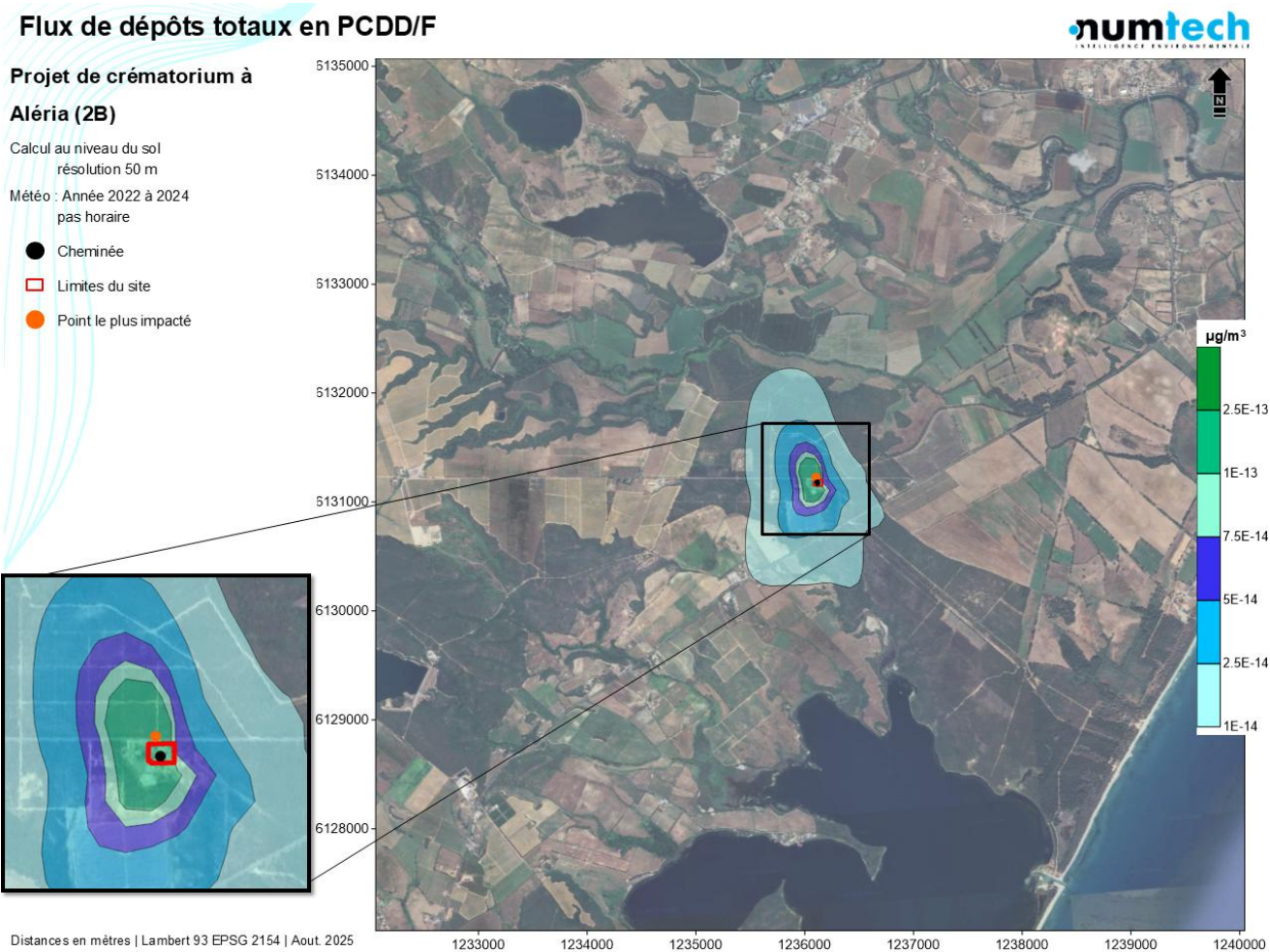


Figure 10. Variabilité spatiale des dépôts atmosphériques en dioxines-furannes

Comme indiqué sur la Figure 10, la quantité de dépôts atmosphériques induits par le crématorium varie en fonction de la zone géographique, toutefois, il est possible d'identifier des espaces où ces dépôts sont les plus élevés. Ce site, appelé aussi « site ingestion », est marqué d'un rond orange en Figure 10

Bien que la Figure 10 présente les dépôts atmosphériques associés aux dioxines-furanes, ces résultats peuvent être extrapolés aux dépôts atmosphériques des métaux, en effet, même si les niveaux de dépôts sont différents car les émissions diffèrent, la variabilité spatiale des niveaux de dépôts associés aux métaux et PM est sensiblement la même que celle estimée pour les dioxines.

Les valeurs de dépôts atmosphériques obtenus au niveau du site ingestion sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 16. Dépôts atmosphériques obtenus au niveau du site ingestion

Substances	Dépôt total	unité
PM10	4.6E-06	mg/m ² /s
PM2.5	7.3E-07	mg/m ² /s
PCDD/Fs	2.6E-16	mg/m ² /s

Arsenic	2.3E-09	mg/m ² /s
Plomb	4.0E-08	mg/m ² /s
Nickel	1.9E-09	mg/m ² /s
Cobalt	4.0E-10	mg/m ² /s

5.6.2 PARAMETRES DU SCENARIO D'EXPOSITION

Sont présentées ici les valeurs paramétriques choisies pour l'application de l'Équation 2.

Comme dans le cas de la voie d'exposition respiratoire, on considère une fréquence d'exposition de 100% (F = 1 pour les expositions chroniques).

Pour la voie d'exposition orale, la durée d'exposition retenue (DE) est identique à celle retenue pour l'inhalation, soit 30 ans (pour un temps de pondération, T_m, pris égal à 70 ans) (DE = 30 ans).

5.6.2.1 Quantités de sol et d'aliments ingérées (Q_i)

Les quantités d'aliments ingérés sont issus de la base de données disponibles dans l'outil MODUL'ERS utilisé dans l'étude. Ces données se basent sur une analyse de la littérature disponible par l'Ineris. L'ensemble de ces informations est disponible en Annexe 3 relative à la modélisation dans la chaîne alimentaire.

Il est important de préciser que l'hypothèse majorante selon laquelle les substances s'accumulent dans les sols dans le temps a été considérée. Les phénomènes de perte biotique ou abiotique ont été considérés comme nuls (dégradation des dioxines ou perte par ruissellement). Cette hypothèse majorante est souvent considérée dans le cadre d'ERS par les évaluateurs de risque en première approche.

5.6.3 ESTIMATION DES DOSES JOURNALIERES D'EXPOSITION

La Figure 11 présente, pour le cas des dioxines-furanes, l'évolution temporelle des DJE au cours des 30 ans de fonctionnement considérés. Une évolution similaire est observée pour les métaux. Dans la suite de l'étude, la DJE retenue pour la caractérisation des risques correspond à celle obtenue après 30 ans de fonctionnement (extremums des courbes présentées en Figure 11).

Le Tableau 17 présente les doses journalières d'exposition (DJE) cumulées (pour l'ensemble des médias d'exposition considérés) par classe d'âge.

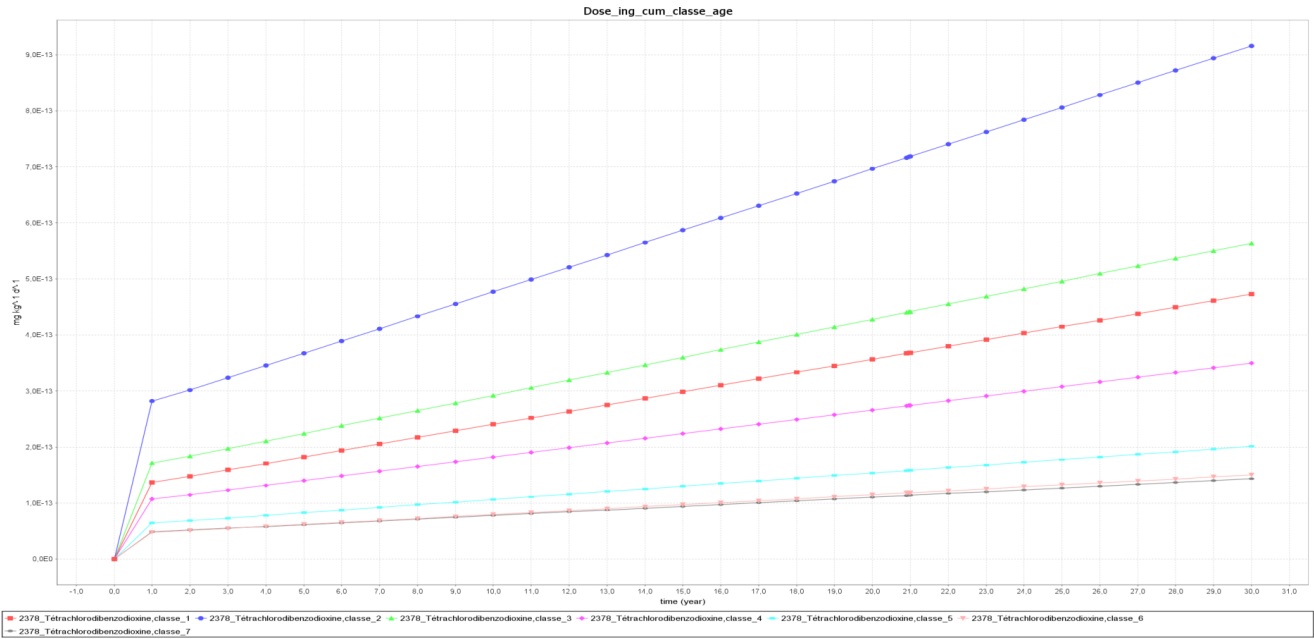


Figure 11. Variabilité temporelle des DJE estimées pour les dioxines-furannes induites pas le projet

Tableau 17. DJE cumulées maximales obtenues après 30 ans de fonctionnement (mg/kgPC/j)

Classe d'âge (année)	PCDD	Arsenic	Cobalt	Nickel	Plomb
0 - 1	5.9E-13	8.2E-07	3.5E-07	5.5E-06	4.4E-05
1 - 3	1.1E-12	1.4E-06	6.0E-07	1.1E-05	8.8E-05
3 - 6	7.0E-13	1.0E-06	3.5E-07	6.2E-06	6.4E-05
6 - 11	4.3E-13	6.4E-07	2.2E-07	3.8E-06	4.0E-05
11 - 15	2.5E-13	3.1E-07	1.1E-07	2.0E-06	2.6E-05
15 - 18	1.9E-13	2.5E-07	7.8E-08	1.4E-06	2.1E-05
18 et +	1.8E-13	2.5E-07	7.6E-08	1.2E-06	2.3E-05

Le détail des résultats obtenus est disponible en Annexe 3.

6 CARACTERISATION DES RISQUES SANITAIRES

La caractérisation des risques consiste à confronter les doses auxquelles les populations sont exposées avec les valeurs toxicologiques de référence retenues. Les risques sanitaires associés à une substance sont estimés de façon différente selon la voie d'exposition (inhalation ou ingestion), la durée d'exposition (aiguë ou chronique) et selon le type d'effet qu'engendre le composé considéré (effets cancérogènes ou non cancérogènes le plus souvent).

6.1 Méthode

Comme recommandé dans la mise à jour 2021 du guide Ineris, la caractérisation des risques ne porte que sur les émissions de l'installation étudiée, par conséquent, les niveaux de fond ne sont pas exploités à ce stade de l'étude.

6.1.1 QUOTIENTS DE DANGER POUR LES SUBSTANCES A EFFETS A SEUIL DE DOSE

Pour les polluants à effets à seuil de dose (principalement des effets non cancérogènes), le dépassement de la VTR sélectionnée suite à l'exposition considérée peut entraîner l'apparition de l'effet critique associé à la VTR. Ceci peut être quantifié en faisant le rapport entre la dose d'exposition (CMI ou DJE) et la VTR associée. Ce rapport est appelé quotient de danger (QD) et s'exprime selon la relation suivante :

Équation 4 :

$$QD = \frac{CMI}{VTR}$$

voie respiratoire

$$QD = \frac{DJE}{VTR}$$

voie orale

Avec :

QD : Quotient de danger associé à la voie d'exposition considérée (-)

CMI : Concentration moyenne inhalée par la voie respiratoire ($\mu\text{g.m}^{-3}$)

DJE : Dose journalière d'exposition pour la voie ingestion ($\mu\text{g.m}^{-3}$)

VTR : Valeur toxicologique de référence retenue (unité : $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour la voie inhalation et $\text{mg.kg}^{-1}.\text{jour}^{-1}$)

Si le QD est inférieur à 1, alors l'exposition considérée ne devrait pas entraîner l'effet toxique associé à la VTR. Un QD supérieur ou égal à 1 signifie que les personnes exposées peuvent développer l'effet sanitaire indésirable associé à la VTR.

6.1.2 EXCES DE RISQUE INDIVIDUEL POUR LES SUBSTANCES A EFFETS SANS SEUIL DE DOSE

Pour les effets sans seuil de dose, on calcule un « excès de risque individuel » (ERI) de développer l'effet associé à la VTR (appelée aussi souvent ERU : excès de risque unitaire). L'ERI représente, pour les individus exposés, la probabilité supplémentaire de survenue de l'effet néfaste (comme un cancer) induit par l'exposition à la substance considérée durant la vie entière.

Pour la voie d'exposition respiratoire, l'ERI est calculé en multipliant l'excès de risque unitaire par inhalation (ERUi) par la concentration moyenne inhalée vie entière (ou pondérée sur une autre unité



de temps). Pour la voie d'exposition orale, l'ERI est calculé en multipliant l'excès de risque unitaire par ingestion (ERUo) par la dose journalière d'exposition (DJE) durant la vie entière (ou pondérée sur une autre unité de temps).

Équation 5 :
$$ERI_i = CMI \cdot ERU_i$$

Avec :

ERI : Excès de risque individuel pour la voie d'exposition inhalation (-)

ERUi : Excès de risque unitaire pour la voie d'exposition inhalation (mg.m⁻³)⁻¹ ou (µg.m⁻³)⁻¹

CMI : Concentration moyenne inhalée (mg.m⁻³) ou (µg.m⁻³)

Il n'existe pas un niveau d'excès de risque individuel qui permette d'écarter les risques pour les populations exposées. Pour sa part, l'OMS utilise un seuil de 10⁻⁵ (un cas de cancer supplémentaire pour 100 000 personnes exposées durant leur vie entière) pour définir les Valeurs Guides de concentration dans l'eau destinée à la consommation humaine (Guidelines for drinking water quality) (OMS, 2004)¹⁸.

La circulaire du 8 février 2007 relative aux sites et sols pollués et aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués, du Ministère chargé de l'environnement¹⁹, et l'Ineris recommandent le niveau de risque, « usuellement retenu au niveau international par les organismes en charge de la protection de la santé », de 10⁻⁵. A partir de ce niveau repère, les niveaux de risques peuvent être jugés « préoccupants » selon l'Ineris.

A noter que dans le cadre des études de zones, le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) et l'Ineris proposent des seuils d'interprétation des QD et des ERI sous forme de fourchette^{20, 21}. Les seuils d'interprétation, valables aussi bien pour le respiratoire que l'ingestion sont les suivants :

- **Domaine d'action rapide : ERI > 10⁻⁴ et QD > 10**
Les risques sont jugés suffisamment préoccupants pour faire l'objet de mesures de protection « rapides » tant environnementales que sanitaires.
- **Domaine de vigilance active : 10⁻⁵ < ERI < 10⁻⁴ et 1 < QD < 10**
Les niveaux de risque sont sérieux mais jugés moins préoccupants et demandent un approfondissement de l'analyse de la situation avant toute prise de décision en matière de gestion
- **Domaine de conformité : ERI < 10⁻⁵ et QD < 1**
Les niveaux de risques sont considérés comme non préoccupants et il n'est pas nécessaire de mettre en place des mesures de gestion particulières, en sus de celles qui existent déjà et relevant du principe général de maîtrise des émissions.

¹⁸ Organisation mondiale de la santé (OMS), 2004, Guidelines for Drinking-water Quality, third edition, Volume 1, 540 p.

¹⁹ Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, 2007, Circulaire du 08/02/07 relative aux sites et sols pollués - Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués.

²⁰ Haut Conseil de la Santé Publique. 2011, Evaluation des risques sanitaires dans les analyses de zone.

²¹ Ineris, 2011. Guide pour la conduite d'une étude de zone. DRC-11-115717-01555B



6.2 Exposition par voie respiratoire

6.2.1 EXPOSITION AIGUË

Pour les substances retenues pour une exposition aiguë, un calcul de quotient de danger (QD) est réalisé par application de l'Équation 4 sur l'ensemble du domaine d'étude (Tableau 18).

Tableau 18. Quotients de danger et comparaison aux VTR ou valeurs guide pour une exposition aiguë

Substances	VTR ou VG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Scénario Majorant	
		Niveau d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	QD (-)
NO _x	200*/25*	35.7 (1h) / 9.0 (24h)	Cc°<VG
PM ₁₀	45*	1.3	Cc°<VG
PM _{2.5}	15*	1.4	Cc°<VG
CO	30000	10.7	3.6E-04
SO ₂	30	4.8	1.6E-01
Benzene	29	0.7	2.5E-02
Antimoine	1	0	0
Vanadium	0.8	0	0

*Valeur-guide

D'après les résultats obtenus, les émissions du crématorium ne sont pas susceptibles d'induire de risque sanitaire associé à une exposition aiguë, quelle que soit la substance (QD<1).

Concernant les substances disposant d'une valeur guide mais pas de VTR, l'exposition induite par les rejets du projet restent inférieures aux valeur-guides retenues (cc°<VG).

6.2.2 EXPOSITIONS CHRONIQUES

6.2.2.1 Effets à seuil de dose

Pour chaque traceur à effet à seuil de dose retenu dans le cas d'exposition chronique respiratoire, un calcul de quotient de danger (QD) est réalisé par application de l'Équation 4 sur l'ensemble du domaine d'étude (Tableau 19).

Tableau 19. Quotients de danger obtenus pour une exposition chronique dans le domaine d'étude

Substances	VTR ou VG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Scénario Majorant	
		Niveau d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	QD (-)
NOX*	10*	1.0E+00	Cc°<VG
HCl	20	2.0E-01	1.0E-02
PM10*	15*	1.7E-01	Cc°<VG
PM2.5*	5*	1.6E-01	Cc°<VG
Benzene	9.7	8.2E-02	8.4E-03
PCDD/Fs	0.00004	2.0E-07	5.1E-03
Antimoine	0.3	0.0E+00	0.0E+00
Arsenic	0.015	5.0E-04	3.4E-02
Plomb	0.9	8.9E-03	9.9E-03
Manganèse	0.3	0.0E+00	0.0E+00
Nickel	0.02	4.1E-04	2.0E-02
Vanadium	0.1	0.0E+00	0.0E+00
Chrome VI	0.008	1.8E-04	2.3E-02
Cobalt	0.1	8.8E-05	8.8E-04
Cuivre	1	0.0E+00	0.0E+00

*Valeur-guide

D'après les résultats obtenus, les émissions du projet de crématorium ne sont pas susceptibles d'induire des risques préoccupants pour la population riveraine (QD<1), et ce, quelle que soit la substance appréhendée.

Concernant les substances disposant d'une valeur guide mais pas de VTR, l'exposition induite par les rejets du projet reste inférieure aux valeur-guides retenues (cc°<VG).

6.2.2.2 Effets sans seuil de dose (cancérogènes)

Pour chaque traceur à effets sans seuil de dose retenu dans le cas d'exposition chronique respiratoire, un calcul d'ERI est effectué à partir de l'Équation 5.

D'après les résultats obtenus (Tableau 20), les ERI estimés peuvent être qualifiés de non préoccupants selon la terminologie de l'Ineris, car inférieurs au seuil de 10^{-5} (un cas en excès pour 100 000 personnes exposées).

Tableau 20. Détermination des ERI

Substances	VTR (µg/m3)	Scénario Majorant	
		Exposition moyenne annuelle	ERI
Benzene	1.60E-06	8.2E-02	5.6E-08
Arsenic	1.50E-04	5.0E-04	3.2E-08
Plomb	1.20E-05	8.9E-03	4.6E-08
Nickel	2.60E-04	4.1E-04	4.6E-08
Chrome VI	4.00E-02	1.8E-04	3.1E-06
Cobalt	7.70E-03	8.8E-05	2.9E-07

6.3 Résultats pour la voie digestive

Dans les paragraphes ci-dessous, sont présentés les risques sanitaires liés à l'exposition par ingestion d'aliments et de sol contaminés par les seules émissions du crématorium.

6.3.1.1 Effets à seuil de dose

Tableau 21. Quotients de danger (QD) obtenus pour la voie digestive

Age	PCDD	Arsenic	Cobalt	Nickel	Plomb
0 - 1	2.1E-03	1.8E-03	2.3E-04	2.0E-03	7.0E-02
1 - 3	4.0E-03	3.2E-03	4.0E-04	3.9E-03	1.4E-01
3 - 6	2.4E-03	2.3E-03	2.4E-04	2.2E-03	1.0E-01
6 - 11	1.5E-03	1.4E-03	1.5E-04	1.4E-03	6.4E-02
11 - 15	8.7E-04	6.9E-04	7.1E-05	7.1E-04	4.1E-02
15 - 18	6.5E-04	5.6E-04	5.2E-05	5.1E-04	3.3E-02
18 et +	6.2E-04	5.6E-04	5.0E-05	4.5E-04	3.6E-02

D'après les résultats obtenus, les émissions du projet de crématorium ne sont pas susceptibles d'induire des risques préoccupants pour les populations (QD<1) lors d'ingestion de denrées alimentaires d'origine végétale ou animale produites au niveau du site ingestion (ou de sol local), quelles que soit la substance considérée et la classe d'âge

6.3.1.2 Effets sans seuil de dose (cancérigènes)

Dans le tableau suivant figurent les excès de risque individuels (ERI) obtenus pour la voie orale.

Tableau 22. Excès de risque individuels (ERI) obtenus pour la voie orale

Substance	VTR ($\mu\text{g/kg/j}$) ⁻¹	DJE ($\mu\text{g/kg/j}$)	ERI
Arsenic	1.5E+00	2.1E-04	3.14E-07
Plomb	8.5E-03	1.5E-02	1.26E-07

Les résultats présentés dans le tableau ci-dessus montrent que lorsque les substances sont considérées distinctement pour la voie orale, les niveaux de risque qui leur sont associés peuvent être caractérisés d'acceptables ou de non préoccupants.

6.4 Risques cumulés

Les risques cumulés correspondent aux effets sanitaires susceptibles d'être induits par l'exposition des populations à plusieurs substances simultanément. Actuellement, la démarche des ERS ne permet pas de prendre en compte la synergie ou l'antagonisme des effets. Par conséquent, comme indiqué dans les différents guides (InVS, Ineris) publiés en France, les risques cumulés sont appréhendés pour chaque système-cible *via* une simple addition des risques déterminés pour différentes substances pour chaque système-cible comme détaillé dans le Tableau 23.

Les paragraphes suivants précisent les méthodes d'estimation des risques cumulés pour les effets à seuil ou sans seuil de dose. Comme indiqué dans le guide de l'Ineris, rappelons toutefois que les critères d'acceptabilité fixés par la circulaire du 9 août 2013 s'appliquent aux résultats substance par substance, sans additionner les QD et les ERI. Pour la gestion des risques, la somme des QD et des ERI ne doit pas occulter la hiérarchisation des substances et des voies d'exposition. L'addition des indicateurs vient donc en complément de l'analyse des indicateurs individuels et de leur hiérarchisation.

6.4.1 RISQUES CUMULÉS POUR LES EFFETS À SEUIL DE DOSE

Risques aigus

Dans une approche simplificatrice et majorante, la somme des quotients de danger aigus est effectuée sans tenir compte de l'effet critique associé à chaque VTR utilisée. La somme de QD présentés en Tableau 18 est estimée à 0.19 soit en deçà du seuil sanitaire (QD<1).

Risques chroniques

Selon les différentes VTR prises en compte dans le cadre de cette étude, 5 systèmes cibles différents sont susceptibles d'être atteints suite à une exposition simultanée à plusieurs substances considérées dans le cadre de cette étude aussi bien par voie respiratoire que digestive. Pour ces différents systèmes cibles, des sommes de risques sont présentées en Tableau 23. Dans une hypothèse simplificatrice les sommes de risques ont été calculées à partir des risques maximums obtenus pour chaque substance. Il s'agit d'une hypothèse susceptible d'être majorante dans la mesure où les populations les plus exposées par voie respiratoire ne sont pas forcément les mêmes que celles consommant les produits alimentaires produits localement.

Tableau 23. Sommes de QD chroniques selon le système cible pour les 2 voies d'exposition confondues

Systèmes cibles	Substances	Voie	Somme des QD Scénario majorant
Respiratoire	HCl	Respiratoire	0.1
	PCDD/Fs	Respiratoire	
	Nickel	Respiratoire	

	Vanadium	Respiratoire	
	Chrome VI	Respiratoire	
	Cobalt	Respiratoire	
Hématologique et immunitaire	Benzene	Respiratoire	0.02
	PCDD/Fs	Respiratoire	
	Plomb	Respiratoire	
Urinaire	PCDD/Fs	Respiratoire	0.16
	Plomb	Respiratoire	
	Plomb	Orale	
Digestif	PCDD/Fs	Respiratoire	0.005
Cardiovasculaire	PCDD/Fs	Respiratoire	0.01
	Cobalt	Respiratoire	
Métabolique	PCDD/Fs	Respiratoire	0.005
Endocrinien	PCDD/Fs	Respiratoire	0.005
Reproductif et développemental	Arsenic	Respiratoire	0.04
	PCDD/Fs	Orale	
	Nickel	Orale	
Nerveux	Manganèse	Respiratoire	0.000
Cutané	Arsenic	Orale	0.003

D'après les résultats obtenus, les risques chroniques cumulés à seuil de dose induits par les seules émissions de l'installation, et pour les 2 voies d'exposition confondues (respiratoire et orale), ne sont pas susceptibles de dépasser la valeur-seuil de 1. Par conséquent, en tenant compte des différentes hypothèses simplificatrices utilisées pour ces calculs (additivité simple des risques, sans prise en compte du mécanisme d'action), les seules émissions étudiées ne sont pas susceptibles d'induire des effets sur la santé des populations riveraines de cette installation.

6.4.2 RISQUES CUMULES POUR LES EFFETS SANS SEUIL DE DOSE

Le tableau suivant présente les risques cumulés pour des effets sans seuil de dose obtenus en distinguant la voie respiratoire et la voie orale.

Tableau 24. Estimation des risques cumulés sans seuil

Voie d'exposition	ERI
	Majorant
Respiratoire	3.6E-06
Orale	4.4E-07
TOTAL	4.0E-06

D'après les données présentées dans le Tableau 24, la somme des ERI est de $4.0.10^{-6}$, soit en deçà du seuil de 1.10^{-5} .



7 INCERTITUDES

L'incertitude affectant les résultats de l'évaluation des risques provient des différents termes et hypothèses de calcul, des défauts d'information ou de connaissance, et de la variabilité intrinsèque des paramètres utilisés dans l'étude (ceci se réfère à la plus ou moins grande amplitude de valeurs numériques que peuvent prendre ces paramètres). L'analyse des incertitudes a pour objectif de comprendre dans quel sens ces divers facteurs peuvent influencer l'évaluation des risques.

Certains éléments d'incertitude étant difficilement quantifiables, seul un jugement qualitatif peut être rendu. Néanmoins, nous avons essayé de classer ces incertitudes suivant qu'elles ont pour effet de sous-estimer ou de surestimer les risques calculés, et les incertitudes dont l'effet est variable ou difficilement classable parmi les 2 autres catégories d'incertitude ont été présentées à part.

7.1 Incertitudes ayant pour effet de sous-estimer les risques

7.1.1 SÉLECTION DES SUBSTANCES RETENUES DANS L'ÉTUDE

Le rapport a retenu une liste de substances réglementées. L'ensemble des substances susceptibles d'être émises par le projet n'a donc pas été considéré. Ce choix induit une sous-estimation potentielle des risques. Il est toutefois possible d'indiquer que cette sélection correspond aux substances réglementées à l'émission et précisées dans l'article 26 de l'arrêté du 6 juin 2018²². Cet arrêté liste les substances réglementées, ainsi que les valeurs-limites à l'émission (VLE) auxquelles sont astreints les nouveaux crématoriums. La sous-estimation des risques n'est donc pas susceptible de modifier les conclusions de l'étude en l'état actuel des connaissances.

7.2 Incertitudes ayant pour effet de surestimer les risques

7.2.1 MÉLANGES DE SUBSTANCES

Les effets des mélanges sont encore mal appréhendés et la méthode d'évaluation des risques sanitaires actuellement disponible ne permet pas de les prendre en compte si ce n'est dans l'hypothèse d'une somme des effets des substances ayant les mêmes cibles et les mêmes mécanismes d'action (Ineris, 2003). Les effets synergiques ou antagonistes ne sont donc pas appréhendés. Comme cela est rappelé dans le rapport de l'Ineris sur l'évaluation des risques sanitaires liés aux mélanges de natures chimiques (Ineris, 2006)²³, la démarche d'ERS telle qu'elle est appliquée actuellement en France fournit des résultats pour chaque substance prise individuellement. D'après l'Ineris, le cadre des pratiques méthodologiques proposées par l'US-EPA et l'ATSDR pour évaluer les risques sanitaires liés à des mélanges de polluants chimiques ne remet pas

²² <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037078514>

²³ Ineris, 2006, Evaluation des risques sanitaires liés aux mélanges de nature chimique, Perspectives dans le cadre des études d'impact sanitaire des dossiers de demande d'autorisation d'exploiter des installations classées, 30 p.

en cause à court terme les pratiques françaises actuelles menées dans les études d'impact des installations classées.

7.2.2 SPECIATION DES COV

Pour la famille des composés organiques volatils, en l'absence d'information précise sur la composition de cette famille de substances, l'hypothèse simplificatrice majorante suggérée dans un guide de l'ADEME²⁴ paru en 2006 a été retenue. Ainsi, cette famille a été assimilée à du benzène (composé le plus toxique).

7.3 Incertitudes dont l'effet sur les risques est inconnu (ou variable)

Sont listées ici les incertitudes dont on ne peut pas dire de façon quantitative ou qualitative qu'elles ont pour effet de sous-estimer ou de surestimer les risques.

7.3.1 SPECIATION DES METAUX

Dans la famille des métaux lourds, la part de chaque métal a été estimée grâce à la base de données « Facteurs d'émissions issues de l'inventaire d'émission 2021 » de l'US-EPA²⁵.

	Spéciation US-EPA
Sb	0%
As	5%
Cr VI	2%
Co	1%
Cu	0%
Mn	0%
Ni	4%
Pb	88%
V	0%
Sb + As + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + Pb + V	100%

L'utilisation d'une autre spéciation pourrait mener à des résultats différents.

7.3.2 TAUX D'EXPOSITION JOURNALIER

Dans la présente étude, en l'absence de données de budget espace-(activités)-temps disponibles localement correspondant aux temps journaliers passés dans des environnements autres que le domicile, nous avons fait l'hypothèse que les personnes passaient toute la journée dans le domaine d'étude (soit T égal à 1). Dans la réalité, en fonction du temps journalier passé dans d'autres environnements et des niveaux de concentrations qui y seraient observés, l'estimation des niveaux d'expositions journaliers peut être minorée ou majorée par rapport au niveau d'exposition journalier correspondant à 100 % du temps passé au domicile. A titre d'exemple, une étude française a montré

²⁴ LIVOLSI B, LABROUSSE S, ADEME, 2006, Caractérisation des émissions atmosphériques d'un échantillon représentatif du parc français des crématoriums en vue d'une évaluation globale du risque sanitaire (<https://www.ademe.fr>)

²⁵ https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-02/documents/nei2017_tsd_full_jan2021.pdf

que les résultats de l'ERS peuvent être minorés de 30 % par rapport à une hypothèse « 100 % du temps passé au domicile » (Boudet, 1999)²⁶.

7.3.3 FRÉQUENCE D'EXPOSITION ANNUELLE POUR DES EXPOSITIONS CHRONIQUES

Il a été fait l'hypothèse, pour ce type d'exposition, que la fréquence d'exposition (paramètre F de l'Equation 1) était égale à 1, c'est-à-dire que les personnes restent 100 % de leur temps sur le domaine d'étude. Dans la réalité, les riverains sont souvent amenés à se déplacer pour des raisons professionnelles ou personnelles (congés, week-end...). Dans le cas où ils fréquenteraient des lieux hors du domaine d'étude, où les niveaux d'exposition sont plus faibles que sur le domaine d'étude, leur niveau d'exposition annuel moyen devrait être inférieur au niveau d'exposition annuel moyen correspondant à 100 % du temps de séjour sur le domaine d'étude. Dans ce cas, la prise en compte d'une fréquence d'exposition de 1 tendrait à surestimer les expositions réelles des individus. A contrario, s'ils fréquentent des lieux hors domaine d'étude, où les niveaux d'exposition seraient plus élevés qu'au niveau du domaine d'étude, le niveau d'exposition annuel moyen devrait être supérieur au niveau d'exposition annuel moyen correspondant à 100 % du temps de séjour dans le domaine d'étude. Dans ce deuxième cas, la prise en compte d'une fréquence d'exposition de 1 tendrait à sous-estimer les expositions réelles des individus.

7.3.4 ESTIMATION DES CONCENTRATIONS INTERIEURES ET EXTERIEURES (Ci)

Nous faisons l'hypothèse que les concentrations induites par le projet de crématorium sont égales, à l'intérieur des espaces clos, aux concentrations à l'extérieur des espaces clos. En réalité, le taux de pénétration des polluants dans les intérieurs n'est pas de 100 % et il est variable d'un polluant à l'autre. Pour certaines substances (poussières), les concentrations en intérieur sont susceptibles d'être inférieures aux concentrations en extérieur du fait des capacités de filtration des bâtiments (Mosqueron et Nedellec, 2001)²⁷. Pour d'autres, les concentrations intérieures sont susceptibles d'être supérieures aux concentrations extérieures (cas des COV) (Mosqueron et Nedellec, 2001)²⁷.

7.3.5 INCERTITUDE ASSOCIÉE AU CHOIX DES VTR

Lorsque plusieurs VTR étaient disponibles pour un même composé, une même voie, une même durée d'exposition, une sélection systématique des VTR a été effectuée selon les recommandations de la note de la DGS du 31 octobre 2014. Cette démarche de sélection d'une VTR ne repose pas toujours sur les critères de choix strictement scientifiques, mais parfois aussi sur la notoriété de l'organisme producteur de VTR. Une analyse approfondie des VTR disponibles ainsi que de la sélection de la plus pertinente n'a pas été effectuée dans le cadre de ce travail, la note DGS de novembre 2014 fixant précisément les modalités de choix.

Pour le cas spécifique des particules, l'ANSES a publié un avis en 2023, complété en 2024, relatif à l'élaboration de valeur toxicologique de référence (VTR) par voie respiratoire pour les effets sans seuil pour les particules dans l'air ambiant et notamment les PM_{2.5}. Pour le cas spécifique des PM₁₀, l'ANSES n'a pas retenu de VTR long terme.

²⁶ Boudet, Zmirou et al., 1999, Health risk assessment of a modern municipal waste incinerator, Risk Analysis, Volume 19, No. 6, 9 p.

²⁷ Mosqueron L. et V. Nedellec, 2001, Observatoire de la qualité de l'air intérieur, Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments, 173 p.



L'ANSES précise dans son rapport qu'il n'existe pas à ce jour de consensus ou de recommandations sur des niveaux acceptables de risque sanitaire lié à l'exposition des particules fines. Il précise aussi que pour les particules PM_{2,5} dans l'air ambiant, les concentrations les plus faibles observées en France sont associées à un niveau de risque de l'ordre de 10⁻⁴ pour les cancers du poumon et de 10⁻³ pour les décès anticipés, par rapport à une concentration de fond de 5 µg/m³. De la même manière, les niveaux de risque vie entière de décès anticipé, correspondant à l'exposition à une concentration en PM_{2,5} équivalente à la valeur cible recommandée par l'OMS en moyenne annuelle de 5 µg/m³ est de 5,7.10⁻².

Les PM_{2,5} et les PM₁₀ peuvent donc faire l'objet d'un calcul de risque (ERI) mais les niveaux de risques estimés doivent être considérés distinctement des autres substances prises en compte. Un dépassement de seuil ne correspond donc pas à un niveau de risque préoccupant, mais à un niveau de risque qu'il n'est actuellement pas encore possible de caractériser par manque de consensus entre les différentes institutions/administrations. Le tableau ci-après présente les valeurs de risques calculées.

Tableau 25. Détermination des ERI associés aux PM₁₀ et PM_{2,5}

Substances	VTR	Scénario Majorant	
		Exposition	ERI
PM10 court terme (<20 µg/m ³)	7.34E-08	1.3	9.91E-08
PM2.5 long terme	1,28E-02 (µg/m ³)-1	0.16	8.84E-04
PM2.5 court terme (<20 µg/m ³)	1,65E-07 (µg/m ³)-1	1.4	2.31E-07

Pour les effets court terme des PM_{2,5} et des PM₁₀, les calculs de risque montrent qu'il est acceptable.

Pour les effets long terme des PM_{2,5}, il est surtout intéressant d'évaluer le risque par rapport à une situation de fond constatée localement. Pour affiner l'interprétation des PM_{2,5}, l'ANSES propose notamment d'utiliser l'ELR (qui correspond à un ERI) selon la fonction paramétrique suivante pour évaluer les effets à long terme :

$$ELR = 2,19.10^{-5} \times [PM_{2,5}]^3 - 1,51.10^{-3} \times [PM_{2,5}]^2 + 3,61.10^{-2} \times [PM_{2,5}] - 8,83.10^{-2}$$

L'utilisation de la concentration de fond mesurée par le réseau ATMO, et fixée à 8 µg/m³ en 2024 au niveau de la station péri-urbaine de Bastia Motesoro, permet d'estimer que les concentrations modélisées entraîneraient un ERI de 1.2.0.10⁻¹ pour le scénario majorant, soit 0,26 %. Ce pourcentage est largement inférieur à celui estimé par Santé Publique France (8.1%) relatif à la mortalité attribuable aux PM_{2,5} en France par rapport à une concentration de fond de 5 µg/m³. Ainsi, les calculs montrent que les émissions du crématorium n'induisent pas un niveau de risque préoccupant pour la population riveraine.

7.3.6 VARIABLES HUMAINES D'EXPOSITION

Pour l'ensemble des paramètres d'exposition à renseigner pour l'estimation des concentrations moyennes inhalées et des doses journalières d'exposition, aucune donnée locale spécifique à la population du secteur n'a été identifiée. Les paramètres d'exposition concernés sont la fréquence d'exposition, la durée d'exposition, la masse corporelle par classe d'âge, les données de consommation de sol par classe d'âge. A défaut, ce sont les données générales établies pour la population française qui ont été considérés. L'effet sur les risques de la prise en compte de ces données est difficile à évaluer. Il est toutefois possible que la majorité de ces paramètres ait fait l'objet d'une analyse par l'Ineris dans le cadre de la base de données afférente à l'outil MODULERS.

7.3.7 MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE

Les incertitudes relatives aux calculs de modélisation sont de deux types : celles intrinsèques au modèle numérique, compte tenu notamment de la complexité du site et de la problématique à modéliser, et celles relatives à la qualité des données d'entrée du modèle.

7.3.7.1 Incertitudes intrinsèques au modèle

Plusieurs campagnes de mesures très documentées, effectuées sur des sites industriels durant les 50 dernières années, ont été référencées et leurs données intégrées à des bases de données destinées à évaluer a posteriori les modèles de dispersion atmosphérique. Parmi ces bases de données, on citera l'outil européen d'évaluation MVK (Model Validation Kit). Plusieurs articles internationaux^{28,29} rapportent les résultats de campagnes de comparaisons entre le modèle ADMS et les mesures sur site.

Ces résultats montrent que si les données d'entrée sont bien maîtrisées et en présence d'une topographie peu marquée, l'incertitude sur les résultats du modèle pour des sources élevées de type cheminée, reste inférieure à 20% en moyenne annuelle. Sur les valeurs maximales (percentiles 100), l'incertitude reste de l'ordre de 30%. Notons enfin que statistiquement, les incertitudes diminuent pour les percentiles de rang inférieur (99.8, 99.7, 98...). La présence de bâtiments en champ proche augmente ces valeurs, de même que la présence d'un relief plus marqué.

Le tableau suivant liste les principales caractéristiques du site et de son environnement, susceptibles, par leur complexité, de favoriser l'augmentation des incertitudes dans le calcul de dispersion. La complexité de ces caractéristiques est classée suivant les critères : nulle, faible, moyenne, élevée.

Tableau 26 – Complexité du site et de son environnement

Modèle	Complexité	Commentaires
Relief sur le domaine	Faible	Le relief est peu marqué.

²⁸ Hanna S.R., Egan B.A., Purdum J. and Wagler J. (1999), Evaluation of ISC3, AERMOD, and ADMS Dispersion Models with Observations from Five Field Sites. HC Report P020, API, 1220 LSt. NW, Washington, DC 20005-4070, 1999.

²⁹ ADMS3 validation Summary, CERC, 2001.

Obstacles autour de l'installation	Faible	Les bâtiments susceptibles d'avoir un impact significatif sur la dispersion des rejets ont été pris en compte dans la modélisation.
Météorologie	Faible	Aucun phénomène complexe particulier
Complexité des sources	Faible	Les rejets sont issus d'une source canalisée bien définie
Échelles spatiales étudiées	Faible	Les cibles sont comprises entre quelques centaines de mètres et quelques kilomètres des sources, c'est à dire dans le domaine de validité du modèle.

Le site et son environnement ne présentent pas de complexité de modélisation particulière.

7.3.7.2 Incertitudes relatives aux données d'entrée

Un bon modèle peut donner de mauvais résultats, si les données d'entrée sont de mauvaise qualité. Le tableau suivant regroupe les principaux paramètres d'entrée du modèle de dispersion ADMS, et les qualifie selon les critères suivants : mauvaise, moyenne, bonne.

Les données d'entrée du modèle sont globalement de bonne qualité. Les propriétés physiques des particules ont toutefois fait l'objet d'hypothèses, par défaut de connaissance. La taille et la densité des particules impactent principalement la valeur de dépôt au niveau du sol. L'influence sur la dispersion des panaches et donc sur les concentrations dans l'air reste limitée. Les valeurs des paramètres retenus sont issues de la littérature et constitue des hypothèses réalistes.

La station météorologique la plus proche de la zone d'étude n'étant pas jugée représentative au vu de l'impact du relief avoisinant sur celle-ci, il a été fait le choix d'utiliser des données météorologiques correspondant à des données modélisées au niveau du site étudié. Ces données proviennent du modèle AROME mis en œuvre par Météo-France.

7.3.7.3 Conclusion sur l'incertitude relative à la dispersion atmosphérique

Il est difficile de quantifier avec précision l'incertitude sur les résultats. On retiendra pour cette étude que globalement les données du modèle sont de bonne qualité, et que peu d'hypothèses arbitraires ont dues être faites.

7.3.8 MODELISATION DES TRANSFERTS DANS LA CHAÎNE ALIMENTAIRE

La modélisation des transferts de polluants depuis les émissions atmosphériques vers les différents milieux considérés (légumes, viande de volailles, etc.) simplifie les phénomènes de transferts naturels qui se produisent dans la chaîne alimentaire, ce qui génère des incertitudes. Ces incertitudes sont liées, d'une part au modèle et à sa conception, et d'autre part aux données d'entrée (concentrations atmosphériques et dépôts au sol estimés à partir des résultats de la modélisation de la dispersion, valeurs paramétriques données par MODUL'ERS, données de consommation alimentaire, etc.).

Dans le contexte des transferts multimédias, MODULERS est un outil de référence : il s'agit d'une méthodologie totalement transparente (au niveau des équations, des paramètres et des valeurs



paramétriques recommandées), utilisant des équations reconnues ayant fait l'objet d'un consensus d'experts.

7.3.9 INCERTITUDE INTRINSÈQUE AUX VTR

L'établissement de valeurs toxicologiques de référence (VTR), pour la population générale et pour une durée d'exposition aiguë ou chronique, à partir d'études épidémiologiques (principalement en milieu professionnel) ou animales, et présentant des conditions particulières d'exposition (doses administrées, durée et voie d'exposition, etc.) induit la prise en compte de facteurs d'incertitude variables, le plus couramment compris entre 3 et 1000. Ces facteurs d'incertitude s'apparentent soit à une variabilité, soit à un manque de connaissance (vraie incertitude). A titre d'exemple, les facteurs d'incertitude relatifs à la variabilité concernent la gravité ou l'occurrence des effets sanitaires pouvant être observés entre 2 espèces différentes (variabilité inter-espèce) ou au sein d'une même espèce (variabilité intra-espèce). Les facteurs d'incertitude relatifs à un manque de connaissance concernent le plus souvent un manque de données disponibles (facteur permettant l'estimation d'un NOAEL³⁰ à partir d'un LOAEL³¹, facteur permettant de considérer un effet sanitaire qui a fait l'objet de peu d'études, etc.). Ces différents facteurs d'incertitude sont considérés (et précisés) pour les différentes VTR utilisées dans la présente étude en Annexe 2.

³⁰ Plus forte dose d'exposition sans effet observé (No Observed Adverse Effect Level)

³¹ Plus faible dose d'exposition avec effet observé (Lowest Observed Adverse Effect Level)



8 CONCLUSION

La présente étude a permis de caractériser les risques sanitaires liés à l'inhalation et à l'ingestion des substances émises lors du fonctionnement d'un projet de crématorium animalier situé sur la commune d'Aléria en Corse (2B). La démarche suivie a été celle préconisée par l'Ineris dans son guide de 2021. Conformément aux recommandations de l'Ineris, la caractérisation des risques sanitaires a porté sur les seules émissions du projet d'installation.

Les principales conclusions de l'étude sont les suivantes.

8.1 Exposition respiratoire

8.1.1 EXPOSITION AIGUË

Concernant les expositions respiratoires aiguës aux substances émises par le crématorium, et retenues dans l'ERS, aucun dépassement des seuils sanitaire n'a été estimé ($QD < 1$, $ERI < 10^{-5}$), et ce, pour l'ensemble des substances considérées.

Pour les poussières (PM_{10} et $PM_{2,5}$) et les oxydes d'azote, substances pour lesquelles aucune VTR n'est disponible, aucun dépassement de valeur guide n'a été déterminé sur le domaine d'étude.

8.1.2 EXPOSITION CHRONIQUE ET EFFETS À SEUIL DE DOSE

Concernant les expositions respiratoires chroniques, les quotients de danger (QD) estimés n'induisent pas de risque préoccupant pour les populations ($QD < 1$) pour l'ensemble des substances étudiées.

Concernant les substances pour lesquelles aucune VTR n'est disponible mais pour lesquelles il existe des valeurs-guides annuelles (PM_{10} , $PM_{2,5}$ et NO_2), aucun dépassement des valeurs-guides annuelle n'est observé.

8.1.3 EXPOSITION CHRONIQUE ET EFFETS SANS SEUIL DE DOSE (CANCÉRIGÈNES)

D'après les résultats obtenus les ERI estimés peuvent être qualifiés de non préoccupants selon la terminologie de l'Ineris, car inférieurs au seuil de 10^{-5} (un cas en excès pour 100 000 personnes exposées).

8.2 Exposition orale

A l'image de la voie respiratoire, la caractérisation des risques sanitaires pour la voie digestive a porté sur les seules émissions du projet d'installation.

D'après les résultats obtenus, les émissions du projet de crématorium ne sont pas susceptibles d'induire des risques préoccupants pour les populations ($QD < 1$ et $ERI < 1.10^{-5}$) lors d'ingestion de denrées alimentaires d'origine végétale ou animale produites au niveau du site ingestion (ou de sol local), quelles que soit la substance considérée et la classe d'âge.

8.3 Risques cumulés

Les risques chroniques cumulés à seuil de dose induits par les seules émissions de l'installation, et pour les 2 voies d'exposition confondues (respiratoire et orale), ne sont pas susceptibles de dépasser



la valeur-seuil de 1. Par conséquent, en tenant compte des différentes hypothèses simplificatrices utilisées pour ces calculs (additivité simple des risques, sans prise en compte du mécanisme d'action), les seules émissions étudiées ne sont pas susceptibles d'induire des effets sur la santé des populations riveraines de cette installation.

Concernant les risques chroniques sans seuil de dose, la somme des ERI reste en deçà de la valeur de 1.10^{-5} .



Annexe 1 : La modélisation de la dispersion atmosphérique

Cette annexe présente les hypothèses de modélisation retenues pour déterminer la dispersion atmosphérique des substances.

1. Choix du modèle de dispersion

Le modèle de dispersion atmosphérique retenu pour cette étude est ADMS, version 6.

Il s'agit d'un modèle gaussien à trajectoire spécialement développé pour évaluer l'impact des rejets atmosphériques d'une grande variété de sources industrielles sur des zones complexes. Développé depuis plus de 20 ans par le Cambridge Environmental Research Consultant (CERC), cet outil numérique est largement utilisé et reconnu sur le territoire Français, en Europe et dans le monde (1000 licences dans le monde). Considéré par l'INERIS comme la nouvelle génération des modèles de dispersion atmosphérique gaussiens, il est reconnu par l'US EPA (Environmental Protection Agency of United-States) comme un modèle « avancé » (« advanced model »). Validé par l'outil européen d'évaluation des modèles de dispersion, le « Model Validation Kit », il se base sur les technologies et les connaissances les plus récentes dans le domaine. Parmi les utilisateurs, on compte des organismes nationaux et internationaux (Union Européenne, INERIS, Ministère de la santé Français et du Royaume Uni, InVS, INSERM, AFSSET, CEA, SNPE, IRSN, CEREMA, Météo France, Ecole des mines de Douai et de Saint Etienne,...), des industriels (TOTAL, EDF, SOLVAY, RHODIA, AREVA, SAUR, OCP...), des associations pour la surveillance de la qualité de l'air (AIRPARIF, Atmo Sud, ASPA, Qualitair Corse...), ainsi que de nombreux bureaux d'études (TECHNIP, RHODIA Ingénierie, APAVE, DEKRA, URS Europe, ARCADIS, SOGREAH, IRH Espace, Groupe SECHAUD, BURGEAP, SETEC Environnement,...).

Ce modèle gaussien de seconde génération a été jugé le plus adapté ici compte-tenu :

- des caractéristiques du projet : sources canalisées bien définies ;
- des dimensions du domaine d'étude et de ses caractéristiques : quelques kilomètres de côté, et relief très modéré dans l'environnement des sources ;
- des objectifs de l'étude : étude de l'impact chronique du site sur plusieurs années météorologiques.



2. Hypothèses de Modélisation

Domaine d'étude / grille de calcul

- Etendue : 8 x 8 km²
- Résolution : 50 m
- Position : centré sur le site

Points récepteurs

☐ Oui ☒ Non

Polluants modélisés

☒ gazeux :

5 polluants gazeux : NO_x, SO₂, CO, HCl, COVnm

Polluants assimilés à des traceurs chimiquement passifs (évolution chimique des rejets gazeux dans l'environnement non considérée)

☒ particulaires :

4 polluants particulaires :

PM₁₀ : diamètre à 10µm et densité à 1000 kg/m³

PM_{2.5} : diamètre à 2.5µm et densité à 1000 kg/m³

Métaux lourds , PCDD/PCDF : diamètre à 2.5µm et densité à 1000 kg/m³

Phénomènes de dépôt sec et humide

☒ Activé ☐ Non activé

Pour les polluants particulaires

Sources modélisées

☒ Canalisées : 1 cheminée

Caractéristiques d'émission des sources (source des données : ESKA Conseil)

Sources	Unité	FT40
Type	-	Ponctuelle
Hauteur de rejet par rapport au sol	m	11.2
Température d'émission	°C	650
Diamètre	m	0.29
Surface équivalente	m²	0.06
Débit moyen	Nm³/h	1500
Débit maximal	Nm³/h	2800

Concentrations à l'émission et flux (source des données : ESKA Conseil)

Substances	Concentrations à l'émission en mg/Nm³	Flux d'émission (g/s) - moyen	Flux d'émission (g/s) - max
Gaz			
NO_x	500	0.2	0.4
SO₂	300	0.13	0.2
CO	150	0.06	0.12
HCl	100	0.04	0.08
COVnm	40	0.02	0.03
Particules			
Poussières totales	100	0.04	0.08
PM₁₀	90	0.04	0.07
PM_{2.5}	80	0.03	0.06
PCDD/PCDF	1 x 10 ⁻⁷	4.2E-11	7.8E-11
Métaux lourds	5	0.002	0.004

Dans la modélisation les flux moyens d'émission, calculés à partir du débit moyen, ont été utilisés pour le calcul des concentrations moyennes annuelles et les flux max d'émission, calculés à partir du débit max, ont été utilisés pour le calcul des percentiles.

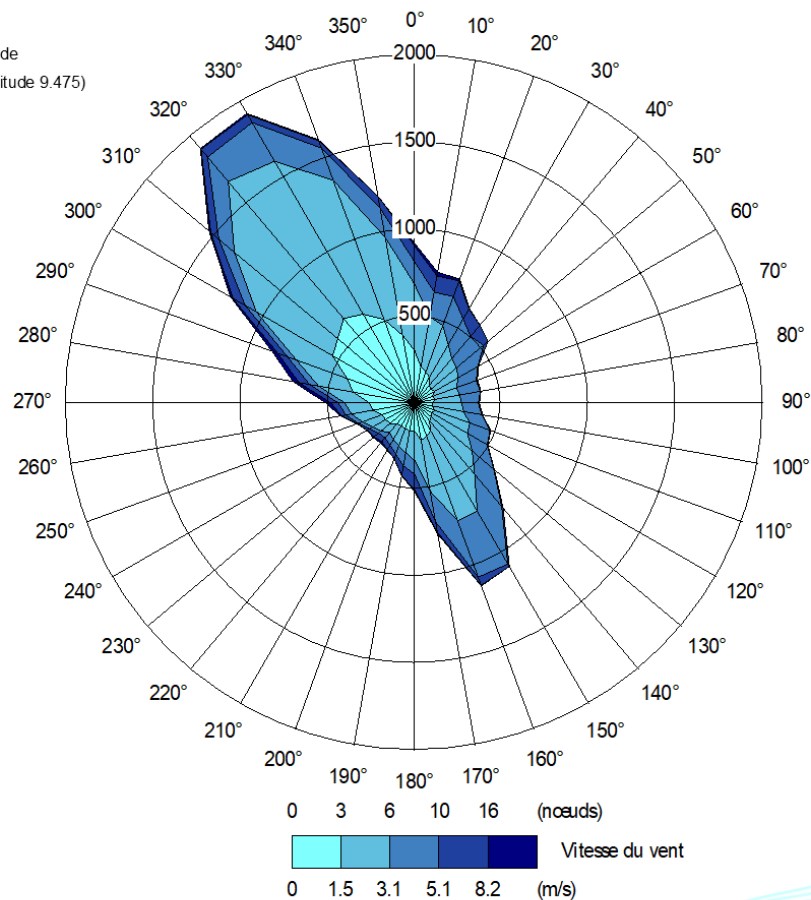
- Cheminée
- Bâtiments
- Limites du site



Rose des vents sur la période retenue

Rose des vents

- Données simulées au point AROME de coordonnées (latitude 42.075 et longitude 9.475)
- Années 2022-2024
- Fréquence horaire



Conditions de vent calme

☒ Prises en compte

Environ 8% de vents de faibles vitesses (inférieurs à 0.75 m/s) pour la période considérée

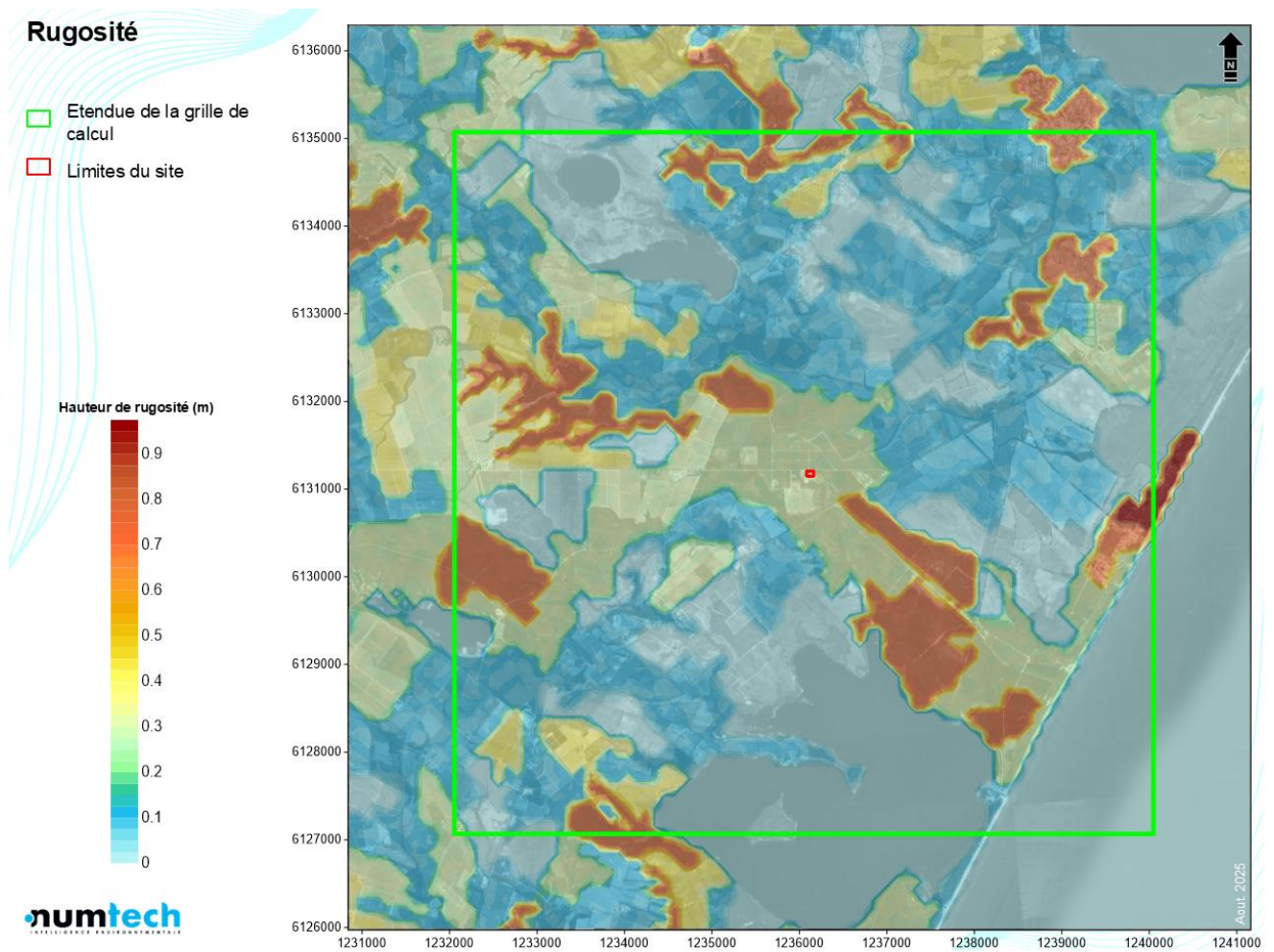
Effet du bâti et des obstacles

☒ Pris en compte.

Les dimensions des bâtiments/obstacles présents sur le site sont non négligeables par rapport à la hauteur de rejet des émissaires modélisés. Les bâtiments pris en compte sont présentés sur la figure présentant les sources, leur hauteur est indiquée.

Nature des sols rencontrés

☒ variable. Origine des données : Base Corinne Land Cover (SeOS)

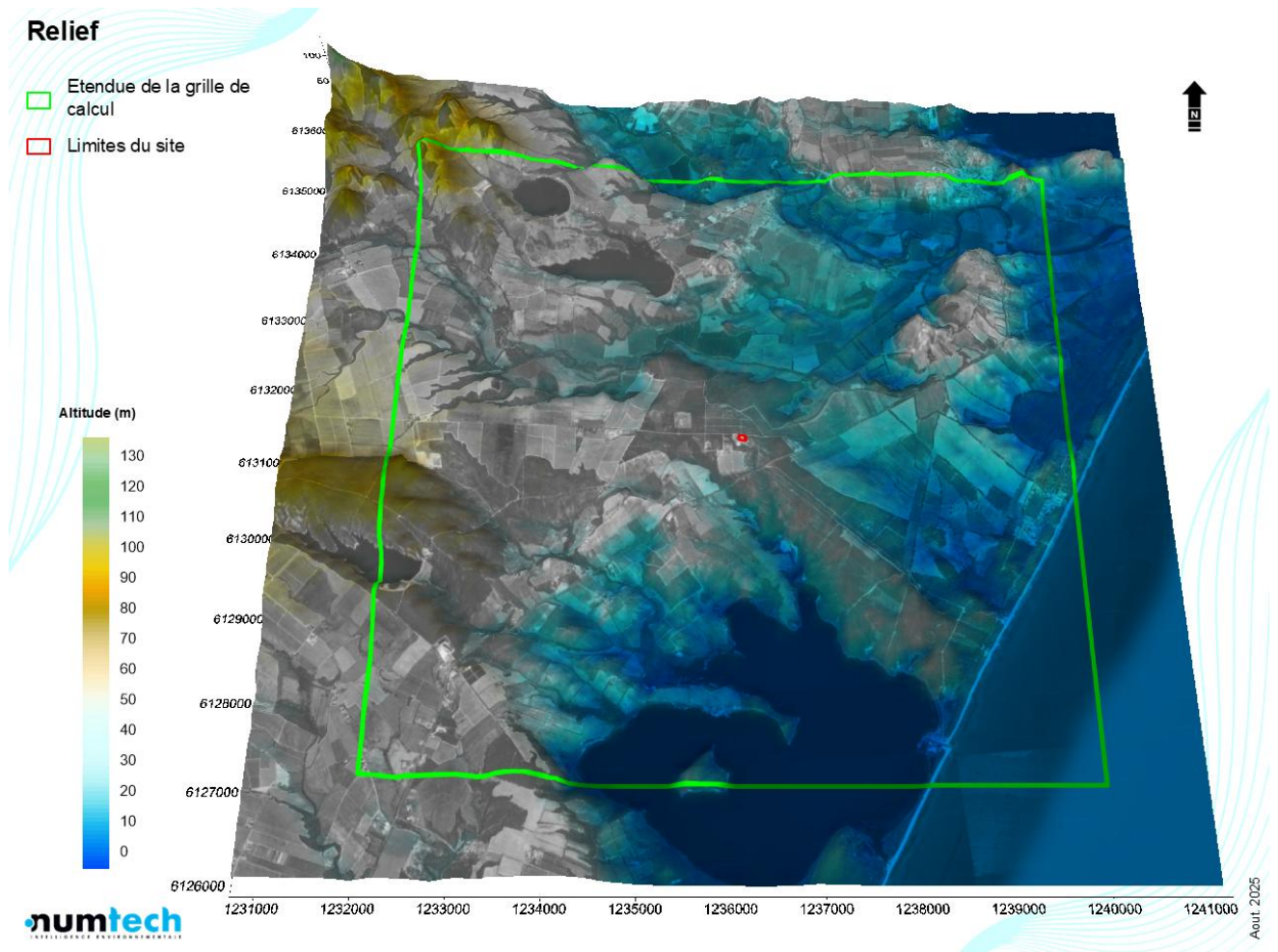


Effet du relief

☒ Pris en compte.

Origine des données :

☒ Base de données SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) de la NASA, la NGA (National Geospatial-intelligence Agency) et des agences spatiales allemandes et italiennes (résolution initiale de 90 m)



Annexe 2 : Fiches toxicologiques des substances étudiées dans l'ERS

Annexe fournie à part

Annexe 3 : Récapitulatif des données et des résultats obtenus avec MODULERS

Annexe fournie à part





5 rue des Planchettes
63110 CLERMONT FERRAND
www.numtech.fr



Annexe 2 : Fiches toxicologiques

Sommaire

ANTIMOINE (N°CAS 7440-36-0) ET SES COMPOSES – REV 05/2018.....	3
ARSENIC (N° CAS 7440-38-2) ET SES DERIVES INORGANIQUES – REV 05/2018.....	12
BENZENE (N° CAS 71-43-2) – REV 03/2021.....	23
CHLORURE D’HYDROGENE (N° CAS 7647-01-0) – REV 12/2014.....	33
CHROME (N° CAS 7440-47-3) ET SES COMPOSES– REV 05/2018	41
COBALT (N° CAS 7440-48-4) – REV 06/2023.....	54
CUIVRE (N° CAS 7440-50-8) – REV 09/2015.....	62
DIOXINES, FURANES ET POLYCHLOROBIPHENYLES DE TYPE DIOXINE (N°CAS -) – REV 03/2021	69
DIOXYDE DE SOUFRE (N° CAS 7446-09-5) - REV 03/2021	80
MANGANESE (N° CAS 7439-96-5) – REV 05/2018.....	87
MONOXYDE DE CARBONE (N° CAS 630-08-0) – REV 06/23	95
NICKEL (N° CAS 7440-02-0) ET SES COMPOSES – REV 05/2018.....	101
OXYDES D’AZOTE (N°CAS -) – REV 06/2023.....	113
PLOMB (N° CAS 7439-92-1) – REV 05/2018.....	120
POUSSIERES (N°CAS -) – REV 02/2023.....	130
VANADIUM (N° CAS 7440-62-2) ET SES COMPOSES – REV 05/2018	137

Antimoine (N°CAS 7440-36-0) et ses composés – REV 05/2018

I. Généralités

I.1. Identification

L'antimoine est un métal blanc argenté qui se casse facilement. De petites quantités d'antimoine se trouvent dans la croûte terrestre. Le minerai d'antimoine est extrait pour être changé en métal d'antimoine ou combinés avec l'oxygène pour former de l'oxyde d'antimoine. L'oxyde d'antimoine est une poudre blanche qui reste sous forme particulaire aux conditions normales de température et de pression. Seule une petite quantité de celui-ci va se dissoudre dans l'eau (ATSDR, 1992).

I.2. Utilisation

L'antimoine est utilisé dans la fabrication d'alliages avec le plomb, l'étain et le cuivre (il augmente la dureté du plomb). Avec le plomb et l'étain, il est utilisé dans la fabrication d'alliages antifriction. Il est également employé dans la fabrication des plaques de plomb des batteries, des plombs de chasse, des semi-conducteurs, des piles thermo-électriques, pour le traitement de surface des métaux et pour le noircissement du fer. Le pentoxyde d'antimoine est employé comme substance ignifuge pour les textiles. Le tartrate de potassium et d'antimoine est utilisé comme mordant dans les industries des textiles et du cuir. Il est également employé comme pesticide contre les limaces et les escargots, comme insecticide utilisé en spray sur les agrumes et les glaïeuls, et comme émétique (vomitif) en cas d'ingestion accidentelle de certains rodenticides (substances ayant comme propriété de tuer les rongeurs) (Ineris, 2007).

I.3. Sources d'exposition

L'antimoine est présent naturellement dans la croûte terrestre et les rejets dans l'atmosphère proviennent aussi bien des sources naturelles que des sources anthropiques. 41 % des émissions dans l'air proviennent de sources naturelles: particules de sol transportées par le vent, volcans, aérosols marins, feux de forêts, sources biogéniques (ATSDR, 1992). Les sources anthropiques de rejet dans l'atmosphère incluent l'industrie des métaux non ferreux (extraction minière, fusion, raffinage) et la combustion du charbon et des ordures. Les rejets dans l'eau proviennent d'industries liées à la production et à l'utilisation de l'antimoine et de ses composés. Aux USA, les eaux résiduelles des fonderies, de l'industrie de l'émaillage de la porcelaine et de l'industrie des métaux non ferreux présentent des concentrations supérieures à 1 ppm (Ineris, 2007).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'air, l'antimoine peut être associé à des dépôts de minerai non ferreux, et c'est sous cette forme qu'il est le plus souvent émis dans l'atmosphère. En effet, l'antimoine est un métal relativement volatil et sous forme vapeur suite à un procédé de combustion, il se condense sur la matière particulaire en suspension fine dont le diamètre est inférieure au micromètre. La demi-vie de l'antimoine dans l'atmosphère est estimée à 1,9 jours, et peut aller jusqu'à 3,2 jours pour le trioxyde d'antimoine. L'antimoine peut donc être transporté sur de longues distances depuis son point d'émission. Les plus fortes concentrations d'antimoine dans l'atmosphère ont été relevées aux alentours de fonderies de cuivre, de zinc ou de plomb (Adriano, 1986 ; Kabata-Pendias et Pendias, 1992 ; Edwards et al., 1995) (ATSDR, 1992).

Dans l'eau, l'antimoine est un constituant naturel du sol et est transporté dans les ruisseaux par ruissellement sur les sols. La plupart de cet antimoine dans l'eau est sous forme particulaire. Une étude sur le traitement des eaux usées industrielles aux USA a montré que l'antimoine se trouve couramment dans certaines eaux usées. Les industries pour lesquelles les concentrations des effluents dépassaient 1 ppm (en moyenne) dans les eaux usées brutes étaient liées à des activités de fonderie, d'émaillage, de transformation des métaux non ferreux, de blanchisseries, de fabrication de produits chimiques inorganiques, d'extraction de minerais, de peinture ou de formulation d'encre (ATSDR, 1992).

Dans les sols, l'antimoine est présent dans la lithosphère sous forme de sulfures d'antimoine, d'antimonides métalliques ou d'oxydes d'antimoine (Edwards et al., 1995). Plusieurs auteurs sont d'accord pour reconnaître que le comportement géochimique de l'antimoine dans les sols reste peu connu, tout en le rapprochant de celui de l'arsenic

(Adriano, 1986 ; ATSDR, 1992 ; Kabata-Pendias et Pendias, 1992 ; Edwards et al., 1995). Ces mêmes auteurs sont en revanche d'avis partagés sur la plus ou moins grande mobilité de l'antimoine dans les sols. Ainsi Adriano (1986) et Edwards et al. (1995) précisent que, quand l'antimoine est présent dans les sols sous forme soluble, il est le plus souvent sous forme d'antimonate. Kabata-Pendias et Pendias (1992) et Edwards et al. (1995) signalent que l'antimoine est souvent présent sous forme soluble complexée avec les acides humiques du sol. En revanche, Kabata-Pendias et Pendias (1992) considèrent que cette forme est très mobile dans l'environnement, alors que Edwards et al. (1995) estiment cette mobilité comme très modérée. De la même façon, Edwards et al. (1995) considèrent que l'antimoine s'accumule globalement en surface, alors que Kabata-Pendias et Pendias (1992) affirment que sa migration dans les horizons profonds est aisée. L'ATSDR (1992) se fait également l'écho de cette discussion en présentant à la fois des auteurs penchant pour une grande mobilité de l'antimoine dans diverses configurations environnementales et des auteurs considérant que l'antimoine est fortement adsorbé dans les sols. L'antimoine forme des espèces anioniques et son adsorption est plus importante dans des conditions faiblement acides. Cette adsorption est corrélée avec les teneurs en fer, manganèse et aluminium des sols dans la mesure où l'antimoine coprécipite avec les oxyhydroxydes de ces éléments (ATSDR, 1992, Ineris, 2007).

Des tests ont été effectués sur des végétaux ayant poussés sur des sols fortement chargés en antimoine (anciens sites miniers). Les végétaux considérés dans le cadre de ces études (Hammel et al., 2000 ; Cawse et al., 1976) sont des légumes-racines (pomme de terre, betterave, oignons), des légumes-feuilles (salade, choux, épinard, mâche) et un légume-fruit (tomate). Les résultats obtenus montrent une grande variabilité des facteurs de bio-concentration (BCF) suivant le végétal. Exprimé en poids sec, le BCF varie en moyenne de 0,009 (mâche et persil) à 0,0005 (tomate). Les données concernant la bio concentration de l'antimoine chez les organismes aquatiques (eaux douces et marines) sont très variables selon les auteurs (US-EPA, 1978 ; Mulder et al., 1986). Ainsi, selon Bonotto et al., (1983) et Mann et Fyfe, (1988) l'accumulation de l'antimoine chez les algues était très faible, voire insignifiante. En revanche, Chapman et al., 1998 met en évidence des BCF de 16 000 et 40 chez des invertébrés et poissons marins, respectivement. Ainsi, la bio-concentration de l'antimoine pourrait être significative chez les invertébrés. Néanmoins, compte tenu des faibles concentrations retrouvées chez les prédateurs, la concentration de l'antimoine le long de la chaîne trophique semble peu probable (Ineris, 2007).

Concentrations environnementales en antimoine			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	0,0045 à 171 ng.m ⁻³	Zones urbaines US	ATSDR, 1992 (d'après Austin et Millward 1988; Schroeder et al. 1987)
	0,086 – 0,0035 ng.m ⁻³	Au dessus des océans Atlantique nord et Pacifique nord	ATSDR, 1992 (d'après Arimoto et Duce 1987; Austin et Millward 1988)
Eau	0,25 ppb (0,25 µg.L ⁻¹) en moyenne avec 7,16 ppb (7,16 µg.L ⁻¹) d'écart-type	Résultats obtenus en tenant compte des concentrations trouvées dans 1077 rivières aux USA entre 1960 et 1988	ATSDR, 1992 (d'après Eckel et Jacob, 1989)
	entre 0,05 ppb (0,05 µg.L ⁻¹) et 0,38 ppb (0,038 µg.L ⁻¹)	Dans la Manche au niveau de la côte belge	ATSDR, 1992 (d'après Gillain et Brihaye 1985)
	entre 0,5 ppm (0,5 mg.kg ⁻¹) et 17,5 ppm (17,5 mg.kg ⁻¹)	Concentrations moyennes obtenues dans 10 sédiments susceptibles d'être contaminés sur plusieurs sites aux USA	ATSDR, 1992 (d'après Brannon et Patrick 1985)
Sols	entre moins de 1 ppm (1 mg.kg ⁻¹) à 8 ppm (8 mg.kg ⁻¹) avec une moyenne à 0,48 ppm	Résultats obtenus sur 1318 échantillonnages de différents types de sols (industriels, naturels) prélevés aux USA à 20 cm de profondeur	ATSDR, 1992 (d'après Shacklette et Boerngen 1984)
	entre 0,084 et 2550 ppm (entre 0,084 mg.kg ⁻¹ et 2,55 g.kg ⁻¹)	Concentrations obtenues au niveau des 1177 sites prioritaires listés par l'EPA aux USA (« NPL-sites »)	ATSDR, 1992 (d'après View 1989)
Aliments	entre 0,46 et 1,15 ppb	Viande	ATSDR, 1992 (d'après une étude alimentaire menée par la Food and Drug Administration (FDA) à Kansas city, Cunningham 1987)
	entre 0,22 et 1,81 ppb	Végétaux	
	entre 1,09 et 1,81 ppb	Produits de mer	
	entre 0,094 et 0,193 ppb	Algues	ATSDR, 1992 (d'après une étude menée au sud de l'Australie par Maher 1986)
	entre 0,031 et 0,06 ppb	Mollusques marins	
	entre 0,018 et 0,116 ppb	Crustacés	
	entre 0,009 et 0,10 ppb	Poissons	

1.5. Facteurs de conversion

Non applicable

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

Il n'existe pas de données quantitatives chez l'homme concernant l'absorption de l'antimoine et de ses composés par inhalation ou voie cutanée. L'International Commission on Radiological Protection (ICRP, 1981) recommande de prendre des valeurs d'absorption gastro-intestinale de 10 % pour le tartrate d'antimoine et de 1 % pour toutes les autres formes d'antimoine. L'absorption est affectée par de nombreux facteurs, comme la forme chimique ingérée, la taille des particules, la solubilité, l'âge et le régime alimentaire (ATSDR, 1992). Aucune donnée concernant la distribution de l'antimoine chez l'homme après exposition par voie orale ou cutanée n'est recensée (Ineris, 2007). Après absorption par voie pulmonaire, le trioxyde d'antimoine se concentre au niveau des poumons et du foie, mais aussi dans la rate, la thyroïde, les parathyroïdes, les hématies, la peau, le squelette, les reins et le cerveau (INRS, 2000). De faibles concentrations d'antimoine sont retrouvées chez des personnes non exposées. Des valeurs de 0,096 µg/g ont été mesurées dans la peau (Sumino et al., 1975), et de 0,096 à 0,12 µg/g dans les cheveux (Takagi et al., 1986 ; Muramatsu et Parr, 1988). L'antimoine ne subit pas de métabolisation. Il peut interagir avec des groupes sulfhydryl, phosphates, et former des interactions réversibles avec des ligands endogènes comme les protéines. Comme l'antimoine ingéré par voie orale est faiblement absorbé par voie gastro-intestinale, les fécès constituent probablement la voie principale d'élimination de l'antimoine. L'antimoine absorbé est éliminé par l'urine et les fécès, dans des proportions variables en fonction de la forme chimique. Des études menées chez l'homme et l'animal par injection d'antimoine pentavalent et trivalent ont montré que l'antimoine pentavalent est éliminé majoritairement dans les urines, alors que le trivalent l'est dans les fécès (Goodwin et Page, 1943 ; Edel et al., 1983) (ATSDR, 1992).

2.2. Toxicité aiguë

L'ingestion accidentelle de trioxyde d'antimoine a entraîné des sensations de brûlures dans l'estomac, des coliques, des nausées, des vomissements, et parfois des collapsus (IARC, 1989). Peu de temps après avoir ingéré une boisson contaminée par une dose équivalente à 0,53 mg d'antimoine/kg sous forme de tartrate de potassium et d'antimoine, des travailleurs ont été pris de vomissements (Dunn, 1928). Des effets gastro-intestinaux ont été signalés chez des travailleurs exposés à des poussières d'antimoine. Ces effets résultent certainement du transport des poussières des poumons au niveau digestif par une action mucociliaire (ATSDR, 1992).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

L'exposition professionnelle par inhalation à du trioxyde d'antimoine et/ou des poussières de pentaoxyde d'antimoine (8,87 mg d'antimoine.m⁻³ ou plus) a entraîné des effets respiratoires incluant une stibiose (accumulation de poussières inertes dans les poumons et réaction des tissus à la présence de ces poussières), de la bronchite chronique, de l'emphysème chronique, des adhésions pleurales et des effets pulmonaires obstructifs (Cooper et al., 1968 ; Potkonjak et Pavlovich, 1983). Des travailleurs exposés à 0,58 à 5,5 mg d'antimoine.m⁻³ sous forme de trisulfure d'antimoine pendant 8 mois à deux ans ont présenté une augmentation de la pression sanguine (10 %) et des altérations de l'électrocardiogramme chez 5 % des sujets (anomalies de l'onde T correspondante à la période de repos du cœur sur un ECG) (Brieger et al., 1954). Cependant ces travailleurs étaient également exposés à une résine à base de phénol et de formaldéhyde. Des travailleurs exposés moins de cinq mois à des fumées d'oxyde d'antimoine à des concentrations de 4,69, 11,82 mg.m⁻³ ont présenté des rhinites, dermatites, laryngites, bronchites, pneumonites et conjonctivites (Renes, 1953). Cependant ces travailleurs étaient également exposés à de faibles concentrations d'arsenic (0,39 à 1,10 mg.m⁻³). Le contact cutané avec des particules aéroportées de trioxyde d'antimoine a été associé à l'apparition d'une dermatite chez des ouvriers (Stevenson, 1965). Celle-ci est caractérisée par une nécrose cellulaire épidermique avec des réactions cellulaires inflammatoires aiguës, et résulte de l'action du trioxyde d'antimoine sur le derme après sa dissolution dans la sueur et sa pénétration dans les glandes sudoripares (Ineris, 2007).

2.3.2. Effets cancérigènes

Peu d'informations permettent d'estimer la cancérogénicité de l'antimoine. Une seule étude humaine a porté sur des travailleurs. Au terme de cette étude, il a été défini que l'exposition par inhalation à 8,87 mg d'oxyde d'antimoine.m⁻³ n'affectait pas l'incidence du cancer chez les travailleurs pendant 9 à 31 années d'exposition (Potkonjak et Pavlovitch 1983).

Chez les rats, une augmentation de l'incidence des tumeurs pulmonaires a été déterminée uniquement par inhalation de fortes concentrations de trioxyde d'antimoine (5 mg.m⁻³ dans l'étude de Watt, 1983 et 37,8 mg d'antimoine.m⁻³ dans l'étude de Groth et al., (1986). Pour la voie ingestion, aucune augmentation de l'incidence des cancers n'a été observée chez les rats (Schroeder et al., 1970) ou des souris (Schroeder et al., 1968 ; Kanisawa et Schroeder, 1969) (Ineris 2007).

Classement cancérigène de l'antimoine		
Composé	Classement	Organisme
trioxyde d'antimoine	3	Union Européenne (JOCE, 1994) ¹
	2	Union Européenne (JOCE, 2008) ²
	2B	CIRC (1989)
trisulfure d'antimoine	3	CIRC (1989)

¹Annexe I de la directive 67/548/CE

²Annexe VI du règlement CLP n°1278/2008

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas classé l'antimoine et ses composés comme mutagène (JOCE, 1994 ; JOCE, 2008).

Aucune étude *in vivo* n'a été retrouvée dans la littérature. Les résultats des études *in vitro* montrent des effets sur des cassures de chromosomes dans les cellules leucocytes humaines, et aussi des altérations de l'ADN et des aberrations chromosomiques. Les résultats des tests de transformation et de mutation des gènes sont négatifs. Du fait du manque de résultat pour les études *in vivo*, la génotoxicité de l'antimoine n'a pas été déterminée (ATSDR, 1992).

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas classé l'antimoine et ses composés comme reprotoxique (JOCE, 1994 ; JOCE, 2008).

Une incidence accrue d'avortements spontanés, comparativement à un contrôle de croissance, ont été signalés chez les femmes travaillant à une usine métallurgique d'antimoine. Les femmes ont été exposées à un mélange de trioxyde d'antimoine, pentasulfure de l'antimoine, et de l'antimoine métallique (Belyaeva 1967). Le niveau d'antimoine en suspension dans l'air et la présence d'autres composés n'est pas connu. En outre, une description du groupe témoin n'a pas été donnée : on ne sait pas si les témoins avaient un emploi comparable au groupe exposé.

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR aiguë dans la littérature consultée.

3.2. VTR sur 8 heures

Il n'a pas été retrouvé de VTR 8h dans la littérature consultée.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire dans la littérature consultée.

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérogènes

■ US-EPA, 1995 : 0,2 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (trioxyde d'antimoine)

Newton et al. (1994) a mené une étude de toxicité chronique dans laquelle des groupes de 65 rats Fischer ont été exposés à des concentrations de 0, 0,05, 0,50, ou 5,00 mg / m^3 de trioxyde d'antimoine pendant 6 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 1 an. Des sacrifices intermédiaires ont été effectués sur 5 animaux à 6 et 12 mois d'exposition et après les 6 mois après exposition. Le reste des animaux a été sacrifiés à la fin de la période de récupération de 12 mois. Le poids corporel ont été mesurés toutes les semaines pendant les 3 premiers mois de l'exposition et mensuellement par la suite, des analyses hématologiques ont été effectués sur 5 animaux / sexe / groupe de 12 et 18 mois et sur 10 rats / sexe / groupe à 24 mois. Des examens microscopiques ont été réalisés sur les tissus du larynx, sur les ganglions péri bronchiques, sur les poumons, sur la trachée, sur les cornets nasaux, et sur le cœur dans tous les groupes d'animaux. Les yeux, les reins, le foie, prostate, la rate et la vessie ont été examinés dans les groupes de rats les plus exposés.

L'incidence des **effets toxiques pulmonaires** a été utilisée pour proposer une analyse de benchmark concentration (BMC). Ainsi, l'analyse des données brutes de l'étude avec des modèles de Weibul et linéaires a permis de calculer une BMC de 0,87 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, qui correspond à la limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95 % pour une augmentation de 10 % de la probabilité de réponse. Cette valeur a été ajustée pour une exposition continue, ce qui donne une BMC(ADJ) de 0,16 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ($0,87 \times 6/24 \times 5/7$). Pour l'extrapolation à l'homme, une BMC10(HEC) a été calculée en multipliant la valeur précédente par une valeur de « regional deposited dose ratio » de 0,46 : $\text{BMC10(HEC)} = 0,16 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \times 0,46 = 0,0736 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (arrondi à 0,074 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) Facteur d'incertitude : un facteur de 10 a été utilisé pour la variabilité au sein de la population humaine, un facteur de trois pour l'extrapolation de données animales à l'homme, un facteur de trois en raison du peu de données disponibles et un facteur de trois pour tenir compte d'une durée d'exposition plus courte que la vie entière de l'animal. Le facteur d'incertitude total de 270 ($10 \times 3 \times 3 \times 3$) a été arrondi à 300.

Calcul : $0,074 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \times 1/300 = 0,00024 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (arrondi à $2 \cdot 10^{-4} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$)

3.4.2. Effets cancérogènes

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour ce type d'effets dans la littérature consultée.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR aiguë dans la littérature consultée.

4.2. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire dans la littérature consultée.

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérogènes

■ US-EPA, 1991 : 0,4 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ (antimoine)

Cette valeur a été établie à partir de l'étude de Schroeder (Schroeder et al., 1970). Il s'agit d'une étude expérimentale de 90 jours chez le rat Sprague-Dawley (15 animaux par sexe et par dose) exposés aux concentrations de 0 - 0,5 - 5,0 - 50 et 500 mg d'antimoine (tartrate de potassium et d'antimoine) par litre, ce qui correspond à des doses journalières de 0,006-45,39 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{pc}$ chez les femelles et 0,06- 42,17 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{pc}$ chez les mâles. L'US EPA indique que la dose de 5 ppm a été convertie en une exposition de 0,35 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ par les auteurs, ainsi un LOAEL de 0,35 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ est déterminé. Les effets relatifs à ces niveaux d'exposition correspondent à une **diminution de l'espérance de vie, à l'augmentation de l'incidence du diabète et du cholestérol**.

Facteur d'incertitude : un facteur de 10 a été utilisé pour la variabilité au sein de la population humaine, un facteur de 10 pour l'extrapolation de données animales à l'homme, et un facteur de 10 pour l'utilisation d'un LOAEL et non d'un NOAEL.

Calcul : $0,35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1} \times 1/1\,000 = 0,00035 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ (arrondi à $4 \cdot 10^{-4} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$)

▪ **OMS, 2006 : 6 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (antimoine)**

Les résultats sont issus de la même étude-source que celle utilisée par l'US-EPA pour la mise au point de leur VTR en 1991. Dans le cas de l'OMS, les résultats de l'étude de Schroeder ont été ré-analysés par Lynch et al. (1999), qui propose de retenir la valeur de NOAEL de 6,0 mg d'antimoine par kg pc par jour. Cette valeur correspond à la concentration de 50 mg d'antimoine par litre. Ce NOAEL est établi suite à l'observation de la **diminution de croissance pondérale et de l'altération de la consommation de nourriture et de boisson** dans la même étude pour la dose de 500 mg d'antimoine par litre. Il s'agit donc d'une LOAEC de 500 mg correspondant un LOAEL de 60 mg d'antimoine par kg pc par jour (Lynch et al., 1999).

Facteur d'incertitude : un facteur de 10 a été utilisé pour la variabilité au sein de la population humaine, un facteur de 10 pour l'extrapolation de données animales à l'homme, et un facteur de 10 pour l'utilisation d'une étude subchronique.

Calcul : $6 \text{ mg/kg/j} \times 1/1\,000 = 6 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$

▪ **Expertise Anses, 2016 : 6 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (OMS, 2006)**

Dans le cadre de son Etude de l'Alimentation Totale Infantile (EATi - Evaluation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à certaines substances présentes dans l'alimentation), l'Anses retient la VTR proposée par l'OMS en 2006.

4.3.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour des effets sans seuil dans la littérature consultée.

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualite-A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Antimoine et ses composés								
Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée de l'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	8h	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	0,2 µg.m ⁻³	-	A	Effets pulmonaires	BMC = 0,87 mg.m ⁻³	300	EPA, 1995
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
Digestif	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	6 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	A	diminution de croissance pondérale, de l'altération de la consommation de nourriture et de boisson	LOAEL = 6,0 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	1000	Expertise Anses, 2016 (OMS, 2006)
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

VME = 0,5 mg.m⁻³ pour l'antimoine et ses composés (INRS, 2012)

7. Bibliographie

Anses, Etude de l'Alimentation Totale Infantile (EATi), Evaluation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à certaines substances présentes dans l'alimentation, Tome 1 & 2. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/content/etude-de-l%E2%80%99alimentation-totale-infantile> (consulté en mai 2018)

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 1992, Toxicological Profile for Antimony, <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/TP.asp?id=332&tid=58> (consulté en décembre 2011)

EPA (Environmental Protection Agency), 2010, Antimony (CASRN 7440-36-0), <http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0006.htm> (consulté en décembre 2011).

EPA (Environmental Protection Agency), 2010, Antimony trioxide (CASRN 1309-64-4), <http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0676.htm> (consulté en décembre 2011).

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2008, Some Organic Solvents, Resin Monomers and Related Compounds, Pigments and Occupational Exposures in Paint Manufacture and Painting, 22p., <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol47/volume47.pdf> (dernière consultation 03/09/10).

OMS, 2008, Guidelines for drinking-water quality. Third edition. 3rd., 668p., http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf (consulté en décembre 2011)

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 2000, Trioxyde de diantimoine, Note établie par les services techniques et médicaux de l'INRS, Fiche technique n° 198, 4 p. [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/FT%20198/\\$file/ft198.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/FT%20198/$file/ft198.pdf) (dernière consultation 02/09/10)

IARC (International Agency for Research on Cancer), 1989, Volume 47, Antimony trioxide and Antimony Trisulfide - Summary of Data Reported and Evaluation, <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol47/47-11.html> (dernière consultation 02/09/10)

INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques), 2007, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, Antimoine et ses dérivés, DRC-03-47020-03DD050.doc; <http://chimie.ineris.fr/fr/LesPDF/MetodExpChron/antimoine.pdf> (consulté le 02/09/10)

JOCE, 2008, regulations (EC) n°1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006.

JOCE, 1994, Commission directive 94/69/EC, 21st ATP, Council Directive 67/548/EEC.

Arsenic (N° CAS 7440-38-2) et ses dérivés inorganiques – REV 05/2018

I. Généralités

I.1. Identification

L'arsenic est un métal gris brillant, retrouvé sous la dénomination de « métaux lourds ». Il se présente sous forme d'un solide cristallisé. Il est naturellement souvent associé au soufre et au fer.

Les principaux minerais de l'arsenic dans la nature sont le mispickel (FeAsS), le réalgar (As_2S_2), l'orpiment (As_2S_3) et la loellingite (As_2Fe) (Ineris, 2010).

I.2. Utilisation

L'arsenic et ses composés sont utilisés dans la fabrication de pesticides (arséniate de plomb), raticides, fongicides, herbicides, dans l'industrie des colorants, en métallurgie (pour durcir le cuivre, l'or et le plomb), dans les batteries pour améliorer la résistance à la corrosion électrique (Ineris, 2006 ; INRS, 2006).

I.3. Sources d'exposition

L'arsenic a une origine à la fois anthropique et naturelle. Naturellement l'arsenic est essentiellement présent dans la croûte terrestre. Les 2 principales sources anthropiques sont les émissions industrielles et la combustion des produits fossiles (Ineris, 2010).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'environnement, les formes oxydées les plus fréquentes sont les formes As III et As V.

Dans l'air, l'arsenic est présent essentiellement sous forme de particules inorganiques. L'arsenic n'est pas dégradé par photolyse, mais il peut être oxydé en As V.

Dans l'eau, la solubilité est variable en fonction du degré d'oxydation (As V plus soluble qu'As III). L'arsenic serait essentiellement présent sous forme inorganique).

Dans les sols, la mobilité de l'arsenic est assez limitée. Il existe essentiellement sous forme oxydée (formes inorganiques d'arsénites et d'arsénates).

Dans les végétaux, l'absorption d'arsenic se fait passivement par le flux hydrique. Les teneurs dans les racines sont plus importantes que dans les tiges et les feuilles. Parmi les plantes entrant dans l'alimentation humaine, les laitues présentent la plus forte capacité d'accumulation en arsenic.

Dans les aliments on trouve aussi bien les formes organiques qu'inorganiques d'arsenic. Les concentrations les plus élevées d'arsenic sont retrouvées préférentiellement dans le poisson et dans les mollusques et crustacés, mais comme il s'agit d'arsenic organique, ceci ne constitue pas une préoccupation à l'égard de la santé humaine (Santé Canada, 2008). En Europe, les aliments contribuant largement à l'exposition quotidienne à l'arsenic inorganique dans la population européenne générale sont les grains de céréales et les produits à base de céréales, suivies de l'alimentation destinée à des régimes alimentaires spécifiques, de l'eau en bouteille, du café et de la bière, des grains de riz et des produits à base de riz, du poisson et des légumes. Les enfants de moins de 3 ans sont les plus exposés à l'arsenic inorganique, environ 2 à 3 fois plus qu'un adulte (EFSA, 2009).

Dans son rapport d'étude, l'EFSA considère que la proportion d'arsenic inorganique dans l'arsenic total varie entre 50 et 100% pour l'ensemble des aliments en dehors des poissons et des produits de la mer. Ainsi, une proportion de 70% a été considérée comme représentative pour les pays européens (EFSA, 2009).

Concentrations environnementales en arsenic			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	zone rurale : <1-3 ng.m ⁻³		OMS, 2000
	zone urbaine : 20-30 ng.m ⁻³	États-Unis	ATSDR, 2005
	zone industrielle : 1-20 ng.m ⁻³		
	0,5-0,8 ng.m ⁻³ (moyenne = 0,64 ng.m ³)	5 villes françaises (Le Havre, Rouen, Paris, Strasbourg, Colmar)	ADEME, 2000
Eau	< 10 µg.L ⁻¹	-	OMS, 2000
	< 0,01 mg.L ⁻¹	18000 relevés aux États-Unis en 1970	IPCS, 1981
Sol	0,2 à 40 mg.kg ⁻¹	Sols non contaminés	OMS, 2000
	1 à 40 mg.kg ⁻¹	Sols non contaminés	ATSDR, 2005
Aliments et eau	0,13 à 0,56 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	100 000 données issues de 15 pays européen	EFSA, 2009

1.5. Facteurs de conversion

1 ppm = 2.21 mg.m⁻³ (OEHHA, 2009)

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

La principale voie d'absorption est la voie orale (80 à 90 %). L'absorption respiratoire et cutanée est également facile. L'arsenic est transporté par le sang vers le foie et les reins pour les composés trivalents, vers l'ensemble de l'organisme pour les composés pentavalents.

Les composés trivalents sont transformés en composés pentavalents ; l'élimination se fait par le rein (90% en 6 jours environ) surtout sous forme pentavalente mais également sous forme organique (méthylation). Poils et cheveux sont une autre voie d'élimination (INRS, 2006).

Apports alimentaires en arsenic : 45 µg.j⁻¹ en Belgique (OMS, 2000).

Apports tabagiques : 0,03–0,1 µg par cigarette (OMS, 2000).

2.2. Toxicité aiguë

L'exposition digestive massive amène à des signes digestifs. En deçà, on observe des atteintes hépatiques et rénales, une polynévrite et des troubles cutanés (mélanose, hyperpigmentation).

L'exposition respiratoire amène à une irritation du tractus respiratoire (nez, trachée, bronches) se traduisant par toux, dyspnée et douleurs thoraciques. Il est également possible d'observer une irritation des conjonctives.

L'exposition cutanée conduit à des signes neurologiques et d'irritation cutanée (INRS, 2006).

2.3. Toxicité chronique

La grande majorité des effets sont induits par les dérivés inorganiques de l'arsenic.

2.3.1. Effets systémiques

Des effets cutanés sont observés quelle que soit la voie d'exposition. Il s'agit d'hyperkératoses associées à une alternance de zones d'hyper et d'hypopigmentation sur la face, le cou et le dos.

Une atteinte du système nerveux (polynévrite sensitivo-motrice débutant aux membres inférieurs) est observée par exposition respiratoire ou digestive.

Une atteinte hématologique est observée avec anémie, neutropénie, thrombopénie uniquement pour une exposition par voie digestive.

Des effets cardiovasculaires et hépatiques sont également fréquemment décrits. Enfin, l'exposition à l'arsenic est récemment corrélée au diabète sucré (Ineris, 2010 ; INRS, 2006).

2.3.2. Effets cancérigènes

Plusieurs études rapportées par l'Ineris (2010) montrent une association entre :

- le cancer des voies respiratoires et l'exposition à l'arsenic inorganique par voie respiratoire. Cette association aurait été retrouvée par ingestion de composés arsenicaux.
- le cancer cutané et l'exposition à l'arsenic inorganique par voie digestive (essentiellement par ingestion d'eau).

D'autres localisations de cancers sont suspectées mais non encore confirmées.

Classements cancérigène de l'arsenic et ses dérivés	
Classement	Organisme
I	Union Européenne, (JOCE, 1998) ^{a,1}
IA	Union Européenne, (JOCE, 2008) ^{a,2}
I	CIRC (1987)
A	EPA (1998)
I	Santé Canada

^apentaoxyde de di-arsenic et trioxyde de di-arsenic

¹Annexe I de la directive 67/548/CE

²Annexe VI du règlement CLP n°1278/2008

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas classé l'arsenic et ses composés comme mutagène (JOCE, 1998 ; JOCE, 2008).

L'arsenic est une substance génotoxique in vitro et in vivo. Le mécanisme d'action génotoxique serait indirect (Ineris, 2010), ce qui en ferait un cancérigène à seuil de dose (Anses, 2010)

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas classé l'arsenic comme reprotoxique (JOCE, 1998 ; JOCE, 2008).

Des malformations à la naissance et des petits poids à la naissance sont suspectés, mais ces effets n'ont pas été confirmés.

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

■ OEHHA, 2008 : 0,2 µg.m⁻³ / 1 heure

Cette VTR est basée sur un LOAEL de 260 µg.m⁻³ de trioxyde d'arsenic (As₂O₃, converti en 197 µg As.m⁻³), correspondant à une **diminution du poids fœtal des souriceaux** dont les mères ont été exposées par voie respiratoire les 9, 10, 11 et 12èmes jours de gestation (Nagyajtenyi et al., 1985). Il a été appliqué un facteur d'incertitude de 1000 à ce LOAEL (10 pour l'utilisation d'un LOAEL, 10 pour l'extrapolation de l'animal à l'Homme et 10 pour la variabilité humaine). Cette VTR protège contre des effets sévères. Il n'a pas été établi de VTR pour des effets plus modérés car les effets les plus sensibles sont reprotoxiques.

■ Expertise Ineris, 2010 : aucune VTR retenue

Les VTR aiguë de l'OEHHA ne sont pas considérées comme pertinentes à retenir par l'Ineris.

3.2. VTR sur 8 heures

- **OEHHA, 2008 : 0,015 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 8 heures**

Cette VTR est basée sur les mêmes études qui ont servi à l'établissement de la VTR de 0,015 $\mu\text{g.m}^{-3}$ par l'OEHHA pour une exposition chronique en 2008 (cf. Valeurs toxicologiques de référence chroniques- Effets à seuil – voie respiratoire). Du fait de la faible clairance de l'arsenic qui rend son élimination lente de l'organisme (1/2 vie de 1 à 2 jours), l'OEHHA conclut qu'il y a finalement peu de différence entre une exposition chronique et une exposition répétée à l'arsenic. Cette valeur a été établie à partir d'une étude chez l'enfant associant l'exposition à l'arsenic à une **diminution des fonctions intellectuelles et à des effets délétères sur le développement neurocomportemental**.

- **Expertise Ineris, 2010 : aucune VTR retenue**

De manière générale, les REL de l'OEHHA pour des expositions de 1 à 8h, correspondent selon l'Ineris à des seuils accidentels et ne sont retenus par l'Ineris dans ces choix de VTR.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire dans la littérature consultée.

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérigènes

- **OEHHA, 2008 : 0,015 $\mu\text{g.m}^{-3}$**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude chez l'enfant associant l'exposition à l'arsenic à une diminution des fonctions intellectuelles et à des **effets délétères sur le développement neurocomportemental** (Wasserman *et al.*, 2004 ; Tsai *et al.*, 2003). Un LOAEL ajusté de 0,23 $\mu\text{g.m}^{-3}$ a été établi sur une population de 201 enfants de 10 ans exposés en continu pendant 9,5 à 10,5 ans à de l'eau de boisson chargée en arsenic (LOAEL = 2,27 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Un facteur d'incertitude de 30 a été appliqué (3 pour l'utilisation d'un LOAEL au lieu d'un NOAEL et 10 pour la variabilité humaine).

- **Expertise Ineris, 2010 : 0.015 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (OEHHA, 2008)**

La valeur proposée par l'OEHHA est une extrapolation à partir de la VTR établie pour la voie orale. Etant donné que la VTR établie pour la voie orale est de bonne qualité et est préconisée par l'INERIS, l'Ineris conseille de la retenir dans le cas d'expositions chroniques par voie respiratoire.

- **Expertise Anses, 2015 : Aucune VTR disponible**

Dans le cadre de son rapport relatif à la pollution chimique de l'air des enceintes de transports ferroviaires souterrains et des risques sanitaires associés chez les travailleurs, l'ANSES a recensé des travaux de l'ATSDR de 2004 ainsi que du TCEQ de 2012. L'agence a considéré que ces données étaient insuffisantes pour élaborer une VTR pour cette voie d'exposition et ce type d'effet. **A noter toutefois que ce choix n'est pas rappelé dans la base de données relative aux VTR proposée par l'Anses et que le document source de l'Anses ne précise pas les raisons de ce choix** (il est uniquement fait mention de documents du TCEQ de 2012 et de l'ATSDR de 2004).

3.4.2. Effets cancérigènes

- **Santé Canada, 1992 : 7,8 $\mu\text{g.m}^{-3}$**

Cette valeur est une concentration tumorigène 5 % ($\text{CT}_{0,05}$) basée sur des études réalisées chez des travailleurs exposés à l'arsenic (Higgins *et al.*, 1986 ; Enterline *et al.*, 1987 ; Jarup *et al.*, 1989). Ces études ont montré une association entre l'exposition aux vapeurs d'arsenic et l'apparition de **cancers pulmonaires** et ont mis en évidence une relation dose effet servant à estimer la concentration induisant une augmentation de l'incidence des cancers de l'ordre de 5 %.

- **EPA, 1998 : 4,3.10⁻³ ($\mu\text{g.m}^{-3}$)⁻¹**

Cette valeur se base sur des études épidémiologiques sur des travailleurs américains chez lesquels il a été observé des **cancers pulmonaires** : Brown and Chu, 1983 ; Lee-Feldstein, 1983 ; Higgins, 1982 : fonderie Anaconda (État du Montana) : ERU = 2,56.10⁻³ ($\mu\text{g.m}^{-3}$)⁻¹.

Enterline and Marsh (1982) : fonderies ASARCO, Tacoma (Washington) : $ERU = 7,19 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$.

A partir des résultats de ces 4 études, il est calculé une moyenne géométrique intermédiaire pour chacun des sites, puis une moyenne géométrique finale à partir des 2 moyennes intermédiaires. L'EPA précise que l'ERU calculé ne doit pas être utilisé pour des concentrations dans l'air supérieures à $2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

▪ **OMS, 2000 : $1,5 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$**

Cette valeur a été composée à partir d'une synthèse d'études épidémiologiques réalisée par Viren et Silvers (1994) et de résultats plus anciens portant sur des travailleurs chez qui il a été calculé un lien entre l'exposition à l'arsenic et le **cancer des poumons** :

La synthèse prend en compte les résultats des études américaines du Tacoma (État de Washington) mises à jour ($ERU = 1,28 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$) et suédoises (3619 travailleurs ; $ERU = 0,89 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$).

Les résultats américains plus anciens sont ceux du Montana ayant servi à établir l'ERU de l'EPA ($ERU = 2,56 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$) (Lee-Feldstein, 1983).

▪ **RIVM, 2001 : $1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude chez l'Homme associant le **cancer pulmonaire** à l'exposition à l'arsenic par voie respiratoire. Un LOAEC de $10 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ a été établi pour de l'arsenic trivalent. Un facteur d'incertitude de 10 a été appliqué à ce LOAEC pour tenir compte des différences de sensibilité au sein de l'espèce humaine. Le RIVM propose l'utilisation de cette VTR pour les formes trivalentes et pentavalentes. Le RIVM ne précise pas les références de l'étude source ayant servi à établir cette VTR.

▪ **OEHHA, 2009 : $3,3 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$**

Cette valeur est la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % calculée à partir des 3 groupes de travailleurs les moins exposés à l'arsenic (sur 4 groupes) de l'étude de Enterline *et al.*, (1987). 3 études épidémiologiques portant sur la **mortalité par cancer du poumon** chez les travailleurs exposés à l'arsenic ont été considérées pour ajuster le modèle de régression linéaire : Enterline *et al.*, (1987) (582 travailleurs exposés pendant 20 à 29 ans), Higgins *et al.*, (1985), and Lee-Feldstein (1986) (8045 travailleurs exposés pendant au moins 12 mois). Seules les données relatives aux non-fumeurs ont été considérées pour le calcul de cette VTR.

▪ **Expertise Ineris, 2010 : $4,3 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$ (EPA, 1998)**

Dans le cas de la voie respiratoire, la méthode de construction utilisée par Santé Canada pour l'établissement de sa VTR n'est pas décrite en détail. Il est donc préférable de ne pas la retenir. L'ensemble des données épidémiologiques montre une relation entre la mortalité due aux cancers du poumon et l'exposition à l'arsenic. L'US EPA retient six études réalisées dans des fonderies situées aux Etats-Unis et l'OEHHA retient une étude menée sur 8 fonderies différentes, localisées aux Etats-Unis. Les fonderies étudiées étant souvent les mêmes. La VTR proposée par l'OEHHA est issue de données de 8 fonderies, analysées dans la même étude et de la même façon, mais seuls les résultats d'une seule fonderie ont été pris en compte. En ce qui concerne la VTR recommandée par l'US EPA, à partir d'études où des niveaux (élevés, moyens ou faibles) de concentrations d'arsenic ont été mentionnés, des excès de risque unitaire ont été calculés. Une moyenne géométrique a ensuite été réalisée pour déterminer l'excès de risque final. Cette méthode est plus appropriée que celle utilisée par l'OEHHA et l'INERIS préconise donc de retenir la VTR établie par l'US EPA de $4,3 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$. Il est toutefois intéressant d'indiquer que les VTR élaborées par l'OEHHA et par l'US EPA sont très proches, du fait de la prise en compte des mêmes cohortes initiales. Le mécanisme d'action cancérigène de l'arsenic étant controversé, il est conseillé pour l'instant de retenir par précaution une VTR sans seuil pour les effets cancérigènes induits par l'arsenic.

▪ **Expertise Anses, 2015 : $1,5 \cdot 10^{-4} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$ (TCEQ, 2012)**

Dans son rapport relatif à la pollution chimique de l'air des enceintes de transports ferroviaires souterrains et des risques sanitaires associés chez les travailleurs, l'ANSES a retenu les travaux du TCEQ de 2012 pour l'estimation d'une VTR associée aux effets sans seuil de composés d'arsenic inorganique par voie respiratoire.

Cette VTR est basée sur les trois études épidémiologiques professionnelles. Le TCEQ reconnaît qu'elle est moins conservatrice que la fourchette de VTR comprise entre $1,25 \cdot 10^{-3}$ par $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et $7,60 \cdot 10^{-3}$ par $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et la moyenne géométrique estimée à $4,3 \cdot 10^{-3}$ par $\mu\text{g}/\text{m}^3$ calculée par l'USEPA (1998). La différence entre les VTR calculées par le TCEQ et l'USEPA est principalement due au fait que le TCEQ a utilisé des estimations d'exposition actualisées et plus précises pour les cohortes Tacoma et Montana que celles prises en compte par l'EPA en 1984 et reprises en 1998.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

- **ATSDR, 2007 : $5 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ / I-14j**

Cette valeur est dérivée d'une étude sur des Japonais qui ont consommé de la sauce soja contaminée à l'arsenic, pendant 2-3 semaines (Mizuta *et al.*, 1956). Un LOAEL de $0,05 \text{ mg As.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été établi pour des **effets gastro-intestinaux** et **des œdèmes de la face**, auquel a été appliqué un facteur d'incertitude de 10 (10 pour l'utilisation d'un LOAEL et 1 pour la variabilité humaine).

4.2. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire dans la littérature consultée.

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérogènes

- **EPA, 1993 : $0,3 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude chez l'Homme mettant en évidence **une hyperpigmentation, une kératose** et des possibles complications vasculaires (Tseng, 1977; Tseng *et al.*, 1968) pour un NOAEL de $9.10^{-3} \text{ mg.L}^{-1}$ converti en $8.10^{-4} \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$. Un facteur d'incertitude de 3 a été appliqué pour tenir compte du manque de données sur la toxicité sur la reproduction et de la variabilité humaine.

- **OMS, 1994 : $2 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$**

Cette valeur est une DHTP (dose hebdomadaire tolérable provisoire), de $15 \mu\text{g/kg/semaine}$ (soit $2,14 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$) pour des **lésions cutanées** telles qu'une hyperpigmentation, ou des hyperkératoses. Cette VTR a été établie pour une exposition chronique par voie orale à l'arsenic inorganique. Des données épidémiologiques ont mis en évidence des intoxications à l'arsenic (arsenicisme) pour des concentrations dans l'eau de boisson supérieure ou égale à $1\,000 \mu\text{g.L}^{-1}$. Aussi, l'OMS a proposé de respecter une concentration de $100 \mu\text{g.L}^{-1}$ dans l'eau de boisson de l'Homme. A partir de cette valeur de $100 \mu\text{g.L}^{-1}$ et en considérant une consommation journalière d'eau de $1,5 \text{ L.j}^{-1}$ et un poids corporel moyen adulte de 70 kg, le JECFA a déterminé la dose de $2 \mu\text{g.kg}^{-1} \text{ PC.j}^{-1}$ ($= 100 \mu\text{g.L}^{-1} \times 1,5 \text{ L.j}^{-1} / 70 \text{ kg}$).

- **RIVM, 2001 : $1 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$**

Cette valeur a été établie pour une exposition chronique par voie orale pour des **lésions cutanées** (Baars *et al.*, 2001). Elle est issue de la dose tolérable hebdomadaire d'As inorganique de $15 \mu\text{g.kg}^{-1}$ de l'OMS, cette dernière étant elle-même issue d'un LOAEL chez l'Homme de $100 \mu\text{g As.L}^{-1}$ d'eau, en supposant une consommation de $1,5 \text{ L.j}^{-1}$ (Baars *et al.*, 2001). Un facteur d'incertitude de 2 est appliqué pour tenir compte des incertitudes liées aux études épidémiologiques.

- **ATSDR, 2007 : $0,3 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$**

Cette valeur est issue des mêmes études que la RfD de l'US-EPA (Tseng 1977 ; Tseng *et al.*, 1968) et est basée sur un NOAEL de $0,8 \mu\text{g As.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour des **effets dermiques**. Un facteur d'incertitude de 3 a été appliqué pour tenir compte de la variabilité intra-espèce.

Il est à noter qu'une étude récente a permis de mieux réévaluer les paramètres relatifs à la population exposée, et aux niveaux d'exposition (Schoof *et Evans*, 1998) ce qui a permis d'établir un nouveau NOAEL de $0,016 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour des **lésions cutanées**. Mais ce nouveau NOAEL, plus solide, n'a pas été pris en compte dans la construction de la VTR.

- **OEHHA, 2008 : $3,5.10^{-3} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude chez l'enfant associant l'exposition à l'arsenic à une **diminution des fonctions intellectuelles et à des effets délétères sur le développement neurocomportemental** (Wasserman *et al.*, 2004 ; Tsai *et al.*, 2003). Un LOAEL $2,27 \mu\text{g.L}^{-1}$ a été établi sur une population de 201 enfants de 10 ans exposés en continu pendant 9,5 à 10,5 ans à de l'eau de boisson chargée en arsenic. Il a été utilisé un poids moyen de 21,9 kg et considéré une absorption de 100 %. Un facteur d'incertitude de 30 a été appliqué (3 pour l'utilisation d'un LOAEL au lieu d'un NOAEL et 10 pour la variabilité humaine).

- **EFSA, 2009 : entre 0.3 et 8 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$**

En 2009, l'EFSA a remis en cause la dose hebdomadaire tolérable d'exposition de 15 $\mu\text{g/kg}$ proposée par l'OMS (JECFA) dans la mesure où cette VTR se base sur une concentrations dans l'eau potable de 100 $\mu\text{g/L}$, or, des études plus récentes ont montré qu'à des niveaux d'exposition plus faibles, des effets sanitaires n'étaient pas exclus. En raison de l'incertitude relative au mode d'action de l'arsenic sur l'organisme (et bien que cette substance soit *a priori* indirectement génotoxique), le groupe de travail de l'EFSA ne considère pas pertinent de proposer une dose journalière d'exposition acceptable, en dessous de laquelle aucun effet sanitaire n'est attendu. Par ailleurs, l'agence précise qu'il n'existe pas de données permettant la prise en compte d'un grand nombre de composés de l'arsenic. L'EFSA propose toutefois un intervalle de confiance à 95% de la BMDL₀₁ (BMDL associée à une augmentation de 1% du risque) entre 0,3 et 8 $\mu\text{g/kg pc/j}$ pour l'arsenic inorganique. Cet intervalle de BMDL₀₁ est associé à des **lésions de la peau, des cancers de la peau, de la vessie et du poulmon**. Enfin, l'EFSA indique que les doses journalières d'exposition observées en Europe se situent dans l'intervalle de BMDL₀₁ proposé, aussi, le risque pour certaines populations n'est pas exclu.

- **Expertise Ineris, 2010 : 0,45 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (FoBig, 2009) (arsenic inorganique)**

Les chercheurs du FoBiG ont dérivés leur TDI à partir d'une étude de transversale de plus de 10 000 personnes, dans laquelle les différences de **lésions cutanées** observées, en fonction du sexe et du statut nutritionnel, ont été prises en compte dans l'élaboration de la relation dose/réponse. Une BMDL₀₅ a de plus été calculée et prise comme point de départ à l'élaboration de la VTR. Cette VTR est donc la plus solide et la plus robuste de toutes les VTR disponibles. L'INERIS préconise donc de retenir cette VTR dans le cas d'une exposition chronique par voie orale.

- **Expertise Anses, 2016 : aucune VTR (arsenic organique)**

Dans le cadre de l'étude de l'Alimentation Totale Infantile (EATi) parue en 2016, l'Anses considère qu'il n'existe pas de données suffisantes permettant d'estimer une VTR associée à l'exposition d'arsenic organique par voie orale.

4.3.2. Effets cancérigènes

- **Santé Canada, 1992 : 18 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$**

Cette valeur est une dose tolérable à 5 % (DT_{0,05}) fixée à partir du rapport de synthèse réalisé par l'US-EPA en 1988, se basant sur les études de Tseng (1977), Tseng et al., (1968), ayant fourni les valeurs pour l'établissement d'une relation dose effet. L'effet critique retenu est le **cancer cutané**. Les teneurs en arsenic dans l'eau susceptibles d'induire une augmentation de l'incidence des cancers cutanés de 5 %, ont été estimées à 906 et 844 $\mu\text{g.L}^{-1}$ pour les hommes et les femmes respectivement. En prenant une concentration de 840 $\mu\text{g.L}^{-1}$, la dose ingérée correspondante est de 18 $\mu\text{g.kg}^{-1}.$

- **EPA, 1998 : 1,5.10⁻³ ($\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$)⁻¹**

Cette valeur se base sur des études épidémiologiques dans des populations exposées à l'arsenic dans l'eau de boisson et chez lesquelles il a été observé une augmentation de la prévalence des **cancers cutanés** (Tseng et al., 1968 ; Tseng, 1977). D'autres cancers (foie, reins, vessie) ont vu augmenter leur mortalité.

- **OEHHA, 2009 : 1,5.10⁻³ ($\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$)⁻¹**

Cette valeur est similaire à l'ERU proposé par l'US-EPA en 1998.

- **Expertise Ineris, 2010 : 1,5.10⁻³ ($\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$)⁻¹ (OEHHA, 2009/US-EPA, 1998)**

L'OEHHA et l'US EPA proposent le même ERUo de 1,5 ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$)⁻¹. La valeur établie par Santé Canada présente des contradictions entre le texte explicatif et le tableau de valeurs utilisé. Ainsi, Santé Canada précise que le potentiel cancérigène de l'arsenic est 10 fois supérieur chez l'homme par rapport à la femme, mais que l'impact de l'âge sur ce potentiel est plus grand chez la femme. Ainsi, les TD_{0,05} sont similaires chez la femme et chez l'homme car les deux éléments se compenseraient. Mais, lorsque l'on regarde le tableau des valeurs, il apparaît que la femme est plus sensible que l'homme. L'INERIS préconise donc de retenir les valeurs de l'OEHHA et de l'US EPA, même si la consommation d'eau journalière chez la population taïwanaise prise en compte n'est pas la même pour l'élaboration de la VTR pour les effets à seuil et pour les effets sans seuil.

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Arsenic Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note d'information de la DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	-	-	-	-	-	-	Expertise Ineris, 2010
	8h	-	-	-	-	-	-	Expertise Ineris, 2010
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	0,015 $\mu\text{g.m}^{-3}$	-	H	Effets sur le développement neurocomportemental	LOAEL = 0,23 $\mu\text{g/m}^{-3}$	30	Expertise Ineris, 2010 (OEHHA, 2008)
	Chronique – effets cancérogènes	1,5 10^{-4} ($\mu\text{g.m}^{-3}$) ⁻¹	-	H	Cancer pulmonaire	-	-	Expertise Anses, 2015 (TCEQ, 2012)
Digestive	Aiguë	5 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	1-14 j	H	Effets gastro-intestinaux et œdème de la face	LOAEL = 0,05 $\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	10	ATSDR, 2007
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	0,45 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	-	H	Effets cutanés	-	5	Expertise Ineris, 2010 (FoBig, 2009)
	Chronique – effets cancérogènes	1,5.10 ⁻³ ($\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$) ⁻¹	-	H	Cancer cutané	-	-	Expertise Ineris, 2010 (EPA, 1998)

6. Valeurs d'exposition professionnelles

VME = 0,2 mg.m⁻³ pour le trioxyde de diarsenic (INRS, 2008)

7. Bibliographie

ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), 2000, Programme pilote 1999/2000 à partir des réseaux de surveillance de la qualité de l'air EMD, AIR NORMAND, AIRPPARIF/LCPC, ASPA, AIRMARAIX, AIRFOBEP.

Anses, Pollution chimique de l'air des enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs, Rapport d'expertise collective, 2015, 382 p. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2011sa0265Ra.pdf> (consulté en mai 2018)

Anses, Etude de l'Alimentation Totale Infantile - Evaluation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à certaines substances présentes dans l'alimentation, Tomes 1 & 2, 2016. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/content/etude-de-l%E2%80%99alimentation-totale-infantile> (consulté en mai 2018)

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2007, Toxicological Profile for Arsenic, <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp2.pdf> (consulté le 29/08/13)

EFSA (Autorité européenne de sécurité des aliments)
<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/1351.pdf> (consulté le 29/08/13)

EPA (Environmental Protection Agency), 1995, Arsenic, inorganic (CASRN 7440-38-2), <http://www.epa.gov/iris/subst/0278.htm#carc> (consulté en février 2011).

Santé Canada, 1993, L'arsenic et ses composés, Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Liste des substances d'intérêt prioritaire. Rapport d'évaluation, 68 p.

Ineris (Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels), 2007, Point sur les valeurs toxicologiques de référence (VTR) – juin 2007, N°DRC-07-86177-08805B, 43 p.

Ineris (Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels), 2010, Arsenic et ses dérivés inorganiques, Fiche de données toxicologiques et environnementales, Ineris-DRC 09-103112-11453A, version N°4-avril 2010, 124 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 2006, Fiche toxicologique N°192, Arsenic et composés minéraux, 6 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), juin 2008, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 23 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire). Valeurs toxicologiques de référence : méthodes d'élaboration. N. Bonvallot, F. Dor, 2002, 84p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

IPCS-Inchem (International Program on Chemical Safety), 1981, Environmental Health Criteria 18 Arsenic, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc018.htm#SubSectionNumber:5.1.1> (consulté le 29/08/13)

JOCE, 1998, Commission directive 98/98/EC, 25ATP, Council Directive 67/548/EEC.

JOCE, 2008, regulations (EC) n°1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute, 8-hour and Chronic Reference Exposure Levels (chRELs) as on December 18, 2008, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD1_final.pdf#page=68 (consulté le 29/08/13)

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Air toxics hot spots risk assessment guideline. Chemical-specific summaries of the information used to derive unit risk and cancer potency values, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2009/AppendixB.pdf (consulté le 29/08/13)

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2000, Arsenic, Air Quality Guidelines for Europe - 2nd édition, 14 p.
http://www.euro.who.int/document/aig/6_1_arsenic.pdf (consulté le 29/08/13)

RIVM (Rijksinstituut Voor Volksgezondheid), 2001, Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels.

Santé Canada, Aliments et nutrition. <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/envIRON/arsenic-fra.php>

Benzène (N° CAS 71-43-2) – REV 03/2021

I. Généralités

I.1. Identification

Le benzène est, à température et pression ambiante, un liquide incolore, à odeur aromatique. Il est extrêmement inflammable (INRS, 2004).

I.2. Utilisation

Le benzène est principalement utilisé pour produire de l'éthylbenzène servant à la synthèse du styrène destiné à la fabrication de matières plastiques et d'élastomères. Comme sous-produits du pétrole, il entre également dans la composition de l'essence pour automobile (caractéristiques antidétonantes dans l'essence sans plomb) (Ineris, 2006).

I.3. Sources d'exposition

Le benzène peut être d'origine naturelle (feux de forêt, activité volcanique) ou anthropique (gaz d'échappement, émanations lors du remplissage d'un réservoir automobile). La fabrication d'éthylbenzène, de cumène ou de cyclohexane peut amener à libérer du benzène dans l'atmosphère. La fumée de cigarette en contient (Ineris, 2006).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'air, le benzène existe principalement sous forme gazeuse. Il est dégradé par les radicaux hydroxyls formés par réactions photochimiques.

Dans l'eau, le benzène est volatil. Il est également soluble et donc le benzène atmosphérique se redépose au sol par les précipitations.

Dans les sols, le benzène est mobile du fait de sa volatilité et de sa solubilité qui l'entraîne vers les eaux. La littérature rapporte donc peu de concentrations en benzène dans les sols.

Dans les végétaux le benzène proviendrait à la fois du sol (cresson, orge) et du transfert air-feuille.

Il n'y a pas d'accumulation et de bioamplification dans la chaîne alimentaire du benzène chez les organismes aquatiques ou terrestres.

Concentrations environnementales en benzène			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	zone rurale éloignée : 0,5 µg.m ⁻³	concentrations médianes américaines de 1975 à 1985 sur 300 sites répartis dans 42 villes	OMS, ATSDR, 2005
	zone rurale : 1,5 µg.m ⁻³		
	zone urbaine = zone suburbaine = intérieur : 5,8 µg.m ⁻³		
	zones rurales < 1,2 µg.m ⁻³ zones urbaines : 4,4 µg.m ⁻³		
Eau	eaux de surfaces < 1 µg.L ⁻¹	-	OMS, 1993
	eaux de surfaces < 1 µg.L ⁻¹	échantillons canadiens	Santé Canada, 1993
	eaux non traitées < 2 µg.L ⁻¹		

I.5. Facteurs de conversion

1 ppm = 3,24 mg.m⁻³ (OEHHA, 1999)

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

Le benzène pénètre dans l'organisme principalement par le tractus respiratoire. 50 % de la quantité inhalée est absorbée. Il se distribue largement dans l'organisme avec des concentrations préférentielles dans la moelle et les graisses. La métabolisation du benzène est hépatique et médullaire. Il est éliminé dans l'air expiré (10 à 50 %) et dans les urines (1 %).

Il n'est pas connu de pénétration par voie digestive chez l'Homme. D'après les études chez l'animal, l'absorption digestive serait complète.

L'exposition par absorption cutanée est secondaire (Ineris, 2006).

2.2. Toxicité aiguë

Par inhalation, l'exposition aiguë au benzène agit sur le système nerveux central. A faible dose, les manifestations sont une excitation, des troubles de la parole, des céphalées, des vertiges, des insomnies, des nausées, des paresthésies dans les mains et les pieds et de la fatigue. A de fortes doses, les manifestations sont une excitation puis une narcose (Ineris, 2006).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

Le benzène est hémotoxique (anémie, thrombopénie, lymphopénie, leucocytopénie, leucémie...) pour des expositions supérieures à 10 mg.m⁻³ et immunotoxique.

2.3.2. Effets cancérigènes

Plus de 25 études ont rapporté une augmentation des taux de cancers suite à des expositions professionnelles au benzène. Il s'agit de leucémies (en particulier la leucémie aiguë myéloïde). D'autres affections du tissu hématopoïétique, tel que les lymphomes malins non hodgkiniens sont également associés significativement avec l'exposition au benzène.

Classements cancérigène du benzène	
Classement	Organisme
I	JOCE (2004) ¹
IA	JOCE (2008) ²
I	CIRC (1987)
A	EPA (1998)
cancérogène pour l'Homme	Santé Canada (1991)

¹Annexe I de la directive 67/548/CE

²Annexe VI du règlement CLP n°1278/2008

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne a classé le benzène comme mutagène de catégorie 2 (JOCE, 2004) ou mutagène pour les cellules germinales de catégorie 1B selon le règlement CLP (JOCE, 2008).

La génotoxicité du benzène a été étudiée de nombreuses fois. Le benzène n'induit pas de mutation génique sur les études *in vitro* mais plusieurs études *in vivo*, animales et humaines, ont mis en évidence des aberrations chromosomiques et des échanges de chromatides sœurs. Les données *in vivo* indiquent donc que le benzène est mutagène pour l'homme.

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas classé le benzène comme reprotoxique (JOCE, 2004 ; JOCE, 2008).

Le benzène passe la barrière placentaire et est retrouvé dans la moelle osseuse du fœtus. Les études sont contradictoires sur la possibilité que le benzène ait un effet sur la reproduction et le développement. Il n'a pas pu être établi de lien causal (Ineris, 2006).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

- **ATSDR, 2007 : 29 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1-14 jours**

Cette VTR est basée sur un LOAEL de 33 mg.m^{-3} pour des **effets immunologiques** chez des souris mâles C57BL/6J exposées à des concentrations de 0, 10, 2, 31, 100, 301 ppm de benzène, 6 heures par jours pendant 6 jours (Rozen et al., 1984). Le LOAEL a ensuite été ajusté à une exposition continue pour l'Homme à 8,3 mg.m^{-3} . Il y est appliqué un facteur d'incertitude de 300 (10 pour l'utilisation d'un LOAEL, 3 pour l'extrapolation de l'animal à l'Homme et 10 pour tenir compte des sensibilités individuelles).

- **Expertise Anses, 2008 : 30 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur 14 jours (ATSDR, 2007)**

En l'absence de valeur guide de l'air intérieur de l'OMS, l'Anses a expertisé les VTR existantes. Elle a retenu comme VGAI la VTR de l'ATSDR pour des **effets hématologiques** non cancérogènes prenant en compte des effets cumulatifs du benzène. Cette valeur est définie comme une valeur-guide de la qualité de l'air (VGAI) par l'Anses mais pas comme une analyse des VTR existante pour cette substance et cette durée d'exposition.

- **OEHHA, 2014 : 27 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1 heure**

Cette VTR est basée sur un LOAEL de 16 mg.m^{-3} pour **des effets toxiques sur les fœtus (baisse du nombre de cellules rouge)** chez des souris en gestation exposées 6 heures par jours pendant 10 jours (6^{ème} au 15^{ème} jour de gestation) à des concentrations de 0, 5, 10 ou 20 ppm de benzène (Keller and Snyder, 1988). Un facteur d'incertitude de 600 a été appliqué à ce LOAEL (3 pour l'utilisation d'un LOAEL, 6 pour la variabilité inter-espèce et 30 pour la variabilité intra-espèce).

3.2. VTR sur 8 heures

- **OEHHA, 2014 : 3 $\mu\text{g.m}^{-3}$**

Cette VTR a été établie à partir des résultats d'une étude chez une cohorte de 250 travailleurs d'une manufacture de chaussures exposés au benzène 8 heures par jour, 6 jours par semaine pendant une durée moyenne de 6,1 ans (Lan et al., 2004). Cette VTR est basée sur une BMCL0,5 de 0,476 ppm pour des effets hématologiques (sanguins) (diminution du nombre de globules rouges). Après ajustement de la durée d'exposition ($0,476 \times 10/20 \times 6/7$), la concentration équivalente humaine est de 0,204 ppm (660 $\mu\text{g.m}^{-3}$). Un facteur de sécurité de 200 est appliqué (3 pour une durée d'exposition sub-chronique et 60 pour la variabilité intra-espèce). La VTR sur 8h est la même que la VTR chronique.

3.3. VTR intermédiaire

- **ATSDR, 2007 : 0,006 ppm (19,4 $\mu\text{g.m}^{-3}$) / 15 – 365 jours**

La VTR est basée sur l'étude de Rosenthal and Snyder (1987) qui ont exposé des souris mâle type C57B1/6 à 10, 30 ou 100 ppm de benzène, 6 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 20 jours. Un LOAEL de 10 ppm est établi pour une **réaction lymphocytaire retardée**. Le LOAEL est ajusté pour une exposition continue (6h/24h et 5j/7j). Un LOAEL équivalent humain de 1,8 ppm est calculé auquel est appliqué un facteur d'incertitude de 300 (10 pour l'utilisation d'un LOAEL, 3 pour l'extrapolation de l'animal à l'homme et 10 pour la variabilité humaine).

- **Expertise Anses, 2008 : 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur un an (ATSDR, 2007)**

En l'absence de valeur guide de l'air intérieur de l'OMS, l'Anses a expertisé les VTR existantes. Elle a retenu comme VGAI la VTR de l'ATSDR pour des **effets hématologiques** non cancérogènes prenant en compte des effets cumulatifs du benzène.

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérogènes

- **EPA, 2003 : 30 $\mu\text{g.m}^{-3}$**

Pour une exposition chronique, l'EPA a établi en avril 2003 une concentration de référence de $30 \mu\text{g.m}^{-3}$ à partir de la valeur limite la plus faible à 95 % de la Benchmark concentration low (BMCL) de 23 mg.m^{-3} , ajustée à une exposition continue, soit $8,2 \text{ mg.m}^{-3}$. Cette BMCL modélise la **baisse du nombre de lymphocytes dans le sang** de 44 travailleurs chinois (Shangai) de plus de 44 ans exposés au benzène pendant au moins 6 mois par voie respiratoire et rapportée par l'étude de Rothman *et al.* (1996). Un facteur de sécurité de 300 a été appliqué (3 pour un facteur d'extrapolation à l'utilisation d'une BMD, 10 pour tenir compte des variations intra-espèces et protéger les populations sensibles, 3 pour l'extrapolation d'une exposition subchronique à une exposition chronique et 3 pour le manque de données).

▪ **ATSDR, 2007 : $9,72 \mu\text{g.m}^{-3}$**

L'ATSDR a proposé, en 2007, une CAA de 0,003 ppm en s'appuyant sur l'apparition d'une hématotoxicité chez des travailleurs chinois d'une manufacture de chaussures, exposés pendant environ 6 ans ($\pm 2,9$ ans) à de faibles niveaux de benzène, décrite dans l'étude (Lan *et al.*, 2004) : 250 travailleurs dont 2 tiers de femmes et 140 travailleurs témoins. Pour dériver sa VTR, l'ATSDR a utilisé une approche BMD (Benchmark dose) car l'étude princeps n'identifiait pas de NOAEL, mais un LOAEL. La BMD estimée était de 0,1 ppm ($0,324 \text{ mg.m}^{-3}$). L'effet critique défini est la **diminution du nombre de lymphocytes B**. Après ajustement à une exposition continue ($0,097 \text{ mg.m}^{-3} = 0,324 \times 2/24 \times 6/7$), et application d'un facteur d'incertitude de 10 (pour la variabilité humaine), l'ATSDR obtient une VTR de $9,7 \mu\text{g.m}^{-3}$ (0,003 ppm).

▪ **Expertise Anses, 2012 : $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ (Anses, 2008)**

L'expertise de l'Anses relative aux valeurs guide de qualité d'air intérieur avait retenu une VTR à seuil et un ERU. La VTR à seuil de $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ retenue par l'Anses a été proposée par l'ATSDR en se basant sur une étude humaine par inhalation avec pour effet critique une diminution des lymphocytes B. Cette valeur a été considérée comme pertinente par l'Anses dans son rapport d'expertise relatif à Sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières paru en 2012.

▪ **OEHHA, 2014 : $3 \mu\text{g.m}^{-3}$**

Cette VTR a été établie à partir des résultats d'une étude chez une cohorte de 250 travailleurs d'une manufacture de chaussures exposés au benzène 8 heures par jour, 6 jours par semaine pendant une durée moyenne de 6,1 ans (Lan *et al.*, 2004). Cette VTR est basée sur une $\text{BMCL}_{0,5}$ de 0,476 ppm pour des effets hématologiques (sanguins) (**diminution du nombre de globules rouges**). Après ajustement de la durée d'exposition ($0,476 \times 10/20 \times 6/7$), la concentration équivalente humaine est de 0,204 ppm ($660 \mu\text{g.m}^{-3}$). Un facteur de sécurité de 200 est appliqué (3 pour une durée d'exposition sub-chronique et 60 pour la variabilité intra-espèce).

3.4.2. Effets cancérogènes

▪ **Santé Canada, 1993 : 15 mg.m^{-3}**

Santé Canada a établi une concentration tumorigène CT_{05} de 15 mg.m^{-3} à partir de l'étude chez l'Homme (Rinsky *et al.*, 1987), pour le **risque de leucémies**.

▪ **EPA, 2000 : $2,2$ à $7,8 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$**

L'US-EPA propose en 2003 une VTR pour le **risque de leucémie** par la voie respiratoire allant de $2,2$ à $7,8 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$. Elle est dérivée d'une étude de cohorte professionnelle (travailleurs de Pliofilm, Rinsky *et al.* 1981, 1987) jugée plus valide que les nombreuses autres études épidémiologiques sur les effets cancérogènes du benzène en raison d'une grande spécificité de l'exposition (pas de co-exposition à d'autres cancérogènes). Elle présente aussi l'avantage d'inclure des niveaux d'exposition assez étendus. Le modèle d'extrapolation hautes doses / basses doses a été choisi après une étude ayant permis de tester 96 combinaisons de 4 facteurs les plus influents :

- le type de cancer considéré,
- l'utilisation d'un modèle additif ou multiplicatif,
- l'hypothèse d'une linéarité ou non de la relation dose réponse,
- Différentes méthodes d'estimation de l'exposition.

Finalement, l'étendue de la VTR de l'US-EPA est dictée par le modèle linéaire à partir des différentes méthodes d'estimation de l'exposition. Selon l'US-EPA la qualité scientifique de cette VTR actualisée en 1998 n'est pas différente de celle établie provisoirement en 1985 à $8,1 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$ (US-EPA, 2003).

▪ **OMS, 2000 : $4,4$ à $7,5 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$**

L'OMS s'appuie sur les mêmes études que l'US-EPA pour recommander une VTR de $4,4$ à $7,5 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$ correspondant au risque de **leucémie**. La différence entre les deux étendues de valeur vient d'un choix différent

concernant la méthode d'estimation des expositions. L'OMS précise que la moyenne géométrique de $6 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}$ peut être utilisée (OMS, 2000).

▪ **RIVM, 2001 : $5.10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$**

Le RIVM utilise une valeur limite de $20 \mu\text{g.m}^{-3}$ construite en 1999 par un groupe de travail européen qui correspond à un risque cancérogène de 10^{-4} (approche linéaire) vie entière. Cette concentration correspond à un excès de risque unitaire de $5.10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$. Les études ayant servi à la construction de cette VTR sont les mêmes que celles utilisées par l'US-EPA et par l'OMS (RIVM, 2001). Les effets considérés sont des **leucémies**.

▪ **OEHHA, 2009 : $2,9.10^{-5} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$**

L'OEHHA a fixé un ERU de $2,9.10^{-5} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$ à partir d'une étude chez des travailleurs exposés au benzène par inhalation et pour une incidence de cas de **leucémie** au sein de la cohorte étudiée (Rinsky *et al.* 1981). L'excès de risque a été calculé en utilisant des données chez l'animal et chez l'Homme pour l'estimation quantitative du risque (CDHS, 1984).

▪ **Anses, 2014 : $2,6 10^{-5} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$**

L'Anses a élaboré une VTR sans seuil de dose à partir de la ré-analyse des données de la cohorte de travailleurs « Pliofilm » (Richardson, 2008). Ces travailleurs (n=748) ont été exposés au benzène de 1940 à 1949 et suivi jusqu'en 1981. La cohorte « Pliofilm » de l'Ohio constitue une base de données valable pour l'évaluation du risque de cancer chez l'Homme découlant d'une exposition au benzène. En effet, cette cohorte est celle qui a été la moins exposée en milieu de travail à d'autres substances potentiellement cancérogènes qui pourraient influencer sur l'analyse du risque associé au benzène. De plus, les travailleurs de « Pliofilm » ont été exposés à un plus grand éventail de concentrations estimées de benzène que les travailleurs impliqués dans d'autres études de cohortes. Les études épidémiologiques fournissent des preuves significatives d'une association causale entre l'exposition au benzène et certaines leucémies (leucémie myéloblastique aigüe, leucémie aiguë lymphoblastique et leucémie myéloïde chronique). L'Anses retient donc comme effet critique l'augmentation de **l'incidence des leucémies**. La VTR cancérogène du benzène correspond à l'excès de risque unitaire (ERU) qui est égal au risque relatif moins 1 divisé par le niveau d'exposition et le facteur de conversion (1 ppm de benzène en exposition professionnelle est égale à $1,096 \text{ mg.m}^{-3}$ de benzène en exposition continue). Ainsi pour une exposition cumulée de 10 ppm-années au benzène, dans les 10 ans suivant la fin de l'exposition, l'excès de risque (RR) était de 1,19 avec un intervalle de confiance à 95% compris entre 1,10 et 1,29.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4.2. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérogènes

▪ **EPA, 2003 : $4 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$**

En avril 2003, l'US-EPA a aussi établi une RfD de $4 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour une **diminution du nombre de lymphocytes** à partir des résultats de l'étude de Rothman *et al* (1996). Cette VTR est basée sur la BMCL ajustée pour la voie orale soit une Benchmark dose (BMD) de $1,2 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$. Cette BMD a été appliquée d'un facteur de 300 (3 pour un facteur d'extrapolation à l'utilisation d'une BMD, 10 pour tenir compte des variations intra-espèces et protéger les populations sensibles, 3 pour l'extrapolation d'une exposition subchronique à une exposition chronique et 3 pour le manque de données).

▪ **ATSDR, 2007 : $0,5 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$**

Depuis 2007, l'ATSDR propose une VTR de $0,5 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour des expositions orales chroniques au benzène. Cette valeur s'appuie sur une extrapolation voie-à-voie réalisée à partir des résultats de l'étude (Lan *et al.*, 2004) sur l'hématotoxicité chez des travailleurs exposés à de faibles niveaux de benzène. Une analyse Benchmark dose (avec comme point critique, le **nombre de cellules B**) avait été réalisée sur cette étude épidémiologique portant sur 250 travailleurs (dont environ 2/3 de femmes) exposés au benzène dans deux fabriques de chaussures de Tianjin (Chine), et qui ont été comparés à un groupe témoins de 140 individus travaillant dans une fabrique de vêtements n'utilisant pas de benzène. L'extrapolation voie-à-voie a été réalisée à partir de la Benchmark concentration de 96

$\mu\text{g.m}^{-3}$, en considérant le poids moyen d'un adulte de 70 kg, un taux d'inhalation de $20 \text{ m}^3/\text{jour}$ et un facteur de 0,5 pour tenir compte des différences de taux d'absorption du benzène par inhalation et par ingestion (respectivement de 50% contre 100%). Ceci conduit à une Benchmark dose de $14 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ($= 96 \mu\text{g.m}^{-3} \times 20 \text{ m}^3/\text{jour} \times 0,5 / 70 \text{ kg}$). Un facteur d'incertitude de 30 a ensuite été appliqué (3 pour l'extrapolation voie-à-voie et 10 pour la variabilité existant au sein de la population humaine).

4.3.2. Effets cancérigènes

- **EPA, 2000 : $1,5.10^{-5}$ et $5,5.10^{-5} (\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$**

Le risque lié à l'ingestion d'eau n'a pas été évalué mais, sur la base des études épidémiologiques en milieu du travail (Rinsky et al., 1981, 1987; Paustenbach et al., 1993; Crump 1994; U.S. EPA, 1998; U.S. EPA, 1999), l'EPA a récemment proposé un ERU pour l'exposition orale par l'eau d'alimentation comprise entre $4,4.10^{-4}$ et $1,6.10^{-3} (\text{mg/L})^{-1}$ ou entre $1,5.10^{-2}$ et $5,5.10^{-2} (\text{mg/kg.j})^{-1}$. Celui-ci est établi par extrapolation des résultats pour la voie respiratoire pour un homme de 70 kg, un débit respiratoire de $20 \text{ m}^3/\text{j}$, un taux d'absorption par inhalation estimé à 50% de celui par voie orale. En utilisant ces valeurs, une concentration de $1 \mu\text{g.m}^{-3}$ est extrapolée à une dose de $0,143 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ($= 1 \mu\text{g.m}^{-3} \times 20 \text{ m}^3/\text{j} \times 50\% / 70 \text{ kg}$). En divisant les valeurs de $2,2.10^{-6}$ et $7,8.10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$ par 0,143, on obtient les valeurs proposées pour le développement des **leucémies** par voie orale. Cette valeur ne peut pas être utilisée pour des concentrations en benzène dans l'eau supérieures à $10\,000 \mu\text{g/L}$.

- **RIVM, 2001 : $3,3.10^{-5} (\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$ (provisoire)**

Cette VTR est établie par dérivation de la VTR sans seuil pour la voie respiratoire (en utilisant une absorption par voie respiratoire de 50 % et une absorption par voie orale de 100 %). Les effets considérés sont des **leucémies**.

- **OEHHA, 2005 : $1,0.10^{-1} (\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$**

L'OEHHA a dérivé la VTR digestive sans seuil à partir de l'étude clé ayant servi à dériver la VTR respiratoire sans seuil. Cette VTR a été établie à partir d'études épidémiologiques chez des travailleurs exposés au benzène par inhalation et pour une incidence de cas de **leucémie** au sein de la cohorte étudiée (Rinsky et al. 1981). L'excès de risque a été calculé en utilisant des données animales et humaines pour l'estimation quantitative du risque (CDHS, 1984). L'effet associé à la VTR inhalation n'étant pas un effet local, la VTR digestive sans seuil de l'OEHHA peut être utilisée en ERS.

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°DGS/EAI/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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualite-A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Benzène								
Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	30 $\mu\text{g.m}^{-3}$	1-14j	A	Effets immunologiques	LOAEL = 33 mg.m^{-3}	300	Expertise Anses, 2012 (ATSDR, 2007)
	8h	3 $\mu\text{g.m}^{-3}$	8h	A	Effets hématologiques	BMCL = 1,5 mg.m^{-3}	200	OEHHA, 2014
	Intermédiaire	20 $\mu\text{g.m}^{-3}$	-	A	Effets immunologiques	LOAEL = 33 mg.m^{-3}	300	Expertise Anses, 2008 (ATSDR, 2007)
	Chronique – effets non cancérogènes	10 $\mu\text{g.m}^{-3}$	-	H	Effets hématologiques	BMD = 3,24 mg.m^{-3}	10	Anses, 2008
	Chronique – effets cancérogènes	2,6 10^{-5} ($\mu\text{g.m}^{-3}$) ⁻¹	-	H	Leucémie	-	-	Anses, 2014
Digestive	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	0,5 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	-	H	Baisse du nombre de lymphocytes	BMC = 14 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	30	ATSDR, 2007
	Chronique – effets cancérogènes	1,5 10^{-2} à 5,5 10^{-2} ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$) ⁻¹	-	H	Leucémie	-	-	EPA, 2000

6. Valeurs d'exposition professionnelles

VME = 5 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

VLCT = 10 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

7. Bibliographie

Anses, 2014. Valeur toxicologique de référence cancérigène par inhalation pour le benzène. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. 116 p.

Anses, 2012, Rapport d'expertise - Sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2010sa0283Ra.pdf> (consulté en juin 2018)

Afsset. Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur. Le benzène. Mai 2008. Avis de l'Afsset. Rapport d'expertise collective, 95p.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2007, Toxicological Profile for benzene, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp3.html> (consulté en mars 2011).

CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer), 2007, Évaluation globale de la cancérigénicité pour l'Homme, liste de tous les agents évalués à ce jour, <http://monographs.iarc.fr/FR/Classification/crthall.php> (dernière consultation le 27/01/2009).

http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/benzene_interim_dec_2008_v1.pdf (consulté en mars 2011).

EPA (Environmental Protection Agency), 2003, Benzen (CASRN 71-43-2), <http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0276.htm#carc> (consulté en mars 2011).

Santé Canada, 1993. Loi Canadienne sur la protection de l'environnement. Liste des substances d'intérêt prioritaire. Rapport d'évaluation. Benzène, 48 p.

Ineris (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques), 2006, Benzène, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, 74 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 2004, Benzène, Fiche toxicologique N°49, 8 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), juin 2008, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 23 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), 2002, Valeurs Toxicologiques de Référence : Méthodes d'élaboration, 84 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

IPCS-Inchem, 1993, Environmental Health Criteria 150 Benzene, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc150.htm> (dernière consultation 27/01/09).

JOCE, 2004, Commission directive 2004/73/EC, 29ATP, Council Directive 67/548/EEC.

JOCE, 2008, regulations (EC) n°1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999) http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD2_final.pdf#page=18 (consulté en décembre 2014).

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Chronic Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999) http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=24 (consulté en décembre 2014)

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Air toxics hot spots risk assessment guideline. Chemical-specific summaries of the information used to derive unit risk and cancer potency values, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2009/AppendixB.pdf (consulté en décembre 2014)

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Proposed Reference Exposure Levels (RELs) for benzene, http://www.oehha.ca.gov/air/chronic_rels/012214SRPRev_RELS.html

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2000, Air quality Guidelines for Europe, second edition, WHO Regional Publications, European Series, No. 91, 288 p.

RIVM (Rijksinstituut Voor Volksgezondheid), 2001, Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels.

Chlorure d'hydrogène (N° CAS 7647-01-0) – REV 12/2014

I. Généralités

I.1. Identification

Le chlorure d'hydrogène est un gaz incolore, d'odeur âcre et irritante, facilement liquéfiable (INRS, 2010). Sa solution aqueuse (appelée acide chlorhydrique) possède une forte acidité et réagit avec la plupart des métaux, produisant un gaz d'hydrogène explosif (SIDS, 2002).

I.2. Utilisation

Le chlorure d'hydrogène (HCl) et l'acide chlorhydrique sont utilisés dans diverses industries (pharmaceutique, alimentaire, chimique, électronique, métallurgique...). HCl est un produit de base pour la fabrication de chlorures d'alkyles, de chlorure de vinyle... (INRS, 2010). L'acide chlorhydrique est l'un des produits chimiques industriels les plus utilisés, notamment pour le décapage et le nettoyage des métaux, dans la production de nombreux produits chimiques, dans le nettoyage d'équipements industriels... (IARC, 1992).

I.3. Sources d'exposition

Dans la nature, HCl se forme à partir d'atomes d'hydrogène et de chlore (fréquemment retrouvés dans l'environnement) à la surface des océans (à travers une réaction entre du sel de mer sous forme d'aérosol et du sulfate acide), lors d'éruptions volcaniques...

Les principales sources anthropiques d'émission de HCl sont les incinérateurs de déchets et les usines chimiques. Du HCl peut également être libéré lors de l'utilisation de produits de consommation (par exemple des produits d'entretien) contenant de l'acide chlorhydrique (SIDS, 2002).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Les propriétés physico-chimiques du HCl indiquent qu'il est présent dans l'environnement sous forme aqueuse et gazeuse. Dans l'air, HCl peut exister sous forme gazeuse dans des conditions normales de température et de pression. Dans l'eau, HCl est très soluble et se dissout totalement en protons et ions chlorure pour former de l'acide chlorhydrique.

En raison de sa solubilité élevée et de ses propriétés de dissociation, on ne s'attend pas à ce que HCl s'accumule dans les organismes vivants. (SIDS, 2002).

Concentrations environnementales en chlorure d'hydrogène			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	-	-	-
Eau	41,1 mg/L (1,1 ; 64,8)	Concentration moyenne de chlorure (10 ^{ème} ; 90 ^{ème} percentiles) de 77 fleuves répartis sur les 5 continents ¹	UNEP ² , 1995
Aliment	-	-	-

I.5. Facteurs de conversion

1,49 mg.m⁻³ = 1 ppm (OEHA, 2008)

¹ La concentration de chlorure mesurée n'est pas uniquement due aux rejets de HCl dans l'environnement mais aussi à des paramètres géologiques et à la présence naturelle de chlorure.

² UNEP : United Nations Environment Programme.

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

Chez les espèces animales comme chez l'homme, après inhalation ou ingestion de HCl, celui-ci se dissocie rapidement en ions H^+ et Cl^- . Ces derniers entrent ensuite dans le pool corporel et l'excédent est éliminé dans l'urine. Après ingestion, les effets locaux sont surtout dus à l'ion H^+ (déport local de protons, modification du pH). (INRS, 2010).

2.2. Toxicité aiguë

L'exposition par inhalation au HCl gazeux ou à des aérosols de solutions aqueuses provoque immédiatement des signes d'irritation des voies respiratoires. Dans une étude réalisée chez des ouvriers effectuant du décapage d'acier, les auteurs ont observé une absence d'effet irritatif à des concentrations de 3 à 4,5 $mg.m^{-3}$, un début d'irritation rapidement régressive à 5,2 $mg.m^{-3}$ et une irritation faible des voies aériennes pour des expositions de l'ordre de 7 à 11 $mg.m^{-3}$. A l'arrêt de l'exposition, la symptomatologie (rhinorrhée, éternuements, toux, dyspnée, douleur thoracique...) régresse le plus souvent, mais un œdème pulmonaire lésionnel peut survenir de façon retardée jusqu'à 48 h après l'exposition (INRS, 2010).

La contamination cutanée ou oculaire entraîne localement des brûlures chimiques dont la gravité est fonction de la concentration de la solution, de l'importance de la contamination et de la durée du contact. Selon la profondeur de l'atteinte cutanée, on peut observer un érythème chaud et douloureux, la présence de phytènes ou une nécrose. L'évolution peut se compliquer de surinfection, de séquelles esthétiques ou fonctionnelles (INRS, 2010).

L'ingestion d'une solution concentrée d'acide chlorhydrique est suivie de douleurs buccales, rétrosternales et épigastriques associées à une hypersialorrhée et des vomissements fréquemment sanglants. A court-terme, des complications peuvent survenir (perforation œsophagienne, hémorragie digestive, détresse respiratoire...). A long-terme, l'évolution est dominée par le risque de contusion de sténoses digestives, en particulier œsophagiennes ; il existe également un risque de cancérisation des lésions cicatricielles du tractus digestif (INRS, 2010). En pratique, dans une affaire de suicide il a été rapporté qu'une femme était décédée 29 heures après avoir ingéré 60 mL d'acide chlorhydrique 35%. Dans une autre étude, sur 3 cas d'ingestion d'acide chlorhydrique (volume et concentration inconnus) admis dans un hôpital indien, des cicatrices gastriques ont été observées (SIDS, 2002).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

L'exposition répétée par inhalation au HCl gazeux ou à des aérosols de solutions aqueuses peut entraîner des effets irritatifs comme des dermatites d'irritation et conjonctivites, des ulcérations de la muqueuse nasale et orale, des bronchites chroniques ou encore des érosions dentaires. Ces dernières ont été observées chez 34 des 38 ouvriers décapeurs dans une usine de galvanisation, exposés à de l'acide chlorhydrique à une concentration supérieure à 5 ppm pendant plus d'un quart de leur temps de travail (INRS, 2010).

Aucune étude chez l'homme ou chez l'animal n'a été retrouvée pour observer l'effet d'une exposition par voie cutanée (SIDS, 2002).

Concernant l'exposition orale, une étude chez le rat a montré qu'une exposition à plus de 937 mmol/kg de nourriture induisait une baisse de poids, de prise de nourriture, du pH sanguin, de la longueur du fémur et du taux de cendres dans les os. Dans une autre étude où de l'acide chlorhydrique était administré via l'eau de boisson (pH 2-3), une baisse du volume urinaire et du taux de protéines urinaires a été observée chez des rats exposés pendant 21 semaines (INRS, 2010 ; SIDS, 2002).

2.3.2. Effets cancérogènes

Chez l'animal, des études ont montré que l'exposition au HCl n'induisait pas d'effets cancérogènes (INRS, 2010).

Chez l'homme, tout d'abord, les auteurs de quelques études cas-témoin ont conclu qu'aucune association n'avait été trouvée entre l'exposition au HCl et certains cas de cancers (préleucémie, cancer du poumon, tumeurs intracrâniennes et cancer du rein). Ensuite, bien que d'autres études aient mis en évidence une augmentation du risque de cancer respiratoire ou pulmonaire due à une exposition au HCl, aucune conclusion n'a pu être tirée car l'effet de l'exposition à d'autres acides ou au tabac ne pouvait être exclue (SIDS, 2002). Finalement, dans une monographie, le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) a conclu qu'il y avait une preuve insuffisante de la cancérogénicité du HCl, chez l'homme et chez les animaux de laboratoire, et l'a classé dans le groupe 3 « L'agent est *inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme* » (IARC, 1992).

Classement cancérogène du chlorure d'hydrogène	
Classement	Organisme
3	CIRC (1992)

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas classé le chlorure d'hydrogène comme mutagène (JOCE, 1993 ; JOCE 2008).

In vitro, les tests bactériens (test d'Ames, recombinaison mitotique, mutation reverse) ont donné des résultats négatifs. Les tests non bactériens ont donné des résultats positifs à forte dose (test des aberrations chromosomiques utilisant des cellules ovariennes de hamster chinois, pH 5,3 - 5,5 ; test de mutation génique à des doses cytotoxiques, pH inférieur à 6,3, utilisant des cellules de lymphome de souris). Les résultats positifs ont été considérés comme des artefacts dus à un faible pH.

In vivo, des résultats positifs ont été obtenus dans un test de létalité récessive liée au sexe chez la drosophile par inhalation de vapeurs ou en nourrissant des larves avec la solution aqueuse. Toutefois, jusqu'à maintenant, aucune étude de mutagénicité n'a été menée chez des mammifères (INRS, 2010 ; SIDS, 2002).

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas classé le chlorure d'hydrogène comme reprotoxique (JOCE, 1993 ; JOCE, 2008).

Il n'y a pas de données humaines permettant d'évaluer les effets de l'exposition au HCl sur la reproduction (fertilité, développement). De tels effets ne semblent pas plausibles dans les conditions d'exposition professionnelle (INRS, 2010).

Chez l'animal, aucune étude fiable n'a été identifiée en ce qui concerne la reprotoxicité du HCl après une exposition orale, cutanée ou par inhalation. Toutefois, bien qu'elle ne soit pas appropriée pour l'évaluation, une étude a montré que HCl avait des effets sur la reproduction à des concentrations toxiques. En effet, des rates, exposées au chlorure d'hydrogène (450 mg.m⁻³ pendant 1 heure) soit 12 jours avant l'accouplement, soit au 9^{ème} jour de gestation, présentaient des signes de dyspnée sévère et de cyanose. L'exposition était létale pour un tiers des rates exposées (SIDS, 2002 ; OEHA, 2008 ; INRS, 2010).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

▪ OEHA, 2008 : 1,4 ppm (2,1 mg.m⁻³) / 1 heure

La VTR est établie à partir de l'étude de Stevens *et al.* (1992), dans laquelle des jeunes adultes asthmatiques (5 hommes et 5 femmes âgés de 18 à 25 ans) ont été exposés, pendant 45 minutes et à 3 reprises grâce à un demi-masque, à de l'air filtré contenant 0,8 ppm de HCl et 1,8 ppm de HCl. Le protocole d'exposition comportait 2 périodes d'exercice de 15 minutes séparées par une période de repos de 15 minutes. Des mesures de la fonction pulmonaire avant et après l'exposition ont été réalisées.

Aucun effet significatif n'a été observé sur la fonction pulmonaire ou le travail de la respiration nasale. Un NOAEL de 1,8 ppm (2,7 mg.m⁻³) a été estimé pour des **symptômes du système respiratoire supérieur (maux de gorge et écoulement nasal)**. Aucun facteur d'incertitude n'a été appliqué pour tenir compte de la variabilité inter-espèce puisque c'était une étude humaine, ni pour tenir compte des sous-populations sensibles puisque l'étude portait sur des personnes sensibles. L'étude portant sur une durée d'exposition de 45 minutes, un ajustement a été calculé (1,8ppm*0,75h=C*1h).

3.2. VTR sur 8 heures

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérigènes

▪ EPA, 1995 : 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (20 $\mu\text{g.m}^{-3}$)

La VTR est établie à partir de l'étude de Sellakumar *et al.* (1985), qui a étudié l'exposition de rats à 10 ppm de HCl 6 heures par jour, 5 jours par semaine sur toute leur durée de vie. L'incidence de l'hyperplasie de la muqueuse nasale (62/99 vs 51/99), du larynx (22/99 vs 2/99) et de la trachée (26/99 vs 2/99) était plus élevée chez les rats exposés que chez les non-exposés. La VTR est basée sur des effets extra-thoraciques car il est prévu que les êtres humains soient plus sensibles aux effets du HCl à cet endroit.

Un LOAEL de 10 ppm (15 mg.m^{-3}) a été estimé pour une **hyperplasie de la muqueuse nasale, du larynx et de la trachée**, correspondant à une concentration équivalente humaine de 6,1 mg.m^{-3} . A cette concentration humaine, un facteur d'incertitude de 300 a été appliqué (3 pour la variabilité inter-espèces, 10 pour la variabilité humaine et 10 pour l'extrapolation d'un NOAEL à partir d'un LOAEL) afin d'obtenir la VTR (RfC).

▪ OEHHA, 2000 : 0,006 ppm (9 $\mu\text{g.m}^{-3}$)

La VTR est établie à partir de l'étude de Sellakumar *et al.* (1985), qui a été décrite précédemment. Un LOAEL de 10 ppm (15 mg.m^{-3}) a été estimé pour une **hyperplasie de la muqueuse nasale, du larynx et de la trachée**, correspondant à une concentration équivalente humaine de 0,57 ppm (0,85 mg.m^{-3}). A cette concentration humaine, un facteur d'incertitude de 90 a été appliqué (3 pour la variabilité inter-espèces, 10 pour la variabilité humaine et 3 pour l'utilisation d'un LOAEL) afin d'obtenir la VTR (REL).

3.4.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour ce type d'effets, cette voie et cette durée d'exposition.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

Il n'a pas été trouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4.2. VTR intermédiaire

Il n'a pas été trouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérigènes

Il n'a pas été trouvé de VTR pour ce type d'effets, cette voie et cette durée d'exposition.

4.3.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été trouvé de VTR pour ce type d'effets, cette voie et cette durée d'exposition.

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°DGS/EAI/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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Chlorure d'hydrogène								
Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique (système cible)	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	2100 µg.m ⁻³	1h	H	Maux de gorge et d'écoulement nasal (système respiratoire)	NOAEL = 2,7 mg.m ⁻³	1	OEHHA 2008
	8h	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	20 µg.m ⁻³	-	A	Hyperplasie de la muqueuse nasale, du larynx et de la trachée (système respiratoire)	LOAEL = 15 mg.m ⁻³	300	EPA, 1995
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
Digestive	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

En France, aucune VME n'a été établie. Toutefois, celle de l'Union Européenne est la suivante : VME = 8 mg.m⁻³ (INRS, 2010)

En France, VLCT = 7,6 mg.m⁻³ (INRS, 2010)

7. Bibliographie

EPA (Environmental Protection Agency), IRIS Summary for Hydrogen Chloride, 1995, <http://www.epa.gov/iris/subst/0396.htm> (consulté en février 2012).

IARC (International Agency for Research on Cancer), Summaries and Evaluations Hydrochloric Acid, Vol. 54 p.189, 1992, <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol54/03-hydrochloric-acid.html> (consulté en février 2012).

IARC (International Agency for Research on Cancer), Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 54, 1992, <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol54/index.php> (consulté en février 2012).

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 2010, Fiche toxicologique FT 13, Chlorure d'hydrogène et solutions aqueuses, 8p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute Toxicity Summary, 2008, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD2_final.pdf#page=112 (consulté en décembre 2014).

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Chronic Toxicity Summary, 2000, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=309 (consulté en décembre 2014).

SIDS (Screening Information Data Set), Hydrogen chloride, 2002, <http://www.inchem.org/documents/sids/sids/7647010.pdf> (consulté en février 2012).

Chrome (N° CAS 7440-47-3) et ses composés– REV 05/2018

I. Généralités

I.1. Identification

Le chrome est un métal gris, dur, retrouvé sous la dénomination de « métaux lourds ». Il se présente sous forme d'un solide cristallisé qui n'existe pas à l'état natif.

Le minéral renfermant le plus de chrome est la chromite (FeCr_2O_4) (Ineris, 2005).

I.2. Utilisation

Le chrome entre dans la composition d'aciers inoxydables (pour l'industrie automobile et aéronautique), d'aciers spéciaux et d'alliages (avec le cuivre en électricité). Il améliore la dureté des matériaux et leur résistance à la corrosion (Santé Canada, 1994).

I.3. Sources d'exposition

Le chrome n'existe pas à l'état natif. Les principales sources d'émissions de chrome dans l'atmosphère sont l'industrie chimique, la combustion de gaz naturel, d'huile et de charbon. Il peut y être ajouté les routes, les émissions de cimenteries et les industries utilisant du chrome (Ineris, 2005).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'environnement, le chrome n'est pas à l'état élémentaire, mais sous le degré d'oxydation $-II$ à $+VI$.

Dans l'air, le chrome est sous forme de fines particules. Il n'est pas volatil. Près des sources de combustion et de traitement du chrome, on s'attend à trouver des oxydes de chrome (III) et près des usines de transformation et de production de chromate on s'attend à trouver du chrome VI (Santé Canada, 1994).

Dans l'eau, le chrome VI est fortement soluble et le chrome III faiblement soluble (Ineris, 2005).

Dans les sols, le chrome se trouve essentiellement sous la forme $+III$ et peu sous la forme $+VI$. Les formes chrome VI sont transformées en chrome III dans les sols et les sédiments. Le chrome III s'adsorbe plus que le chrome VI (Ineris, 2005).

Dans les végétaux, le chrome est retenu dans les racines et peu transféré dans les parties supérieures des plantes (ATSDR, 1994).

Concentrations environnementales en chrome			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	zone éloignée : 0-3 ng.m ⁻³	union européenne	OMS, 2000
	zone urbaine : 4-70 ng.m ⁻³		
	zone industrielle : 5-200 ng.m ⁻³	base de données américaine (1964)	IPCS, 1988
	15 ng.m ⁻³		
	zone rurale < 10 ng.m ⁻³	États-Unis	ATSDR, 1994
	zone urbaine : 10 - 30 ng.m ⁻³		
	3-9 ng.m ⁻³	12 villes canadiennes de 1987 à 1990	Santé Canada, 1994
	< 1 ng.m ⁻³	zone non urbaine canadienne	
Eau	1 – 10 µg.L ⁻¹	eau de surface aux États-Unis	IPCS, 1988
	- rivières : <1-30 µg.L ⁻¹ (médiane : 10 µg.L ⁻¹)	États-Unis	ATSDR, 1994
	- lacs : < 5 µg.L ⁻¹		
	< 1 µg.L ⁻¹	eau de surface et de mer non contaminées	Santé Canada, 1994
Sol	1 - 2000 mg.kg ⁻¹ (moyenne : 37 mg.kg ⁻¹)	1319 sols américains non caractérisés	ATSDR, 1994
	53 mg.kg ⁻¹	863 sols américains	IPCS, 1988
	< 2-691 mg.kg ⁻¹ (médiane = 66,3 mg.kg ⁻¹)	815 échantillons de sols français	D. Baize (INRA), 2000
	10 – 100 mg.kg ⁻¹	notoirement non contaminés	
		173 sites canadiens	Santé Canada, 1994

1.5. Facteurs de conversion

Non applicable pour les particules et les vapeurs.

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

L'absorption pulmonaire du chrome VI est supérieure à l'absorption du chrome III. L'absorption intestinale est faible (0,5 à 2 %) car le chrome VI est réduit en chrome III dans l'estomac. La pénétration cutanée des chromes VI et III est faible.

La majorité du chrome VI absorbé est réduit, donc la majorité du chrome présent dans l'organisme est sous le degré +III. Il est distribué dans tout l'organisme.

Le chrome est éliminé par excrétion urinaire (demi-vie urinaire du chrome VI = 15-41 heures). 10 % du chrome est éliminé par voie biliaire.

Le chrome est un métal essentiel au métabolisme humain (Ineris, 2005).

2.2. Toxicité aiguë

L'ingestion massive de sels de chrome entraîne une inflammation massive du tube digestif suivie d'une nécrose. L'ingestion de fortes doses de chrome VI entraîne vertiges, sensation de soif, douleurs abdominales, diarrhée hémorragique. La dose létale de trioxyde de chrome est estimée à 1 à 3 g et 50 à 70 mg.kg⁻¹ de poids corporel pour les chromates.

Des cas mortels ont également été rapportés par exposition cutanée à des dérivés du chrome VI (Ineris, 2005).

Les effets de l'intoxication aiguë au chrome par voie respiratoire ne sont pas renseignés.

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

L'exposition par inhalation aux composés du chrome III ou du chrome VI a pour cible le tractus respiratoire (épistaxis, rhinorrhée, irritation et démangeaisons nasales, atrophie de la muqueuse nasale, ulcérations et perforation du septum nasal, bronchite, pneumoconiose, diminution des fonctions pulmonaires et pneumonie).

L'exposition par voie orale aux composés solubles du chrome peut avoir un effet sensibilisant se traduisant par de l'asthme et des dermatites.

L'exposition cutanée amène à des dermites eczématiformes (éruptions localisées aux avant-bras) (Ineris, 2005).

2.3.2. Effets cancérigènes

De nombreuses études en milieu professionnel ont mis en évidence des excès de mortalité par cancer pulmonaire en lien avec une exposition au chrome VI (chromates, en particulier de calcium et de zinc) (Ineris, 2005).

Classements cancérigène du chrome et ses composés		
Composé	Classement	Organisme
composés du chrome VI	I	CIRC (1990)
	A	EPA (1998)
	I	Santé Canada (1994)
	2	Union Européenne (JOCE, 1996) ¹
	IB	Union européenne (JOCE, 2008) ²
trioxyde de chrome	I	Union Européenne (JOCE, 2004) ¹
	IA	Union européenne (JOCE, 2008) ²
composés du chrome III	3	CIRC (1990)
	D	EPA (1998)
	2	Union Européenne (JOCE, 2004) ¹
	IB	Union européenne (JOCE, 2008) ²

¹Annexe I de la directive 67/548/CE

²Annexe VI du règlement CLP n° 1278/2008

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne a classé le trioxyde de chrome comme mutagène de catégorie 1B. Les autres composés du chrome n'ont pas été classés comme mutagène (JOCE, 2008).

Le chrome VI est génototoxique dans la majorité des études rapportées. La génotoxicité est dépendante de la solubilité du chrome et de la biodisponibilité de la cible. Les études en milieu professionnel, bien que l'exposition puisse être concomitante avec une autre substance potentiellement génotoxique, ont montré que le chrome VI induit des dommages à l'ADN, des aberrations chromosomiques, une augmentation des échanges de chromatides sœurs.... Ces résultats sont supportés par les résultats des études *in vivo* chez l'animal et *in vitro* sur différents type de cellules (ATSDR, 2008).

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne a classé le trioxyde de chrome comme reprotoxique de catégorie 2. Les autres composés du chrome n'ont pas été classés comme reprotoxique (JOCE 2008).

Les études disponibles ne permettent pas de conclure quant aux effets du chrome sur la reproduction ou le développement (Ineris, 2005).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

Il n'a pas été recueilli de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.2. VTR sur 8 heures

Il n'a pas été recueilli de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.3. VTR intermédiaire

- **ATSDR, 2012 : 5 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (chrome III particules insolubles)**

La VTR est établie à partir de l'étude de Derelanko *et al.* (1999) qui a porté sur des rats Wistars (15 par groupe) exposés à 0, 3, 10 et 30 mg.m^{-3} de chrome III, 6 heures/j, 5 jours / semaine pendant 13 semaines. Un LOAEL de 3 mg.m^{-3} de chrome III a été observé **pour une légère hyperplasie des cellules septales et une inflammation chroniques des poumons**. Un LOAEL équivalent humain de 0,43 mg.m^{-3} de chrome III a été calculé auquel a été appliqué un facteur d'incertitude de 90 (3 pour l'utilisation d'un NOAEL, 3 pour l'extrapolation de données animales à l'homme et 10 pour la variabilité humaine).

- **ATSDR, 2012 : 0,1 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (chrome III particules solubles)**

La VTR est établie à partir de l'étude de Derelanko *et al.* (1999) qui a porté sur des rats Wistars (15 par groupe) exposés à 0, 3, 10 et 30 mg.m^{-3} de chrome III, 6 heures/j, 5 jours / semaine pendant 13 semaines. Un LOAEL de 3 mg.m^{-3} de chrome III a été observé **pour des lésions nasales et du larynx**. Un LOAEL équivalent humain de 0,4 mg.m^{-3} de chrome III a été calculé auquel a été appliqué un facteur d'incertitude de 300 (10 pour l'utilisation d'un NOAEL, 3 pour l'extrapolation de données animales à l'homme et 10 pour la variabilité humaine).

- **ATSDR, 2012 : 5 $10^{-3} \mu\text{g.m}^{-3}$ (chrome VI poussières d'aérosol)**

La VTR est établie à partir de l'étude de Lindberg *et al.* (1983) qui a porté sur 85 hommes et 19 femmes exposés sur leur lieu de travail à de l'acide chromique. Ils ont été comparés à un groupe de référence de 119 hommes qui n'étaient pas exposés au chrome. Un LOAEL de 0,002 mg.m^{-3} de chrome VI a été observé **pour des effets sur les voies respiratoires supérieures**. Un LOAEL ajusté de 0,005 mg.m^{-3} de chrome VI a été calculé pour une exposition continue (sur 24 heures et sur 7 jours) auquel a été appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour l'utilisation d'un LOAEL et 10 pour la variabilité humaine).

- **ATSDR, 2012 : 0,3 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (chrome VI particules)**

La VTR est établie à partir de l'étude de Glaser *et al.* (1990) qui a exposé des rats Wistars (30 par groupe) exposés à 0, 0,05, 0,1 0,2 et 0,4 mg.m^{-3} de chrome VI, 22 heures/j, 7 jours / semaine pendant 30 à 90 jours. Une BMC de 0,016 mg.m^{-3} de chrome VI a été observée **pour une altération des niveaux de lactate déshydrogénase dans le liquide bronchoalvéolaire**. Une BMC équivalent humain de 0,01 mg.m^{-3} de chrome VI a été calculée à laquelle a été appliqué un facteur d'incertitude de 30 (3 pour l'extrapolation de données animales à l'homme et 10 pour la variabilité humaine).

- **Expertise Anses, 2015 :**

- **5 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (ATSDR, 2012) - Chrome II, III et composés**
- **0,3 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (ATSDR, 2012) - Chrome VI**

Dans son rapport relatif à la pollution chimique de l'air des enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs, l'Anses considère en 2015 que les VTR proposées en 2012 par l'ATSDR pour les formes de chrome II, III et VI sont les plus pertinentes pour une exposition subchronique.

- **Expertise Ineris, 2017 :**

- **0,1 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (ATSDR, 2012) - Composés solubles de chrome III**
- **5 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (ATSDR, 2012) - Composés insolubles de chrome III**
- **0,005 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (ATSDR, 2012) – Aérosols de chrome VI**
- **0,3 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (ATSDR, 2012) – Particules de chrome VI**

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérogènes

▪ EPA, 1998: 8 ng.m⁻³ (chrome VI aérosols)

Cette VTR a été établie à partir d'une étude en milieu professionnel où des employés (n=100) étaient exposés à des vapeurs d'acide chromique et pour une exposition subchronique (Lindberg and Hedenstrierna., 1983). Cette valeur est basée sur un LOAEL de 2.10⁻³ mg.m⁻³, **pour des atrophies du septum nasal**, extrapolé à une exposition continue de 7,14.10⁻⁴ mg.m⁻³ selon le calcul suivant :

$$\text{LOAEL}_{\text{exposition continue}} = \text{LOAEL} \times (V_T/V_H) \times 5/7$$

Avec $\text{LOAEL}_{\text{exposition continue}} = \text{LOAEL}$ ajusté pour une exposition 24H/24

V_T = taux de ventilation chez le travailleur pendant 8 heures de travail = 10 m³/j

V_H = taux de ventilation pour une exposition continue de 24 heures = 20 m³/j

Cette valeur a été divisée par un facteur de sécurité de 90 (3 pour l'extrapolation d'une exposition subchronique à une exposition chronique, 3 pour l'extrapolation d'un LOAEL à un NOAEL et 10 pour la variabilité humaine).

▪ EPA, 1998: 0,1 µg.m⁻³ (chrome VI particules)

Cette VTR est établie à partir des études de Glaser *et al.*, 1990 et Malsch *et al.*, 1994, qui ont porté sur l'exposition de rats au chrome VI. Cette valeur est établie pour une Benchmarck (limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95 % correspondant à une variation relative de 10 % par rapport au groupe témoin) de 0,016 mg.m⁻³ pour la **présence de lactate déshydrogénase dans le liquide de lavage bronchoalvéolaire**. Une BMD ajustée de 0,034 µg.m⁻³ pour tenir compte des différences pharmacocinétiques de dépôt de particules dans le tractus respiratoire entre l'espèce humaine et les espèces animales testées (rat) a été calculée auquel un facteur d'incertitude de 300 a été appliqué (3 pour les différences pharmacocinétiques entre espèces, 10 pour l'extrapolation d'une exposition subchronique à une exposition chronique et 10 pour des variabilités au sein de l'espèce humaine).

▪ RIVM, 2001: 60 µg.m⁻³ (chrome III)

Le RIVM propose en 2001 une Concentration Tolérable dans l'Air (TCA) de 6.10⁻² mg.m⁻³ pour une exposition au chrome III insoluble par inhalation (Baars *et al.*, 2001). Un NOAEC de 0,6 mg.m⁻³ a été rapporté pour une exposition par inhalation chez l'Homme. Des études utilisant des composés insolubles au chrome III ont abouti à des NOAEC d'environ 2 mg.m⁻³. Les effets associés ne sont pas reportés (RIVM, 2001). D'après ces valeurs, le RIVM propose une TCA de 60 µg.m⁻³. Un facteur d'incertitude de 10 est appliqué pour tenir compte des différences de sensibilité au sein de l'espèce humaine.

▪ OEHHA, 2003: 0,2 µg.m⁻³ (composés solubles de chrome VI)

Cette valeur est issue d'une étude expérimentale au cours de laquelle des rats ont été exposés par inhalation durant 90 jours (22h/j, 7j/semaine) à 0, 54, 109, 204 ou 403 µg Cr (IV).m⁻³ sous forme d'un aérosol de dichromate (Glaser *et al.*, 1990). Un LOAEL de 50 µg.m⁻³ a été établi pour les **effets pulmonaires (hyperplasie bronchoalvéolaire)** et une concentration repère 0,5 % (BMC₀₅) a été calculée à 12,5 µg.m⁻³. Selon l'OEHHA une BMC équivaut à un NOAEL. Ajustée à une exposition continue, la BMC₀₅ est de 11,46 µg.m⁻³ (12,5×22 h/24). La concentration équivalente chez l'Homme est de 24,47 µg.m⁻³. Un facteur d'incertitude de 100 a été appliqué à la BMC₀₅ ajustée (3 pour l'extrapolation des données à l'Homme, 10 pour tenir compte des variations de sensibilité au sein de l'espèce humaine et 3 pour l'extrapolation d'une durée subchronique à une durée chronique).

▪ OEHHA, 2003: 0,002 µg.m⁻³ (oxyde de chrome CrO₃)

Cette VTR a été établie à partir d'une étude en milieu professionnel où des employés (n=100 exposés) étaient exposés à des vapeurs d'acide chromique et pour une exposition subchronique (Lindberg and Hedenstrierna., 1983). Un LOAEL de 1,9 µg.m⁻³ a été établi pour **les effets sur le système respiratoire (ulcérations et perforations nasales, changements transitoires des fonctions pulmonaires)**. Un LOAEL ajusté pour une exposition continue de 0,68 µg.m⁻³ a été calculé auquel a été appliqué un facteur d'incertitude de 300 (3 pour l'utilisation d'un LOAEL au lieu d'un NOAEL, 10 pour tenir compte des différences de sensibilité au sein de l'espèce humaine et 10 pour la faible durée d'exposition moyenne des travailleurs).

▪ OMS/IPCS, 2013: 0,005 µg.m⁻³ (trioxyde de chrome, CrO₃)

Cette VTR (concentration tolérable) a été établie à partir d'une étude en milieu professionnel où des employés (n=100 exposés) étaient exposés à des vapeurs d'acide chromique et pour une exposition subchronique (Lindberg and Hedenstrierna., 1983). Un LOAEC de 2 µg.m⁻³ a été établi pour **les effets sur le système respiratoire (irritations nasales)**. Un LOAEC ajusté pour une exposition continue de 0,5 µg.m⁻³ (2 x 8/24 x 5/7) a été calculé auquel a été

appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour l'extrapolation d'un LOAEC à un NOAEC et 10 pour la variabilité interindividuel).

▪ **OMS/IPCS, 2013: 0,03 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (sels de chrome VI)**

Cette VTR est établie à partir de l'étude de Glaser *et al.*, 1990 qui a porté sur l'exposition de rats au chrome VI. Cette valeur est établie pour une Benchmarck (limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95 % correspondant à une variation relative de 10 % par rapport au groupe témoin) de 16 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour la **présence de lactate déshydrogénase dans le liquide de lavage bronchoalvéolaire**. Une BMD ajustée de 10 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour tenir compte des différences pharmacocinétiques de dépôt de particules dans le tractus respiratoire entre l'espèce humaine et les espèces animales testées (rat) a été calculée auquel un facteur d'incertitude de 300 a été appliqué (3 pour les différences pharmacocinétiques entre espèces, 10 pour l'extrapolation d'une exposition subchronique à une exposition chronique et 10 pour des variabilités au sein de l'espèce humaine).

▪ **ATSDR, 2012 : 5 10^{-3} $\mu\text{g.m}^{-3}$ (chrome VI sous forme de poussières d'aérosol)**

La VTR est établie à partir de l'étude de Lindberg *et al.* (1983) qui a porté sur 85 hommes et 19 femmes exposés sur leur lieu de travail à de l'acide chromique. Ils ont été comparés à un groupe de référence de 119 hommes qui n'étaient pas exposés au chrome. Un LOAEL de 0,002 mg.m^{-3} de chrome VI a été observé pour des effets **sur les voies respiratoires supérieures**. Un LOAEL ajusté de 0,005 mg.m^{-3} de chrome VI a été calculé pour une exposition continue (sur 24 heures et sur 7 jours) auquel a été appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour l'utilisation d'un LOAEL et 10 pour la variabilité humaine).

▪ **Expertise Ineris, 2017 :**

- **2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (chrome III composés insolubles) (Ineris, 2017)**
- **8. 10^{-3} $\mu\text{g.m}^{-3}$ (composés du chrome VI aérosol) (EPA, 1998)**
- **3. 10^{-2} $\mu\text{g.m}^{-3}$ (composés du chrome VI particules) (OMS, 2013)**

Les différents choix de l'Ineris sont détaillés sur son site Internet (<https://substances.ineris.fr>).

Dans le cas particulier de la VTR associée aux composés solubles de chrome III, l'Ineris propose de retenir la VTR chronique de 2 $\mu\text{g Cr.m}^{-3}$. Seul le RIVM (2001) propose une valeur pour des expositions chroniques par inhalation aux sels insolubles de chrome (III). Les fondements de cette valeur manquent de transparence mais en l'absence d'autre valeur disponible pour une exposition chronique et dans la mesure où l'ATSDR en 2012 a établi une valeur de 5 $\mu\text{g Cr.m}^{-3}$ pour une exposition sub-chronique de bonne qualité, l'Ineris propose d'utiliser la valeur de l'ATSDR pour une exposition sub-chronique en lui appliquant un facteur supplémentaire de 3 pour l'extrapolation du sub-chronique au chronique soit 1,6 $\mu\text{g Cr.m}^{-3}$ arrondi à 2 $\mu\text{g Cr.m}^{-3}$.

3.4.2. Effets cancérogènes

▪ **Santé Canada, 1993: 4,6. $\mu\text{g.m}^{-3}$ (chrome total); 0,66 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (chrome VI)**

Santé Canada propose en 1993 une $\text{CT}_{0,05}$ de 4,6. 10^{-3} mg.m^{-3} pour une exposition au chrome total et une $\text{CT}_{0,05}$ de 6,6. 10^{-4} mg.m^{-3} pour une exposition au chrome VI par inhalation (Mancuso, 1975). Dans cette étude la mort par **cancer pulmonaire** est corrélée avec l'exposition aux dérivés solubles du chrome VI. A partir de la courbe dose réponse, la dose causant une augmentation de 5 % de l'incidence des tumeurs a été estimée à 4,6 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour le chrome total. D'après une étude plus ancienne, on peut estimer les concentrations en chrome VI à 1/7 des concentrations totales en chrome. Ceci conduit à une $\text{CT}_{0,05}$ de 0,66 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (4,6 $\mu\text{g.m}^{-3}$ /7) pour le chrome VI.

▪ **EPA, 1998: 1,2. 10^{-2} ($\mu\text{g.m}^{-3}$) $^{-1}$ (chrome VI)**

Cette valeur se base sur une étude de cohorte réalisée sur 332 salariés masculins employés entre 1931 à 1951 jusqu'en 1974 (Mancuso, 1975). L'exploitation des données jusqu'en 1993 a montré que sur les 283 employés décédés, 65 % sont décédés d'un **cancer pulmonaire** (23 % de l'ensemble des décès). Le taux de cancer pulmonaire a été relié à l'exposition au chrome total (Mancuso, 1997).

▪ **RIVM, 2001: 4,2. 10^{-2} ($\mu\text{g.m}^{-3}$) $^{-1}$ (chrome VI)**

Le RIVM a établi en 2001 un CR_{inhal} de 2,5. 10^{-6} mg.m^{-3} pour une exposition au chrome VI par inhalation pour un **cancer pulmonaire** (Baars *et al.*, 2001). Cette valeur correspond à un excès de risque cancérogène de 1. 10^{-4} . Elle a été établie à partir d'un risque "vie entière" de 4. 10^{-2} pour une exposition à 1 $\mu\text{g.m}^{-3}$, calculé d'après des études réalisées chez des travailleurs (Sloff *et al.*, 1990, OMS, 1994).

▪ **OEHHA, 2011: 1,5. 10^{-1} ($\mu\text{g.m}^{-3}$) $^{-1}$ (chrome VI)**

L'OEHA propose un ERU de $1,5 \cdot 10^{-1}$ pour une exposition de $1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ au chrome hexavalent par inhalation. Cette valeur a été calculée à partir de l'étude de Mancuso, (1975), sur 332 travailleurs d'une usine embauchés entre 1931 et 1937. Une association entre le nombre de décès par **cancer du poumon** et l'exposition au chrome a été mise en évidence.

▪ **OMS/IPCS, 2013 (chrome VI) :**

A partir de l'étude de Gibb et al, (2000) qui a porté sur des travailleurs exposés à du trioxyde de chrome, et en utilisant un modèle de régression linéaire de Poisson, en ajustant sur la durée d'exposition (pour passer d'une exposition professionnelle à une exposition environnementale), il est retrouvé 2 excès de risque pour le **cancer du poumon**

- $4 \cdot 10^{-2}$ pour une exposition continue (24h/j, 365j/an et entre la naissance et les 70 ans)
- $6 \cdot 10^{-3}$ pour une exposition au travail (8h/j, 5j/sem, 52 sem/an pendant 45 ans à partir de l'âge de 20 ans)

▪ **Expertise Anses, 2015 : $6 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$ (IPCS, 2013) - Chrome VI & travailleurs**

Dans son rapport relatif à la pollution chimique de l'air des enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs, l'Anses considère en 2015 que la VTR proposée en 2013 par l'IPCS pour les travailleurs est la plus pertinente pour ce type d'effet. Ce choix ne semble pas compatible avec le scénario d'exposition le plus fréquent pris en compte dans le cadre des ERS qui considère la population générale.

▪ **Expertise Ineris, 2017 : $4 \cdot 10^{-2} \mu\text{g Cr} \cdot \text{m}^{-3}$ (IPCS 2013) – Chrome VI & population générale**

Les différents choix de l'Ineris sont détaillés sur son site Internet (<https://substances.ineris.fr>).

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4.2. VTR intermédiaire

▪ **ATSDR, 2012 : $5 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ (chrome VI)**

La VTR est établie à partir de l'étude du NTP (2008) qui a exposé de jeunes rats mâles F344/N (50 par groupes) à des concentrations de 0, 14,3, 57,3, 172 et 516 mg de dichromate de sodium dihydraté/L dans de l'eau de boisson. Une BMC de $0,52 \text{ mg}(\text{CrVI}) \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ pour une **anémie hypochromique** a été observée à laquelle a été appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour l'extrapolation de données animales à l'homme et 10 pour la variabilité humaine).

▪ **Expertise Ineris, 2017 : $5 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ (chrome VI) (ATSDR, 2012)**

Les différents choix de l'Ineris sont détaillés sur son site Internet (<https://substances.ineris.fr>).

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérogènes

▪ **EPA, 1998 : $1500 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ (chrome III insoluble)**

Cette VTR a été établie pour une exposition chronique par voie orale aux sels insolubles de Cr (III) (oxydes de chrome et sulfate de chrome) à partir d'une étude expérimentale chez le rat (Ivankovic *et al.*, 1975). Il a été établi un NOAEL de $1,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ pour l'oxyde chromique ce qui correspond à un NOAEL de $1,46 \cdot 10^3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ pour le chrome III. Il a été appliqué un facteur de sécurité de 1000 (10 pour l'extrapolation de données expérimentale à l'Homme, 10 pour tenir compte de la différence de sensibilité au sein de l'espèce humaine et 10 pour le manque de données en particulier chez les non rongeurs et sur la reproduction). L'étude sur laquelle s'appuie ce NOAEL (Ivankovic *et al.*, 1975) est réalisée chez des rats chez lesquels il n'a été **observé aucun effet** quelle que soit la dose appliquée aux rats dans l'expérimentation. Il est donc appliqué un facteur supplémentaire de 10 pour rendre compte du manque de données expérimentales disponibles.

▪ **EPA, 1998 : $3 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ (sels solubles chrome VI)**

Cette valeur est basée sur un NOAEL de $2,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ chez le rat (**aucun effet observé**), ajusté d'un facteur de sécurité de 900 (10 pour tenir compte des variabilités inter espèces, 10 pour tenir compte des différences de

sensibilité au sein de l'espèce humaine et 3 pour compenser les extrapolations de durée de l'exposition. (MacKenzie *et al.*, 1958). Il est encore ajouté un facteur modificateur de 3 pour tenir compte des incertitudes soulevées par l'étude de Zhang et Li (1987) concernant les effets gastro-intestinaux consécutifs à l'exposition par l'eau de boisson dans une population résidentielle en Chine.

▪ **RIVM, 2001: 5 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (chrome VI) / provisoire**

Le RIVM a établi en 2001 une TDI provisoire (Tolerable Daily Intake) de $5.10^{-3} \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour une exposition chronique au chrome VI par voie orale (Baars *et al.*, 2001). L'étude sur laquelle s'appuie cette valeur est réalisée chez des rats exposés au chrome VI (MacKenzie *et al.*, 1958). Un NOAEL de $2,4 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été défini pour le chrome VI. Un facteur d'incertitude de 500 est appliqué à ce NOAEL ajusté (10 pour l'extrapolation des données expérimentales à l'Homme, 10 pour la différence de sensibilité au sein de l'espèce humaine et 5 pour tenir compte de la faible durée d'exposition).

▪ **RIVM, 2001:**

- **5000 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (chrome III insoluble)**
- **5 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (chrome III soluble)**

Le RIVM a fixé aussi en 2001 une autre TDI de $5 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour une exposition chronique par ingestion au chrome III insoluble et une TDI de $5.10^{-3} \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour une exposition chronique au chrome III soluble par voie orale. (Baars *et al.*, 2001). **Aucun effet critique** n'a été rapporté. Un NOAEL de $2040 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été établi chez le rat après exposition à l'oxyde de chrome III (insoluble), un NOAEL de $3,6 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ après exposition au chlorure de chrome III (peu soluble) et un NOAEL de $0,46 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ après exposition à l'acétate de chrome III (très soluble). La toxicité des composés de chrome dépend de leur solubilité dans l'eau, elle est environ 1000 fois plus faible pour les composés insolubles du chrome III, une TDI de $5 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a donc été calculée pour les composés insolubles du chrome III (incluant le chrome métallique). Le NOAEL de $0,46 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a servi à calculer une TDI pour les composés solubles du chrome III. Un facteur d'incertitude de 100 a été appliqué à ces NOAEL (10 pour l'extrapolation des données expérimentales à l'Homme et 10 pour tenir compte des différences de sensibilité au sein de l'espèce humaine). Le RIVM fait référence à la monographie de l'ATSDR de 1998 qui a depuis été mise à jour (2008).

▪ **OEHHA, 2003: 20 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (chrome VI soluble)**

L'OEHHA a établi en 2003 un REL de $2.10^{-2} \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour une exposition au chrome VI soluble (sauf CrO_3) par voie orale. Cette valeur est issue de la même étude que celle utilisée par l'US-EPA pour calculer sa RfD (MacKenzie *et al.*, 1958). Des rats ont été exposés au chrome VI dans l'eau de boisson durant 1 an. **Aucun effet** n'a été noté quelle que soit la dose. Un NOAEL de $2,4 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été fixé. Un facteur d'incertitude de 100 a été appliqué (10 pour l'extrapolation de données à l'Homme, 10 pour tenir compte des différences de sensibilité au sein de l'espèce humaine).

▪ **ATSDR, 2012: 0,9 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (chrome VI)**

Cette valeur est basée sur une benchmark dose de $0,09 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ établi chez des souris B6C3F1 (50 souris par sexe et par groupe de dose) exposées pendant 2 ans à des concentrations de 0, 14,3, 57,3, 172 ou 516 mg de dichromate de sodium dihydraté par litre d'eau de boisson (NTP, 2008). L'effet mesuré est une **hyperplasie épithéliale du duodenum**. Il est appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour l'extrapolation de l'animal à l'Homme et 10 pour la variabilité humaine).

▪ **Expertise Anses, 2012 : 1 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (ATSDR, 2008) – Chrome VI**

Dans son avis relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux dépassements de la limite de qualité du chrome dans les eaux destinées à la consommation humaine, l'Anses a reconnu en 2012 la VTR de l'ATSDR de 2008 comme étant la plus pertinente pour caractériser les risques associés à l'ingestion de chrome VI par l'Homme.

▪ **OMS/IPCS, 2013 : 0,9 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (chrome VI)**

Cette valeur est basée sur une benchmark dose de $0,094 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ établi chez des souris B6C3F1 (50 souris par sexe et par groupe de dose) exposées pendant 2 ans à des concentrations de 0, 14,3, 57,3, 172 ou 516 mg de dichromate de sodium dihydraté par litre d'eau de boisson (NTP, 2008). L'effet mesuré est une **hyperplasie épithéliale du duodenum**. Il est appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour l'extrapolation de l'animal à l'Homme et 10 pour la variabilité humaine). Cette étude est supportée par l'étude de Gibb *et al* (2000) sur des travailleurs.

▪ **EFSA, 2014 : 300 $\mu\text{g/kg/j}$ – Chrome III**

En 2014, le groupe CONTAM de l'EFSA a estimé une DJT de 0,3 mg/kg p.c./j à partir du NOAEL observé dans une étude de toxicité chronique par voie orale du NTP chez le rat :

Le groupe CONTAM a décidé d'utiliser les données des études de toxicité chronique du Programme national de toxicologie (NTP) sur le picolinate de chrome monohydraté pour obtenir une valeur indicative basée sur la santé (HBGV) pour la caractérisation des risques du Cr(III). Au cours de la période de deux ans du NTP chez le rat et la souris, aucun effet cancérogène ou autre effet indésirable n'a été observé. Le plus faible NOAEL dérivée de ces études s'élevait à 286 mg/kg p.c./j chez le rat, lequel a correspondu à la dose la plus élevée testée. A partir de ces données et d'informations de la littérature, le groupe CONTAM a établi une TDI de 300 µg Cr(III)/kg p.c. par jour, en appliquant un facteur d'incertitude de 100 pour tenir compte des différences entre les espèces et la variabilité humaine et un facteur d'incertitude supplémentaire de 10 pour tenir compte de l'absence de données adéquates sur la toxicité pour la reproduction et le développement qui semble être l'effet le plus fréquemment indiqué dans la littérature pour cette substance.

▪ **Expertise Anses, 2016 : 300 µg/kg/j (EFSA, 2014) – Chrome III**

Dans le cadre de son étude relative à l'Alimentation Totale Infantile, l'Anses retient la VTR proposée par l'EFSA en 2014 pour caractériser les risques potentiels induits suite à l'ingestion de chrome III par la population.

▪ **Expertise Ineris, 2017 :**

- **5 µg.kg⁻¹.j⁻¹ (chrome III composés solubles) (RIVM, 2001)**
- **1500 µg.kg⁻¹.j⁻¹ (chrome III composés insolubles) (EPA, 1998)**
- **0.9 µg.kg⁻¹.j⁻¹ (chrome VI) (ATSDR, 2012)**

Les différents choix de l'Ineris sont détaillés sur son site Internet (<https://substances.ineris.fr>).

4.3.2. Effets cancérigènes

▪ **OEHHA, 2011 : 0.5 (mg.kg⁻¹.j⁻¹)⁻¹ (chrome VI)**

Des augmentations statistiquement significatives des **tumeurs (adénome ou carcinome) ont été observées dans la cavité buccale** des rats F344 mâles et femelles et dans l'intestin grêle des souris B6C3F1 mâles et femelles après l'administration de Cr VI dans l'eau potable (NTP, 2008). Les résultats chez les souris mâles ont été jugés comme étant la meilleure relation dose-réponse pour l'exposition orale au Cr VI et sont donc à la base du facteur de la VTR de 0,5 (mg/kg-jour)⁻¹.

▪ **Expertise Anses, 2012 : 0.5 (mg.kg⁻¹.j⁻¹)⁻¹ (chrome VI - OEHHA, 2011)**

Dans son avis relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux dépassements de la limite de qualité du chrome dans les eaux destinées à la consommation humaine, l'Anses a reconnu en 2012 la VTR de l'OEHHA de 2011 comme étant la plus pertinente pour caractériser les risques associés à l'ingestion de chrome VI par l'Homme.

▪ **Expertise Ineris, 2017 : 0.5 (mg.kg⁻¹.j⁻¹)⁻¹ (chrome VI - OEHHA, 2011)**

Les différents choix de l'Ineris sont détaillés sur son site Internet (<https://substances.ineris.fr>).

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualite-C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

Chrome Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	8h	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire chrome VI (particules)	0,3 µg.m ⁻³	14-365j	A	Effets respiratoires	BMC = 0,016 mg.m ⁻³	30	Expertise Ineris, 2017 (ATSDR, 2012)
	Intermédiaire chrome VI - aérosols	0.005 µg.m ⁻³	14-365j	H	Effets respiratoires	LOAEL = 0.002 mg.m ⁻³	100	Expertise Ineris, 2017 (ATSDR, 2012)
	Intermédiaire chrome III composés insolubles	5 µg.m ⁻³	14-365j	A	Effets respiratoires	LOAEL = 0.43 mg.m ⁻³	300	Expertise Ineris, 2017 (ATSDR, 2012)
	Intermédiaire chrome III composés solubles	0.1 µg.m ⁻³	14-365j	A	Effets respiratoires	LOAEL = 3.3 mg.m ⁻³	300	Expertise Ineris, 2017 (ATSDR, 2012)
	Chronique chrome VI aérosol	0.008 µg.m ⁻³	-	H	Effets respiratoires	LOAEL = 2 µg.m ⁻³	90	Expertise Ineris, 2017 (EPA, 1998)
	Chronique chrome VI – particules	0,03 µg.m ⁻³	-	A	Effets respiratoires	LOAEL = 16 µg.m ⁻³	300	Expertise Ineris, 2017 (OMS, 2013)
	Chronique chrome III – Composés insolubles	2 µg.m ⁻³	-	A	Effets respiratoires	LOAEL = 0.43 mg.m ⁻³	300	Expertise Ineris, 2017 (Ineris, 2017)
	Chronique chrome VI – effets cancérigènes	4 10 ⁻² (µg.m ⁻³) ⁻¹	-	H	Cancer pulmonaire	-	-	Expertise Ineris, 2017 (OMS, 2013)
Digestive	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire chrome VI	5 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	14-365j	A	Anémie hypochronique	BMC = 0,52 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	100	Expertise Ineris, 2017 (ATSDR, 2012)
	Chronique chrome VI – effets non cancérigènes	0.9 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	A	hyperplasie épithéliale du duodenum	BMD= 0.09 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	100	ATSDR, 2012 (NTP, 2008)
	Chronique chrome III – effets non cancérigènes – Composés solubles	5 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	A	Aucun effet observé	NOAEL= 3,6 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	100	Expertise Ineris, 2017 (RIVM, 2001)
	Chronique chrome III – effets non cancérigènes – Composés insolubles	1500 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	A	Aucun effet observé	NOAEL= 1.8 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	1000	Expertise Ineris, 2017 (EPA, 1998)
	Chronique chrome VI – effets cancérigènes	5 10 ⁻⁴ (µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹) ⁻¹	-	A	Tumeurs dans la cavité buccale	-	-	Expertise Ineris, 2017 (OEHHHA, 2011)

6. Valeurs d'exposition professionnelles

Composés du chrome VI, trioxyde de chrome (en chrome) : VME = 0,05 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

Chrome métal : VME = 0,5 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

Métal chrome, composés de chrome inorganique (II) et composés de chrome inorganiques insolubles (III) : VME = 2 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

7. Bibliographie

Anses, AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux dépassements de la limite de qualité du chrome dans les eaux destinées à la consommation humaine, 2012. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2011sa0127.pdf> (consulté en mai 2018)

Anses, Etude de l'Alimentation Totale Infantile - Evaluation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à certaines substances présentes dans l'alimentation, Tome 1 & 2, 2016. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/content/etude-de-l%E2%80%99alimentation-totale-infantile> (consulté en mai 2018)

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2008, Toxicological Profile for Chromium, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp7-c8.pdf>.

CIRC (Centre international de recherche sur le cancer), <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf>

Denis Baise, INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 2000, Teneurs totales en "métaux lourds" dans les sols français : Résultats généraux du programme ASPITET, Courrier de l'environnement n°39.

EPA (Environmental Protection Agency), 1998, Chrome VI (CASRN 18540-29-9), <http://www.epa.gov/iris/subst/0144.htm>.

EPA (Environmental Protection Agency), 1998, Chrome III, insoluble salts (CASRN 16065-83-1), <http://www.epa.gov/iris/subst/0028.htm>.

Santé Canada, 1994, Composés du chrome hexavalent, Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Liste des substances d'intérêt prioritaire. Rapport d'évaluation, 72 p.

Ineris (Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels), 2007, Point sur les valeurs toxicologiques de référence (VTR) – juin 2007, N°DRC-07-86177-08805B, 43 p.

Ineris (Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels), 2005, Chrome et ses dérivés, Fiche de données toxicologiques et environnementales, Ineris –DRC-01-05590-00DF253.doc, Version N°2-4-février 05, 80 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), juin 2008, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 23 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

IPCS-Inchem (International Program on Chemical Safety), 1988, Environmental Health Criteria 61 Chromium, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc61.htm>.

JOCE, 1996, Commission directive 96/54/EC, 22ATP, Council Directive 67/548/EEC.

JOCE, 2004, Commission directive 2004/73/EC, 29ATP, Council Directive 67/548/EEC.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Chronic Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999), http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=138

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Air toxics hot spots risk assessment guideline. Chemical-specific summaries of the information used to derive unit risk and cancer potency values, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2009/AppendixB.pdf

OEHHA, Public health goals for chemicals in drinking water hexavalent chromium (Cr VI), July 2011. disponible sous <https://oehha.ca.gov/media/downloads/water/chemicals/phg/cr6phg072911.pdf> (consulté en mai 2018)

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2000, Air Quality Guidelines for Europe - 2nd édition, 14 p.
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2013, Concise International Chemical Assessment Document 78, inorganic chromium (VI) compound, http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/cicad_78.pdf?ua=1

RIVM (Rijksinstituut Voor Volksgezondheid), 2001, Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels.

Cobalt (N° CAS 7440-48-4) – REV 06/2023

I. Généralités

I.1. Identification

Le cobalt se présente sous forme de poudre cristalline grise sans odeur. Le cobalt est un produit très stable, inoxydable jusqu'à 300°C. Il s'oxyde à partir de cette température en présence d'air sec ou humide (Inrs, 2000). Le cobalt a plusieurs valences, les principales étant les valences 2 et 3. Quelques exemples de composés minéraux du cobalt : chlorure de cobalt (CoCl_2), nitrate de cobalt ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2$), oxyde de cobalt (CoO), sulfate de cobalt (CoSO_4), sulfure de cobalt (CoS) (Ineris, 2006).

I.2. Utilisation

Le cobalt et ses composés ont différentes applications industrielles. Ils sont utilisés dans la fabrication de nombreux alliages (dans l'aéronautique, l'électronique, pour les prothèses...) et de pigments dans l'industrie du verre et de la céramique, dans l'émaillage du fer et de l'acier, dans la galvanoplastie, dans la fabrication de siccatifs (substances ayant la propriété de faire sécher rapidement les couleurs, les peintures, etc.) et pigments dans l'industrie des peintures et vernis, dans les fertilisants agricoles et comme additifs alimentaires pour animaux (Inrs, 2000; Ineris, 2006).

I.3. Sources d'exposition

Les principales sources anthropiques sont les fumées des centrales thermiques et des incinérateurs, les échappements des véhicules à moteur thermique, les activités industrielles liées à l'extraction du minerai et aux processus d'élaboration du cobalt et de ses composés.

Le cobalt est présent naturellement dans les sols. La contamination des eaux et des sols résulte également du dépôt des particules atmosphériques provenant des diverses sources. Le lessivage des sols par les eaux de pluie est également responsable de la contamination des eaux résurgentes par le cobalt. (Ineris, 2006).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'air, le cobalt n'est pas volatil, et est émis dans l'atmosphère uniquement sous forme particulaire (ATSDR, 2001). Ces particules seraient principalement constituées d'oxydes de cobalt.

Dans l'eau, chaude ou froide, le cobalt est insoluble (HSDB, 2002). Dans les rivières, lacs, estuaires ou eaux marines, le cobalt est adsorbé en grande quantité par les sédiments. L'adsorption ou la complexation avec des substances humiques est également possible, mais dépend de facteurs environnementaux comme le pH. Plus le pH est élevé et plus le cobalt est complexé, en particulier avec des carbonates, aux dépens du cobalt libre. L'adsorption du cobalt par les sédiments augmente elle aussi avec le pH. Un milieu acide favorise le cobalt sous forme libre (Ineris, 2006).

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 (Ineris, 2006). La distribution dans les sols est très dépendante de la formation d'oxydes de fer et de manganèse. En moyenne, près de 80 % du cobalt dans les sols serait associé à des oxydes de manganèse (Ineris, 2006).

Concentrations environnementales en cobalt			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	0,4 à 2 ng.m^{-3}	Estimées à partir des données ATSDR (2001)	Ineris, 2006
Eau	0,1 à 5 $\mu\text{g.L}^{-1}$	Estimées à partir des données HSDB (2002)	Ineris, 2006
Sols	1 à 40 mg.kg^{-1}	Estimées à partir des données HSDB (2002)	Ineris, 2006

I.5. Facteurs de conversion

Aucun facteur de conversion n'a été trouvé dans la littérature.

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

Le cobalt en poudre est absorbé chez l'homme par inhalation ou ingestion. Les solutions de cobalt peuvent également pénétrer à travers la peau. La poudre métallique inhalée se dépose dans les voies respiratoires et est absorbée lentement. Par voie orale, le cobalt est stocké dans les régions proximales et distales du tube digestif et est libéré par desquamation de l'épithélium. Chez l'homme, quelque soit la voie d'exposition, le cobalt est éliminé rapidement. Une faible proportion est éliminée lentement avec une demi-vie de l'ordre de plusieurs années (Inrs, 2000; Ineris, 2006).

2.2. Toxicité aiguë

Concernant les intoxications aiguës par inhalation, les symptômes irritatif respiratoires sont classiques et font plus penser à de l'asthme, à une broncho-alvéolite ou à une fibrose pulmonaire débutante (toux sèche, dyspnée, éternuements, conjonctivite) (Inrs, 2000).

Concernant les intoxications par ingestion, un cas mortel d'ingestion de 30 mL d'une solution de chlorure de cobalt par un jeune homme de 19 ans a été rapporté. Le décès est survenu quelques heures après l'absorption en dépit des soins intensifs procurés. Le cas d'un enfant de 6 ans ayant absorbé accidentellement une boisson contenant 2,5 g de chlorure de cobalt a été rapportée. Cet enfant a présenté des nausées et vomissements. Il a développé une neutropénie transitoire mais a guéri sans séquelle. Du début au milieu des années 60, des cas mortels de cardiomyopathies ont été décrits chez de forts consommateurs de bière dont l'agent stabilisant de la mousse était du cobalt (pratique abandonnée depuis). Les décès surviennent pour une ingestion de 0,04 à 0,14 mg de cobalt/kg/jour pendant plusieurs jours (18 % de mortalité aiguë). Néanmoins, une autre étude montre qu'une administration par voie orale de 0,6 à 1 mg de cobalt.kg⁻¹.j⁻¹ à des patients, anémiés ou non, n'entraîne pas d'effet cardiaque. Des carences alimentaires en vitamines et protéines ainsi qu'une origine alcoolique des troubles cardiaques expliquent ces différences (Ineris, 2006).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

Le système respiratoire est la principale cible lors d'une exposition par inhalation. Chez l'homme, une exposition de 6 heures à 0,038 mg.m⁻³ de cobalt entraîne une diminution de la ventilation pulmonaire par obstruction bronchique chronique (Ineris, 2006). Les intoxications publiées chez l'homme concerne majoritairement le milieu professionnel et les effets observés sont de natures divers et variés :

- Des rhinites, de l'asthme, des alvéolites et fibroses ont été observés à des niveaux de concentrations variant de 0,007 à 0,893 mg de cobalt / m³ pour des durées d'exposition de 2 à 17 ans;
- Des effets cardiaques ont été observés. Le cobalt est considéré comme un agent cardiomyopathogène faible par inhalation alors qu'il s'agit d'un effet toxique majeur par voie orale;
- Des effets sur la thyroïde;
- Des effets cutanés.

Par voie orale, l'exposition au cobalt entraîne des effets respiratoires, cardiovasculaires, gastro-intestinaux, hématologiques, musculo-squelettiques, hépatiques, rénaux, oculaires, thyroïdiens et sur l'état général.

Enfin, le développement d'une dermatite est un effet classique d'une exposition cutanée au cobalt chez l'homme.

2.3.2. Effets cancérogènes

Plusieurs études ont observé l'effet cancérogène possible suite à une exposition par inhalation à un mélange de cobalt.

Chez l'homme, une augmentation des décès par cancer pulmonaire est observée chez des salariés français d'une usine électrochimique exposés à du cobalt au moins une année (4 cas dans le groupe des exposés contre un cas chez les contrôles).

Une étude rétrospective a porté sur des travailleurs suédois exposés à des concentrations de 2 µg.m⁻³ à 11 mg.m⁻³, sur une période de 10 à 20 ans d'exposition. Sept cas de cancers pulmonaires contre 2,5 attendus étaient enregistrés mais aucune information n'est disponible quant aux habitudes tabagiques de ces individus.

L'étude d'une cohorte de 5 777 hommes et 1 682 femmes exposés professionnellement à des concentrations variant de 40 à 169 µg.m⁻³ de cobalt et à du carbamate de tungstène montre une augmentation de la mortalité par cancer pulmonaire (SMR de 1,30).

Toutefois, l'interprétation des études épidémiologiques disponibles concernant l'impact cancérigène du cobalt par inhalation est difficile car il s'agit le plus souvent d'expositions multiples, notamment avec d'autres cancérigènes comme le nickel et l'arsenic (Ineris, 2006).

Une autre étude a porté sur 4288 hommes et 609 femmes travaillant dans une usine de production d'acier inoxydable et d'acier allié. Aucune augmentation de la mortalité par cancer du poumon n'a été mise en évidence parmi les travailleurs exposés et une étude cas témoin, sur la même population, n'a montré aucune corrélation entre la mortalité par cancer du poumon et l'exposition au cobalt (ATSDR, 2004).

Une étude rétrospective aux États-Unis n'a pas permis d'établir de corrélation entre des décès liés au cancer et la présence de 0,03 à 0,54 mg de cobalt.kg⁻¹.j⁻¹ dans l'eau de boisson (ATSDR, 2004; Ineris, 2006).

Classements cancérigènes du cobalt et de ses composés		
Composé	Classement	Organisme
Sulfate de cobalt	2	Union Européenne (JOCE, 2004) ¹
	1B	Union Européenne (JOCE, 2008) ²
Chlorure de cobalt	2	Union Européenne (JOCE, 2004) ¹
	1B	Union Européenne (JOCE, 2008) ²
Cobalt métal	2B	CIRC, 2003

¹Annexe I de la directive 67/548/CE

²Annexe VI du règlement CLP n°1278/2008

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne a classé le cobalt et ses composés comme mutagène de catégorie 2 (substance pour laquelle il existe une forte présomption que l'exposition à l'homme puisse produire des défauts génétiques héréditaires ou en augmenter la fréquence)(JOCE, 2008).

Il n'existe pas d'étude sur les effets génotoxiques du cobalt chez l'homme et chez l'animal suite à une exposition par inhalation, voie orale ou voie cutanée (ATSDR, 2004).

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne a classé le cobalt et ses composés comme reprotoxique de catégorie 1B (substance pour laquelle il existe une forte présomption que l'exposition à l'homme, produise ou augmente la fréquence d'effets nocifs non héréditaires dans la progéniture ou porte atteinte aux fonctions ou capacités reproductives)(JOCE, 2008). Aucune étude sur l'homme n'a porté sur les effets sur la reproduction d'une exposition par inhalation ou ingestion au cobalt.

Chez le rat exposé par inhalation pendant plus de 16 jours à du sulfate de cobalt, une atrophie testiculaire est décrite pour une concentration de 19 mg.m⁻³. Chez la souris, pour des expositions par inhalation pendant 13 semaines à du sulfate de cobalt, une diminution de la mobilité spermatique est observée pour une concentration de 1,14 mg.m⁻³ ainsi qu'une atrophie testiculaire et une augmentation de la longueur du cycle œstral pour une concentration de 11,4 mg.m⁻³ (ATSDR, 2004; Ineris, 2006).

La dégénérescence et l'atrophie testiculaires sont également décrites chez le rat pour des expositions à du chlorure de cobalt par voie orale dans l'eau de boisson pendant 2 à 3 mois pour des doses de 5,7 à 30,2 mg.kg⁻¹.j⁻¹. Aucun effet tératogène n'a été observé chez l'animal. L'administration de 24,8 mg.kg⁻¹.j⁻¹ de chlorure de cobalt pendant la gestation ne provoque aucune modification de la croissance fœtale ou du taux de survie chez le rat. Il en est de même chez la souris pour une dose de 81,7 mg.kg⁻¹.j⁻¹ administrée du 8ème au 12ème jour de gestation (ATSDR, 2004; Ineris, 2006).

Aucune étude sur l'homme ou l'animal n'a porté sur les effets sur le développement d'une exposition par inhalation au cobalt (ATSDR, 2004).

Pour la voie orale, aucun effet sur le développement du fœtus humain n'a été observé après traitement de la mère pendant le dernier trimestre de la grossesse avec du chlorure de cobalt (ATSDR, 2004).

L'exposition par voie orale de la rate à du chlorure de cobalt à des concentrations de 5,4 ou 21,8 mg.kg⁻¹.j⁻¹ du 14^{ème} jour de gestation au 21^{ème} jour de lactation induit un retard de croissance et une baisse de la survie des petits. A ces concentrations une toxicité maternelle est également mise en évidence qui pourrait être la cause des effets observés sur la descendance plutôt que des effets directs du cobalt sur les petits. Une autre étude sur des rats en gestation exposées à 0 à 38 mg.kg⁻¹.j⁻¹ de sulfate de cobalt n'a montré aucun effet sur le taux de mortalité du fœtus, le poids

de la mère, la taille de la portée, et le poids fœtal. Seule une tendance a été mise en évidence entre l'augmentation des doses administrée et un retard de croissance du fœtus (ATSDR, 2004).

A l'opposé, deux autres études sur des rates en gestation exposées à $24,8 \text{ mg.kg}^{-1}\text{.j}^{-1}$ de chlorure de sulfate entre le 6^{ème} et 15^{ème} jours de gestation et sur des souris en gestation exposées à $81,7 \text{ mg.kg}^{-1}\text{.j}^{-1}$ de chlorure de sulfate entre le 8^{ème} et le 12^{ème} jours de gestation n'a montré aucun effet sur la croissance fœtale ou le taux de survie. Enfin une étude sur des lapines exposées à plus de $38 \text{ mg.kg}^{-1}\text{.j}^{-1}$ de cobalt a montré une mortalité maternelle presque totale et une complète perte des fœtus (ATSDR, 2004).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR aiguë dans la littérature consultée.

3.2. VTR sur 8 heures

Il n'a pas été retrouvé de VTR 8h dans la littérature consultée.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire dans la littérature consultée.

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérigènes

■ **ATSDR, 2004: $0,1 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude épidémiologique réalisée sur un groupe de 194 travailleurs de polissage du diamant, exposés à différents niveaux de cobalt (Nemery et al, 1992). Cette VTR est basée sur un NOAEL de $0,0053 \text{ mg.m}^{-3}$ pour des **effets sur la fonction respiratoire** (baisse des performances spirométriques). Le NOAEL a été ajusté pour prendre en compte une exposition continue (5 jours/semaine, 8 heures/jours), auquel est appliqué un facteur d'incertitude de 10 pour la variabilité humaine.

$$\text{MRL} = 0,0053 * (5/7) * (8/24) * (1/10) = 0,1 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$$

■ **OMS, 2006: $0,1 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$**

Cette valeur a été établie à partir de la même étude épidémiologique que celle utilisée par l'ATSDR (Nemery et al, 1992). Cette VTR est basée sur un NOAEL ajusté pour une exposition continue de la population générale de $0,0053 \text{ mg.m}^{-3}$ pour des **effets sur la fonction respiratoire**, auquel est appliqué un facteur d'incertitude de 10 pour la variabilité humaine.

$$\text{TI} = 0,0053 * (5/7) * (8/24) * (1/10) = 0,1 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$$

■ **RIVM, 2001: $0,5 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude sur l'homme qui n'est pas citée dans le document de 2001. Cette VTR est basée sur un LOAEL de $0,05 \text{ mg.m}^{-3}$ pour des **effets sur la fonction respiratoire** auquel est appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour la variabilité intra-espèce et 10 pour l'utilisation d'un NOAEL).

$$\text{TCA} = 0,05 / 100 = 0,5 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$$

3.4.2. Effets cancérigènes

■ **OEHA, 2020: $7.7.10^{-3} (\text{ } \mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$**

L'excès de risque de cancer a été estimé pour le **cancer pulmonaire** et pour les formes de cobalt insolubles dans l'eau. Pour les formes de cobalt solubles dans l'eau, la VTR proposée est de $8.6.10^{-4} (\text{ } \mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR aiguë dans la littérature consultée.

4.2. VTR intermédiaire

- **ATSDR 2004: 0,1 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$**

La VTR est établie à partir de l'étude de Davis et Fields (1958). 6 hommes âgés de 20 à 47 ans ont ingéré quotidiennement une solution à 2% de chlorure de cobalt mélangée à de l'eau ou du lait, pendant 22 jours. Pour 5 des hommes, la dose de chlorure de cobalt ingérée était de 150 mg/j pendant toute la période d'exposition, le sixième homme a reçu 120 mg/j de chlorure de cobalt puis 150 mg/j. Un LOAEL de 150 mg/j de chlorure de cobalt a été identifié pour une **augmentation des érythrocytes** (soit un LOAEL de 1 $\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$, pour un poids moyen de 70 kg). Un facteur d'incertitude de 100 a été appliqué (10 pour l'utilisation d'un LOAEL et 10 pour la variabilité humaine).

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérigènes

- **RIVM, 2001: 1,4 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude sur l'homme qui n'est pas citée dans le document de 2001. Cette VTR est basée sur un LOAEL de 0,04 $\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour une exposition subchronique et pour des **effets sur le muscle cardiaque** auquel est appliqué un facteur d'incertitude de 30 (3 pour la variabilité intra-espèce et 10 pour l'utilisation d'un LOAEL). Le rôle de l'alcool n'étant pas à exclure dans les effets observés, le RIVM estime que le LOAEL pour la population générale doit être plus élevé et qu'un facteur d'incertitude de 3 pour la variabilité intra-espèce est suffisant.

$$\text{TDI} = 0,04 / 30 = 1,4 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$$

- **Afssa, 2010 : 1.6 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$**

La toxicité du cobalt et de ses dérivés a fait l'objet de revues approfondies (ATSDR, 2004 ; RIVM, 2001, EFSA, 2009). Vu du faible nombre d'études disponibles par voie orale, l'Afssa conclut que la dose journalière tolérable pourrait se situer entre 1,6 et 8 $\mu\text{g/kg p.c./j}$, pour les effets toxiques à seuil. La VTR finalement retenue n'est pas précisée par l'Afssa dans son avis, toutefois, en retenant la valeur la plus faible de l'intervalle recommandé, elle serait de 1.6 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$.

- **Expertise Anses, 2016 : 1.5 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (Afssa, 2010)**

Dans son rapport relatif à l'alimentation totale infantile (EATi), l'Anses considère comme pertinente la VTR contruite par l'Afssa en 2010. Le faible écart observé entre la VTR de l'Afssa (1.6 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$) et celle rapportée dans la base de données de l'Anses (1.5 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$) n'est pas précisé par l'Anses.

4.3.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour ce type d'effets dans la littérature consultée.

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°DGS/EAI/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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Cobalt Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014							
Voie d'exposition	Durée de l'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	-	-	-	-	-	-
	8h	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	0,1 µg.m ⁻³	-	H	Effets sur la fonction respiratoire	10	ATSDR, 2004
	Chronique – effets cancérogènes	7.7.10 ⁻³ (µg.m ⁻³) ⁻¹	-	A	Cancer pulmonaire	-	OEHHA, 2020
Digestif	Aiguë	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	0,1 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	H	Augmentation des érythrocytes	100	ATSDR, 2004
	Chronique – effets non cancérogènes	1,5 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	np	Effet sur le muscle cardiaque	np	Expertise Anses, 2016 (Afssa, 2010)
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

Il n'existe pas de valeurs limites d'exposition professionnelles pour le cobalt.

7. Bibliographie

Afssa, Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à une demande d'appui scientifique et technique sur la migration de cobalt de plats à gratin en porcelaine destinés à entrer en contact avec des aliments, 2010, 7 p. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/system/files/MCDA2010sa0095.pdf> (consulté en mai 2018)

Anses, Etude de l'Alimentation Totale Infantile - Evaluation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à certaines substances présentes dans l'alimentation, Tome 1 & 2. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/content/etude-de-l%E2%80%99alimentation-totale-infantile> (consulté en mai 2018)

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2004, Toxicological Profile for Cobalt, <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp33.pdf> (consulté en décembre 2014).

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2006, Concise international chemical assessment document 69, Cobalt and inorganic cobalt compounds, <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/cicad69%20.pdf> (consulté en décembre 2014)

INRS (Institut national de recherche et de sécurité), 2000, fiche toxicologique FT128, Cobalt et composés minéraux; [http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/0C80B80F306D5985C1256CE8005A2877/\\$FILE/ft128.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01_catalog_view_view/0C80B80F306D5985C1256CE8005A2877/$FILE/ft128.pdf) (consulté en décembre 2014)

INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques), 2006, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, Cobalt et ses dérivés, DRC-02-25590-02DF55.doc; <http://chimie.ineris.fr/fr/LesPDF/MetodExpChron/cobalt.pdf> (consulté en décembre 2014)

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

RIVM (national institute for public health and the environment), 2001, Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels, <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701025.pdf>

JOCE, 2008, regulations (EC) n°1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006. Tableau 3.1 de l'annexe VI de CLP, 6e ATP (2014)

JOCE, 2004, Commission directive 2004/73/EC, 29st ATP, Council Directive 67/548/EEC.

Cuivre (N° CAS 7440-50-8) – REV 09/2015

I. Généralités

I.1. Identification

Le cuivre est malléable de couleur brun-rougeâtre. Il peut exister à l'état naturel sous forme métallique, mais le plus souvent, il se trouve à l'état oxydé (IPCS, 1998).

Les principaux composés du cuivre sont l'acétate de cuivre, le chlorure cuivreux, le chlorure cuivrique, l'hydroxyde de cuivre, l'oxyde cuivreux, l'oxyde cuivrique, le sulfate de cuivre (Ineris, 2005).

I.2. Utilisation

Le cuivre est utilisé pour ses propriétés de conductibilité électrique et thermique. Il est utilisé dans les alliages de bronze (avec l'étain), laiton (avec le zinc), constantan, monel (avec le nickel), maillechort (avec le nickel et le zinc), « dewarda » (avec l'aluminium et le zinc), en joaillerie avec l'or et l'argent. Il est employé dans la fabrication de matériels électriques (fils, enroulement de moteurs, dynamos, transformateurs), dans la plomberie, dans les équipements industriels, dans l'automobile et en chaudronnerie (Ineris, 2005).

Le cuivre et certains composés sont utilisés pour leurs propriétés antiseptiques.

I.3. Sources d'exposition

Le cuivre est ubiquitaire. Les sources naturelles d'émission sont les poussières du sol, les éruptions volcaniques, les décompositions de végétaux, les feux de forêt et les aérosols marins. Les sources anthropiques d'émission sont l'industrie du cuivre et des métaux, l'industrie du bois, l'incinération des ordures ménagères, la combustion de charbon, d'huile et d'essence et la synthèse d'engrais (phosphates) (Ineris, 2005).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

97 % du cuivre libéré dans l'environnement se retrouve au niveau des sols, 3 % dans les eaux et 0,04 % dans l'air (Ineris, 2005).

Dans l'air, le cuivre est rejeté sous forme particulaire, d'oxyde, de sulfate ou de carbonate ou adsorbé à de la matière particulaire (Ineris, 2005).

Dans l'eau, le cuivre est essentiellement sous forme particulaire (40 à 90 %). Il se dépose, précipite ou s'adsorbe à la matière organique ou à d'autres composés métalliques. Il peut être légèrement soluble (Ineris, 2005).

Dans les sols, le cuivre est à l'état d'oxydation +I ou +II (sulfures, sulfates, carbonyles, oxydes) ou à l'état métallique. Il se fixe sur la matière organique et migre donc peu en profondeur. Son comportement dépend de nombreux facteurs (Ineris, 2005).

Dans les végétaux, l'absorption du cuivre est fonction du pH du sol. Le cuivre présent dans les parties racinaires n'est pas transféré dans les parties aériennes (Ineris, 2005).

Concentrations environnementales en cuivre			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	- zone rurale : 5-50 ng.m ⁻³	étude de 1979	IPCS, 1998
	- zone urbaine : 30-300 ng.m ⁻³		
	5-200 ng.m ⁻³	études internationales entre 1977 et 1983	ATSDR, 2004
Eau	- eau douce : 1-20 µg.L ⁻¹	zone non contaminée, étude de 1979	IPCS, 1998
	- eau de mer : 0,15 µg.L ⁻¹		
	- eau de surface : 0,5-1000 ppb (médiane : 10 ppb)		ATSDR, 2004
	- eau de mer : < 1-5 ppb		
Sol	- croûte terrestre : 50 ppm	croûte terrestre	ATSDR, 2004
	- sols : 2-250 ppm (médiane : 30 ppm)	étude de 1985, revue de la littérature	
	médiane : 30 mg.kg ⁻¹ (2-250 mg.kg ⁻¹)	étude de 1985	IPCS, 1998
	< 1-436,4 mg.kg ⁻¹ (médiane = 13,5 mg.kg ⁻¹)	1812 échantillons de sols français notoirement non contaminés	D. Baize (INRA), 2000

1.5. Facteurs de conversion

Non disponible.

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

Le cuivre est un oligoélément qui intervient comme élément structural et comme catalyseur des protéines. Il intervient dans la formation d'hémoglobine et de polynucléaires neutrophiles.

La principale voie d'exposition est la voie orale. La principale voie d'absorption est digestive (au niveau de l'estomac et du jejunum). L'absorption par voie pulmonaire n'est pas définie. La résorption du cuivre est de 20 à 60 %, le reste est excrété dans les fécès (72 %) via la bile. La répartition est large, mais plus importante au niveau du foie, des muscles et de la moelle osseuse (IPCS, 1998 ; Ineris, 2005).

Une sensibilité accrue à la toxicité du cuivre est rapportée chez les enfants de moins de 1 an (Ineris, 2005).

L'apport par voie orale est chez l'adulte :

- Par l'alimentation : de 0,9 à 2,2 mg.j⁻¹
- Par l'eau de boisson < 0,1 mg.j⁻¹ (IPCS, 1998)

L'apport des voies respiratoire et cutanée est considéré comme négligeable dans la population générale non soumise à des sources d'exposition supplémentaires au cuivre (IPCS, 1998).

2.2. Toxicité aiguë

Le cuivre est un oligoélément essentiel et les effets qui lui sont liés peuvent provenir d'une carence ou d'un excès (IPCS, 1998). Les sels de cuivre sont des agents irritants. Les principales formes toxiques sont les formes solubles, c'est à dire les sels de cuivre II (acétate, carbonate, chlorure, hydroxyde, nitrate, oxyde, oxychlorure et sulfate) (Ineris, 2005).

Par inhalation, une étude de 1968, rapporte des symptômes de « fièvre des fumées des métaux » (fièvre, céphalées, sécheresse buccale, sueurs froides et douleurs musculaires) pour des concentrations en cuivre de 75 à 120 µg.m⁻³ (Ineris, 2005).

Par voie orale, l'intoxication est rare, elle a été observée pour des doses de 35 à 200 mg.L⁻¹ dans de l'eau de boisson, provoquant vomissements, léthargie, anémie et hémolyse (Ineris, 2005).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

L'exposition par inhalation aux poussières de cuivre entraîne une irritation des voies aériennes supérieures et des troubles gastrointestinaux (anorexie, nausée, diarrhée).

L'exposition par voie orale via l'eau de boisson provoque des troubles gastro-intestinaux (Ineris, 2005).
Il n'a pas été recueilli d'effets de l'exposition cutanée.

2.3.2. Effets cancérogènes

Aucune certitude n'a pu être acquise concernant le rôle potentiellement cancérogène du cuivre chez l'Homme.
Aucune relation dose-effet n'a pu être établie (Ineris, 2005).

Classements cancérogènes du cuivre		
Composé	Classement	Organisme
8-hydroxyquinoléate de cuivre	3	CIRC (1987)
cuivre	D	EPA (1991)

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère mutagène du cuivre.
Aucune étude n'a porté sur la génotoxicité du cuivre ou ses composés après exposition par voie respiratoire, orale ou dermique. Les résultats des études *in vivo* montrent que le sulfate de cuivre, après exposition par voie orale, semble génotoxique. Les résultats des études *in vitro* sont inconsistants concernant le sulfate de cuivre et le chlorure cuivreux (ATSDR, 2004).

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère reprotoxique du cuivre.
Il existe peu de donnée sur les effets du cuivre sur la reproduction et le développement (Ineris, 2005).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

- **OEHHA, 2008 : 100 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1 heure**

Cette VTR a été établie à partir des résultats d'une étude en milieu professionnel (ACGIH, 1991 ; Gleason, 1968 ; Whitman, 1957, 1962). Les travailleurs ont été exposés par voie respiratoire pendant une durée qui n'est pas connue. L'effet critique retenu est la **fièvre des fumées des métaux**. Il a été fixé un NOAEL de 1 mg.m^{-3} . Un facteur d'incertitude de 10 y a été appliqué (variabilité humaine).

3.2. VTR sur 8 heures

Il n'a pas été trouvé de VTR intermédiaire pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été trouvé de VTR intermédiaire pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérogènes

- **RIVM, 2001 : 1 $\mu\text{g.m}^{-3}$**

Cette VTR a été établie à partir d'un NOAEC de 0,6 mg.m^{-3} pour des **effets respiratoires et immunologiques** pour une exposition subaiguë à du chlorure de cuivre. Les lapins étaient exposés pendant 6 semaines, 5 jours par semaine, 6 heures par jour. Un NOAEC ajusté a été calculé pour prendre en compte une exposition continue ($0,09 \text{ mg.m}^{-3} = 0,6 \times 5/7 \times 6/24$) auquel il a été appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour la variabilité interspèce et 10 pour la variabilité humaine). L'étude n'est pas référencée.

3.4.2. Effets sans seuil

Il n'a pas été trouvé de VTR pour des effets sans seuil pour cette voie et cette durée d'exposition.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

- **ATSDR, 2004 : 10 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ / 1-14j**

La VTR est établie à partir de l'étude de Pizarro *et al.*, 1999 qui a exposé 60 femmes à 4 niveaux de concentrations de cuivre *via* l'eau (0,006, 0,0272, 0,0731, et 0,124 $\text{mg Cu.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$) pendant 2 semaines avec 1 semaine sans exposition entre les 2 expositions. Un NOAEL de 0,0272 $\text{mg Cu.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été observé pour des effets gastro-intestinaux auquel il a été appliqué un facteur d'incertitude de 3 pour la variabilité humaine.

4.2. VTR intermédiaire

- **ATSDR, 2004 : 10 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ / 15-365j**

La VTR est établie à partir de l'étude d'Araya *et al.*, 2003 qui a exposé des groupes de 327 à 340 individus à des concentrations de cuivre *via* l'eau de boisson (0, 0,042, 0,091 et 0,17 $\text{mg Cu.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$) pendant 2 mois. Un NOAEL de 0,042 $\text{mg Cu.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été observé pour des effets gastro-intestinaux auquel il a été appliqué un facteur d'incertitude de 3 pour la variabilité humaine.

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérigènes

- **OMS, 1982 : 0,5 $\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (provisoire)**

Cette valeur est une valeur provisoire établie par le JECFA (joint FAO/WHO expert committee on food additives). La description de cette valeur est succincte.

- **RIVM, 2001 : 140 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$**

Cette VTR a été établie à partir d'un LOAEL de 4,2 $\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ établi chez des animaux. Il y a été appliqué un facteur d'incertitude de 30. Cette VTR a été établie pour une **diminution du poids corporel** chez la souris (espèce et nombre d'individus non précisés) après une exposition chronique au gluconate de cuivre (durée d'exposition non précisée). Cette VTR fait référence à l'ATSDR dans sa version de 1990 qui a depuis été révisée.

4.3.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été retrouvé de VTR chronique pour des effets sans seuil dans la littérature consultée.

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualite-A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

Cuivre Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	100 µg.m ⁻³	1h	H	Fièvre des fumées des métaux	NOAEL = 1 mg.m ⁻³	10	OEHHA, 2008
	8h	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	1 µg.m ⁻³	-	A	Effets respiratoires	NOAEC = 0,6 mg.m ⁻³	100	RIVM, 2001
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
Digestive	Aiguë	0,01 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	1-14j	H	Effets gastro-intestinaux	NOAEL _{ajusté} = 0,0272 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	3	ATSDR, 2004
	Intermédiaire	0,01 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	14-365j	H	Effets gastro-intestinaux	NOAEL _{ajusté} = 0,042 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	3	ATSDR, 2004
	Chronique – effets non cancérogènes	140 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	A	Diminution du poids corporel	LOAEL = 4,2 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	30	RIVM, 2001
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

Fumées de cuivre : VME = 0,2 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

Poussières de cuivre : VME = 1 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

VLCT = 2 mg.m⁻³

7. Bibliographie

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2004, Toxicological Profile for Copper, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp132.html> (consulté en décembre 2014).

Denis Baise, INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 2000, Teneurs totales en « métaux lourds » dans les sols français : Résultats généraux du programme ASPITET, Courrier de l'environnement n°39.

Ineris (Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels), 2005, Cuivre et ses dérivés, Fiche de données toxicologiques et environnementales, Ineris –DRC-02-25590-02DF54.doc, Version N°1-5 mars 05, 66 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), juin 2012, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 32 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

IPCS-Inchem (International Program on Chemical Safety), 1998, Environmental Health Criteria 200 Copper, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc200.htm> (consulté en décembre 2014).

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999) http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD2_final.pdf#page=74 (consulté en décembre 2012).

RIVM (Rijksinstituut Voor Volksgezondheid), 2001, Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels, 297 p.

JOCE, 2008, regulations (EC) n°1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006. Tableau 3.1 de l'annexe VI de CLP, 6e ATP (2014)

Dioxines, furanes et polychlorobiphényles de type dioxine (N°CAS -) – REV 03/2021

I. Généralités

I.1. Identification

Le terme de « dioxines » est un nom générique qui désigne deux grandes catégories de composés, les polychlorodibenzodioxines (PCDD) et les polychlorodibenzofuranes (PCDF) qui appartiennent à la famille des hydrocarbures aromatiques polycycliques chlorés (HAPC). Les PCDD comptent 75 molécules différentes et les PCDF comptent 135 molécules différentes. Seules 17 molécules (7 PCDD et 10 PCDF), les plus toxiques et les plus présentes dans l'environnement et les organismes vivants sont généralement étudiées. Le composé le plus toxique est la 2,3,7,8-TCDD. Les autres composés qui ont des propriétés toxiques similaires à la 2,3,7,8-TCDD sont appelés « dioxin-like ».

Les polychlorobiphényles (PCB) comptent 209 molécules différentes, dont une partie a les mêmes affinités cellulaires que les dioxines, d'où leur appellation de PCB dioxin-like (PCB-DL). Seuls 12 PCB-DL, les plus toxiques et les plus présentes dans l'environnement et les organismes vivants sont généralement étudiés.

I.2. Utilisation

Les dioxines ne sont pas produites intentionnellement.

Les PCB sont des mélanges industriels fabriqués et utilisés en agriculture et dans l'industrie à partir des années 30 pour leurs propriétés isolantes (transformateurs électriques) et leur stabilité chimique et physique (huiles de coupe, encres, peinture). La production et l'utilisation des PCB sont interdites en France depuis 1987. Les mélanges de PCB ont le nom commercial d'Aroclor. On distingue plusieurs Aroclor en fonction du pourcentage pondéral de chlore qu'ils contiennent. Par exemple, l'Aroclor 1254 contient 54 % de chlore et est constitué à 95 % de tétra, penta et hexachlorobiphényles. Les 5 % restants sont des impuretés.

I.3. Sources d'exposition

Les dioxines sont produites au cours de processus thermiques, accidentels (incendies) ou intentionnels (incinération de déchets industriels, ménagers ou de jardin, combustion du bois) ou au cours de processus chimiques (traitement de la pâte à papier d'origine végétale, impuretés dans certains herbicides). Actuellement, les principales sources d'émission de dioxines sont l'incinération des déchets et la métallurgie.

Les PCB proviennent des molécules produites entre les années 1930 et 1987 (utilisation restreinte aux systèmes clos : transformateurs et condensateurs depuis 1970). C'est principalement par contamination de la nourriture (organismes aquatiques, produits carnés et laitiers) que la population générale est exposée aux PCB (OMS/IPCS, 1993).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Les dioxines et les PCB-DL ont une grande stabilité chimique et physique et une faible biodégradabilité.

Dans l'air, les dioxines et PCB-DL sont sous forme particulaire. Elles peuvent être transportées sur de longues distances avant de retomber à la surface des sols et des milieux aquatiques.

Dans l'eau, les dioxines pénètrent par dépôt atmosphérique, érosion des sols ou rejets aqueux des industries utilisant du chlore. Les dioxines et PCB-DL s'associent à des particules en suspension et sédimentent. Elles peuvent être remises en suspension par des phénomènes physiques (vent, vagues, courant) ou biologiques (mouvements de la faune aquatique). Les niveaux de concentration dans l'eau sont généralement très faibles car les dioxines sont lipophiles. Les dioxines et les PCB se concentrent dans la chaîne alimentaire aquatique.

Les PCB sont relativement insolubles. Leur solubilité décroît avec le nombre croissant d'atomes de chlore.

Dans les sols, les dioxines pénètrent peu après dépôt (95 % est retrouvé dans les 10^{1^{ers}} centimètres) du fait de leur forte affinité pour les colloïdes du sol. Les concentrations de dioxines dans les sols reflètent une contamination à long terme. La demi-vie dans les sols est de plus de 10 ans. Les dioxines présentes dans les sols sont peu transférées vers les autres compartiments environnementaux.

Les PCB sont faiblement mobiles et persistants dans les sols. La volatilité est corrélée au nombre d'atomes de chlore : Moins le congénère est chloré, plus il aura tendance à se volatiliser.

Dans les végétaux, les dioxines sont déposées à la surface des feuilles, constituant une voie de contamination pour les animaux herbivores. Les concentrations de dioxines dans les végétaux reflètent une contamination de faible antériorité.

Pour les PCB, le prélèvement racinaire est limité du fait de la forte rétention par les sols organiques et argileux. Par contre sur certains types de végétaux comme les carottes, l'accumulation des PCB peut être importante du fait de l'adhésion de particules du sol au niveau des racines ou la fixation des composés lipophiles sur certains épidermes riches en lipides. La voie de transfert la plus significative est due aux dépôts humides, ce sont donc les végétaux ayant les surfaces aériennes les plus importantes qui sont les plus exposés (laitues) aux PCB (Ineris, 2005).

Concentrations environnementales en dioxines et PCB-DL			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	zone rurale : 1-70 fg.m ⁻³ zone urbaine : 0-810 fg.m ⁻³	Allemagne, 1992 ; Angleterre, 1991- 1996 ; Belgique, 1993 ; Pays-Bas, 1991-1993 ; Autriche, 1996	INSERM, 2000
Eau	< 1 pg.L ⁻¹ (sauf OCDD : 1-100 pg.L ⁻¹)	-	InVS, 2006
Sol	zone rurale : 0,02 à 1 ng.kg ⁻¹ zone urbaine : 0,2 à 17 ng.kg ⁻¹	France, 1999	INSERM, 2000

1.5. Facteurs de conversion

Aucun facteur de conversion n'a été trouvé dans la littérature.

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

La principale source d'exposition est l'alimentation humaine (90 % des apports en dioxines), essentiellement les aliments riches en graisse animale tels que les poissons, les crustacés, le lait et les produits laitiers, les œufs et la viande. D'une façon générale, les poissons et autres produits de la mer sont plus contaminés que les animaux terrestres mais la variabilité de la contamination entre les différents échantillons est particulièrement importante pour les produits de la pêche.

L'exposition moyenne chez les adultes est estimée à 53,7 pg TEQ_{OMS}.kg⁻¹ PC.mois⁻¹, soit 1,8 pg TEQ_{OMS} kg⁻¹ PC.jour⁻¹ et chez les enfants, à 82,7 pg TEQ_{OMS}.kg⁻¹ PC.mois⁻¹, soit 2,8 pg TEQ_{OMS} kg⁻¹ PC.jour⁻¹. Ce niveau plus important pour les enfants de 3-14 ans est à mettre en rapport avec le niveau de consommation alimentaire plus important proportionnellement au poids corporel. Les niveaux d'exposition alimentaire calculés pour les dioxines et les PCB-DL pris ensemble pour la vie entière sont inférieurs à la dose mensuelle tolérable de 70 pg TEQ_{OMS} kg⁻¹ PC.mois⁻¹ pour la moyenne de la population. Cependant, 28 % de la population ont une exposition supérieure à la DMTP, rapportée à la vie entière.

Chez l'Homme, les molécules s'accumulent préférentiellement dans le foie, et le tissu adipeux. L'élimination est réalisée par les selles et le lait maternel. La demi-vie des dioxines chez l'Homme est de 7 ans. La demi-vie des PCB-DL chez l'Homme est de 5,5 à 11 ans.

2.2. Toxicité aiguë

Des effets respiratoires ont été observés chez des travailleurs Allemands exposés accidentellement de façon massive à la 2,3,7,8-TCDD. Les effets types bronchite et laryngite sont apparus quelques jours après l'exposition et des hémorragie pleuritis sont apparus 11 mois après l'exposition accidentelle (ATSDR, 1998).

Cependant, dans la majorité des expositions accidentelles à la 2,3,7,8-TCDD, les effets observés sont de type dermatologiques (chloracné).

Pour les PCB, seules des données expérimentales existent. Les symptômes sont de l'acné, des irritations cutanées, des atteintes oculaires, des atteintes hépatiques et hématologiques (INRS, 2007).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets non cancérigènes

Les études humaines sont principalement des études en milieu professionnel et des études sur l'exposition des vétérans du Vietnam et de la population vietnamienne à l'agent Orange. Les travailleurs et les vétérans du Vietnam ont été exposés à la 2,3,7,8-TCDD par voie respiratoire ou cutané. Dans toutes ces études la voie d'exposition des populations est souvent non mentionnée ainsi que le niveau d'exposition. Le principal effet observé lié à une exposition à la 2,3,7,8-TCDD est le chloracné (affection cutanée observée après une exposition aiguë à forte dose). D'autres effets ont été mis en évidence au niveau du foie (augmentation transitoire des enzymes hépatiques) et au niveau métabolique (altération du métabolisme du glucose et altération de la fonction thyroïdienne) (ATSDR, 1998). Concernant les PCB, des cas d'ingestion répétée d'aliments contaminés entraînent de l'acné, des atteintes oculaires, des atteintes digestives et neurologiques.

2.3.2. Effets cancérigènes

Il est montré de faibles excès de risques tous cancers confondus d'après l'étude de l'exposition de populations professionnelles. Certaines études montrent des risques accrus de cancers spécifiques (lymphomes, myélomes multiples, sarcomes des tissus mous, cancers du poumon, cancers du foie) (ATSDR, 1998). En deçà d'un certain niveau d'exposition, le risque cancérogène serait négligeable (OMS, 2010).

Des tumeurs digestives, hépatiques, cutanées et des leucémies ont été observées mais les études épidémiologiques en milieu professionnel relatives à une exposition aux PCB n'ont pas mis en évidence d'augmentation significative pour les populations exposées (INRS, 2007).

Classements cancérigènes des dioxines		
Composé	Classement	Organisme
2,3,7,8-TCDD	I	CIRC (1997)
Autres PCDD et PCDF	3	CIRC (1997)
Polychlorobiphényles (PCB)	2A	CIRC (1987)
	B2	EPA (1997)

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère génotoxique des dioxines et furane et n'a pas classé les PCB comme génotoxiques (JOCE, 2008).

Les dioxines n'altèrent pas le patrimoine génétique (OMS, 2010) et les tests relatifs à la génotoxicité des PCB sont le plus souvent négatifs (INERIS, 2005). Les dioxines et les PCB sont donc considérés comme non génotoxiques et donc avec des effets à seuil de dose.

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère reprotoxique des dioxines et furane et n'a pas classé les PCB comme reprotoxique (JOCE, 2008).

Le fœtus en développement est le plus sensible à l'exposition à la dioxine. Le nouveau-né, dont les systèmes organiques se développent rapidement, pourrait également être plus vulnérables à certains effets (OMS, 2010).

Les enfants de femmes ayant consommés des aliments contaminés aux PCB et à d'autres substances au cours de la grossesse présentent des anomalies au niveau de la peau et des phanères (INRS, 2007).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR aiguë dans la littérature consultée.

3.2. VTR sur 8 heures

Il n'a pas été retrouvé de VTR 8h dans la littérature consultée.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire dans la littérature consultée.

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérigènes

▪ OEHHA, 2000 : 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (dioxines et furanes)

Cette valeur a été déterminée par extrapolation à partir de la dose de référence établie pour l'exposition par voie orale par l'OEHHA (10 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{jour}^{-1}$ soit 3500 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour 1 $\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}.\text{jour}$). Cette valeur par voie orale a été déterminée à partir de l'étude de Kociba *et al.* (1978) réalisée chez des rats Sprague-Dawley mâles et femelles exposés à des doses pendant 2 ans. Les effets critiques étaient un **accroissement de la mortalité, une perte de poids, une diminution des paramètres hématologiques, une augmentation de l'excrétion urinaire de porphyrines et d'acide delta-aminolevulinique, une augmentation de l'activité sérique de la phosphatase alcaline, de la transférase gamma-glutamyl et de la transaminase glutamique-pyruvique et des changements histopathologiques dans le foie, les tissus lymphoïdes, les poumons et les tissus vasculaires**. Le NOAEL observé était de 1 $\text{ng.kg}^{-1}.\text{jour}^{-1}$, auquel a été appliqué un facteur 100 (10 pour la variabilité inter-espèce et 10 pour la variabilité intra-espèce).

▪ Expertise Ineris, 2015 : 4.10⁻⁵ $\mu\text{g TEQ.m}^{-3}$ (OEHHA, 2000)

3.4.2. Effets cancérigènes

▪ OEHHA, 2009 : différentes VTR pour les congénères des dioxines et furanes

Congénères des dioxines	Unit risk ($\mu\text{g.m}^{-3}$) ⁻¹
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxine	38
1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzo-p-dioxine	38
1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzo-p-dioxine	3,8
1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzo-p-dioxine	3,8
1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzo-p-dioxine	3,8
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzo-p-dioxine	0,38
1,2,3,4,5,6,7,8-Octachlorodibenzo-p-dioxine	0,0038
Congénères des furanes	Unit risk ($\mu\text{g.m}^{-3}$) ⁻¹
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofurane	3,8
1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzofurane	1,9
2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofurane	19
1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzofurane	3,8
1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane	3,8
1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzofurane	3,8
2,3,4,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane	3,8
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofurane	0,38
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlorodibenzofurane	0,38
1,2,3,4,5,6,7,8-Octachlorodibenzofurane	0,0038

Les VTR sont dérivées de 2 études de cancérogénèse du NTP. La 1^{ère} étude (NTP, 1982) porte sur l'exposition de souris mâle à de la TCDD par gavage pour des **adenomes/carcinomes hépatocellulaires**. La seconde étude (NTP, 1980) porte sur l'exposition de rats femelles à de l'HexaCDD par gavage pour l'apparition de **nodules néoplasiques et de carcinomes hépatocellulaires**. Un certain nombre d'hypothèses ont été posées et

l'utilisation de modèles à multi-niveaux ont permis de convertir les données d'exposition animales en données d'exposition équivalentes humaines.

- **Expertise Ineris, 2013 : aucune VTR sans seuil retenue**

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

- **ATSDR, 1998 : $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD) / I-14j**

La VTR est établie à partir de l'étude de Burleson *et al* (1986) qui a porté sur l'exposition par gavage de groupes de souris (n=20) B6C3F1 à des concentrations de 0, 0,001, 0,005, 0,01, 0,05 et 0,1 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$. Un NOAEL de 0,005 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été déterminé pour une **diminution de la résistance au virus influenza A** auquel a été appliqué un facteur d'incertitude de 30 (3 pour l'extrapolation des données animales à l'homme et 10 pour la variabilité humaine).

- **Expertise Ineris, 2013 :**
 - **$2 \cdot 10^{-4} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD) / I-14j (ATSDR, 1998)**
 - **$1 \cdot 10^{-3} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,4,7,8-PeCDF) / I-14j (ATSDR, 1994)**

4.2. VTR intermédiaire

- **ATSDR, 2004 : $2 \cdot 10^{-5} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD) / I5-365j**

La VTR est établie à partir de l'étude de DeCaprio *et al* (1986) qui a porté sur l'exposition via l'alimentation de groupes de cochon guinée (n=20) à des concentrations de 0,0001, 0,0007, 0,05 et 0,028 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ de 2,3,7,8-TCDD pendant 90j. Un NOAEL de 0,0007 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été déterminé pour une **diminution du poids du thymus** auquel a été appliqué un facteur d'incertitude de 30 (3 pour l'extrapolation des données animales à l'homme et 10 pour la variabilité humaine).

- **Expertise Ineris, 2013 :**
 - **$2 \cdot 10^{-5} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD) (ATSDR, 1998)**
 - **$3 \cdot 10^{-5} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,4,7,8-PeCDF) (ATSDR, 1998)**

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérogènes

- **RIVM, 2001 : 1-4 pg.kg⁻¹.j⁻¹ (dioxines, furanes et PCB coplanaires)**

Cette VTR reprend l'ancienne VTR de l'OMS (1998). Pour mémoire, L'OMS a fixé en 1998, une dose journalière tolérable (DJT) de 1 à 4 pg/kg/j, 4 étant la DJT à respecter et 1 l'objectif à atteindre. Cette dose a été établie à partir d'un LOAEL de 14 à 37 pg/kg/j pour des **effets neurocomportementaux, des endométrioses chez les progénitures des singes, une baisse de la quantité de sperme, une immunosuppression et une augmentation des malformations congénitales chez les progénitures** des rats exposés. Ces résultats sont issus de 5 études expérimentales animales qui avaient permis de définir quelle était la charge corporelle nécessaire à l'apparition de l'effet critique. Ces charges corporelles ont ensuite été transposées chez l'Homme en doses quotidiennes en tenant compte de la demi-vie des dioxines chez l'Homme (7,5 ans). Les doses humaines correspondant aux charges corporelles ont été calculées sous l'hypothèse d'un état d'équilibre de la charge corporelle. Les valeurs obtenues variaient, selon l'étude, de 37 à 14 pg TEQ/kg pc/j. Seul un facteur 10 a été rajouté (amenant aux valeurs de 1 à 4 pg/kg de pc/j) à ces valeurs car, pour l'OMS, l'usage de charges corporelles a permis de s'affranchir des différences de toxicocinétique, la sensibilité de l'Homme était au plus celle de l'animal et seul a été pris en compte le fait que les études étaient basées sur des doses minimales entraînant un effet nocif observé (DMENO) et non des doses sans effet nocif observé (DSENO).

Depuis 2002, cette VTR a été revue par l'OMS.

- **OEHA, 2000 : $10 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD)**

Cette valeur par voie orale a été déterminée à partir de l'étude de Kociba *et al*. (1978) réalisée chez des rats Sprague-Dawley mâles et femelles exposés à des doses de 2,3,7,8-TCDD pendant 2 ans. Les effets critiques étaient un **accroissement de la mortalité, une perte de poids, une diminution des paramètres hématologiques, une augmentation de l'excrétion urinaire de porphyrines et d'acide delta-aminolevulinique, une**

augmentation de l'activité sérique de la phosphatase alcaline, de la transférase gamma-glutamyl et de la transaminase glutamique-pyruvique et des changements histopathologiques dans le foie, les tissus lymphoïdes, les poumons et les tissus vasculaires. Le NOAEL observé était de $1 \text{ ng.kg}^{-1}.\text{jour}^{-1}$, auquel a été appliqué un facteur 100 (10 pour la variabilité inter-espèce et 10 pour la variabilité intra-espèce).

▪ **ATSDR, 1998 : $1 \text{ pg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD)**

Cette valeur est basée sur un LOAEL de $0,12 \text{ ng.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour des **effets sur le développement mental (interactions sociales altérées) de progénitures** de 8 singes Rhesus femelles exposées par l'alimentation à 0, 5 25 ppt pendant environ 16 mois, de avant la conception, jusqu'à la lactation (Schantz *et al.*, 1992). Un facteur d'incertitude de 90 a été appliqué (3 pour l'utilisation d'un LOAEL, 3 pour une extrapolation de l'animal à l'Homme et 10 pour tenir compte de la variabilité humaine).

▪ **Santé Canada, 1990 : $10 \text{ pg TEQ.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (dioxines et furanes)**

Cette valeur est basée sur les résultats de deux études montrant qu'à la dose quotidienne de 1 ng/kg sur toute la vie, la 2,3,7,8-TCDD n'a pas d'effet sur l'incidence du cancer chez les rongeurs (IARC, 1987) et n'influe pas **sur la fertilité, l'importance des portées, la résorption des fœtus** et la physiologie des rats exposés à cette dose pendant trois générations (Murray *et al.*, 1979). Santé Canada considère que cette dose correspond à la concentration sans effet nocif observé de la 2,3,7,8-TCDD. Un facteur d'incertitude de 100 a été appliqué pour la variabilité inter et intra-spécifique.

▪ **OMS/IPCS, 2001 : $70 \text{ pg.kg}^{-1}.\text{mois}^{-1}$ (dioxines, furanes et PCB dioxin-like) (provisoire)**

Depuis 15 ans, la valeur toxicologique de référence a évolué. En 1990, l'OMS avait fixé une dose journalière tolérable (DJT) de 10 picogrammes par kilogramme de poids corporel et par jour ($10 \text{ pg.kg}^{-1}.\text{PC.j}^{-1}$) qui ne concernait que les dioxines. En 1998, l'OMS a fixé une DJT de 1 à 4 pg TEQ OMS.kg⁻¹ PC.j⁻¹ qui comprenait les dioxines et les PCB-DL. Depuis 2001, la valeur de référence est une dose mensuelle tolérable de $70 \text{ pg TEQ OMS.kg}^{-1} \text{ PC mois}^{-1}$ (soit $2,33 \text{ pg TEQOMS.kg}^{-1}.\text{PC.j}^{-1}$) proposée par le JECFA (Joint Expert Committee on Food and Additives, comité conjoint FAO/OMS). Elle représente la médiane de 4 DMTP dérivées de 2 modèles d'extrapolation (l'un linéaire et l'autre non) appliqué à 2 études (Ohsako *et al.*, 2001 ; Faqi *et al.*, 1998). Les modèles permettent d'extrapoler la charge maternelle en dioxines après une ingestion unique à la charge attendue après une exposition multiple. Il y est appliqué un facteur de sécurité propre à chaque étude. Les effets rapportés dans les études d'Ohsako *et al.*, 2001 et Faqi *et al.*, 1998 portent sur le **système reproductif et développemental**.

Cette VTR est applicable à l'ingestion de PCDD, de PCDF et de PCB-DL exprimés en TEF_{OMS} (facteur d'équivalence toxique) (JECFA, 2002).

▪ **Afssa, 2007 :**

○ **20 ng/kg/j – 209 congénères PCB-NDL**

○ **10 ng/kg/j – 6 congénères PCB-NDL (PCB-28, 52, 101, 138, 153, 180)**

Concernant les PCB-NDL, parmi les effets les plus critiques rapportés chez l'animal adulte (rat sevré) avec des congénères individuels (PCB 28, 128 et 153), on observe des **effets neurotoxiques, des effets sur la thyroïde et des effets hépatotoxiques**. La dose sans effet hépatotoxique nocif observé (DSENO ou NOAEL en anglais) rapportée pour le PCB 153 dans une étude de 90 jours chez le rat est de $34 \text{ µg/kg p.c./jour}$ (Chu *et al.*, 1996). Les études toxicologiques menées chez le singe aux stades précoces de l'organogenèse avec des mélanges de congénères représentatifs des profils retrouvés dans l'environnement et dans le lait humain ont toutefois mis en évidence que des effets sur le développement cérébral des fœtus pouvaient être induits à des doses inférieures à celles observées chez l'animal adulte. Ces données ont donc été retenues comme étant les plus pertinentes pour la construction de la valeur toxicologique de référence (VTR) de $20 \text{ ng/kg p.c./jour}$ établie pour les 209 congénères de PCB (cf. valeur retenue par le RIVM (Pays-Bas) en 2001; proposée par l'OMS au cours du «2nd PCB workshop» de Brno (République Tchèque, mai 2002), puis par l'Afssa en France en 2003). Cette VTR considère un facteur de sécurité de 6 pour tenir compte de l'incertitude et de la variation intra-spécifique.

Sachant par ailleurs que la somme de 6 ou 7 congénères de PCB les plus fréquemment retrouvés dans les matrices alimentaires (PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180) représente environ 50 % de l'ensemble des congénères présents, une DJT de $10 \text{ ng/kg p.c./jour}$ a été retenue par l'Afssa pour ce groupe de 6 ou 7 congénères (cf. démarche du RIVM pour estimer le risque lié à l'exposition alimentaire aux PCB-NDL).

▪ **EPA, 2012 : $7.10^{-10} \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD)**

Cette VTR est déduite de deux études de Mocarelli *et al.* réalisées en 2008 et 2011 portant sur des **réductions des concentrations de spermatozoïdes** chez les sujets exposés à la TCDD in utero et par l'allaitement. Des effets similaires ont été observés chez les hommes (2008) et chez les rats (2011).

Pour les deux études, la modélisation PBPK a été utilisée pour estimer les prises orales quotidiennes de TCDD. La modélisation PBPK supplémentaire a été réalisée pour Mocarelli *et al.* (2008) pour tenir compte du profil temporel de la LASC (lipid adjusted serum concentrations), caractérisée par une forte exposition initiale suivie d'une lente élimination de la TCDD sur une période moyenne de 3 ans. Le groupe de faible exposition (TCDD LASC = 68 ppt) a été désigné comme une DMENO et a permis de déterminer un LOAEL de 0,020 ng / kg par jour. La DMENO a été calculée comme la moyenne de l'apport d'exposition sur une fenêtre d'exposition critique de la sensibilité de 10 ans (les 10 premières années de la vie).

Un facteur d'incertitude de 30 a été utilisé comme suit : un facteur de 10 pour passer d'un LOAEL à un NOAEL et un facteur de 3 pour tenir compte de la variabilité interhumaine (intraespèce).

- **Expertise Ineris, 2013 : $7.10^{-7} \mu\text{g TEQ.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD) (USEPA, 2012)**

- **Expertise Anses, 2016 :**

- **10 ng/kg/j (Afssa, 2007) – 6 congénères de PCB-NDL**
- **0.7 pg TEQ OMS.kg⁻¹.j⁻¹ (USEPA, 2012) – Dioxines-furanes**

Dans son rapport relatif à l'Alimentation Totale Infantile, l'Anses a retenu la VTR de l'EPA pour des **effets sur la reproduction et le développement**.

4.3.2. Effets cancérogènes

- **OEHA, 2009 : $130\ 000 (\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$**

Cette VTR est déduite de deux études effectuées par le NTP en 1980 et 1982 sur des souris et des rats qui ont été gavés soit à de la TCDD (1982), soit à des congénères d'hexaCDD (1980). Les doses d'exposition ont varié entre 0,01 et 10 µg/kg/semaine en fonction des groupes d'animaux et de leur sexe. Des relations significatives ont été obtenues pour des effets sur la thyroïde et sur le foie (adéno-carcinomes hépatocellulaires). Les données sur l'exposition des animaux (NTP, 1980, 1982) ont été adaptées pour une exposition humaine. Aucun coefficient d'incertitude permettant d'extrapoler les résultats obtenus sur les animaux à l'homme n'est présenté.

Congénères des dioxines	Slope factor ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxine	$1,3.10^{+5}$
1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzo-p-dioxine	$1,3.10^{+5}$
1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzo-p-dioxine	$1,3.10^{+4}$
1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzo-p-dioxine	$1,3.10^{+4}$
1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzo-p-dioxine	$1,3.10^{+4}$
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzo-p-dioxine	$1,3.10^{+3}$
1,2,3,4,5,6,7,8-Octachlorodibenzo-p-dioxine	$1,3.10^{+1}$
Congénères des furanes	Slope factor ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+4}$
1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzofurane	$6,5.10^{+3}$
2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofurane	$6,5.10^{+4}$
1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+4}$
1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+4}$
1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+4}$
2,3,4,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+4}$
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+3}$
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+3}$
1,2,3,4,5,6,7,8-Octachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+1}$

- **Expertise OMS : aucune VTR sans seuil**

Les dioxines ont un effet cancérogène mais n'affectent pas l'ADN des personnes exposées, par conséquent, elles peuvent être considérées comme des concérigènes à seuil de dose (IARC, 2012)

- **Expertise Ineris, 2015 : aucune VTR sans seuil retenue**

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°DGS/EAI/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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Dioxines, furanes et PCB Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS 2014							
Voie d'exposition	Durée de l'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	-	-	-	-	-	-
	8h	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes (Dioxines et furanes)	$4.10^{-5} \mu\text{g.m}^{-3}$	-	A	Effets sur les systèmes digestif, reproductif et développemental, endocrinien, respiratoire, hématopoïétique	100	Expertise Ineris, 2013 (OEHA, 2000)
	Chronique – effets cancérogènes (2,3,7,8-TCDD)	Aucune retenue	-				Expertise Ineris, 2013
Digestif	Aiguë (2,3,7,8-TCDD)	$2.10^{-4} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	1-14j	A	Effet sur le système respiratoire et	30	Expertise Ineris, 2013 (ATSDR, 1998)
	Aiguë (2,3,4,7,8-PeCDF)	$1.10^{-3} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	1-14j	A	Effet sur le système immunitaire	3000	Expertise Ineris, 2013 (ATSDR, 1994)
	Intermédiaire (2,3,7,8-TCDD)	$2.10^{-5} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	15-365j	A	Diminution du poids du thymus	30	Expertise Ineris, 2013 (ATSDR, 1998)
	Intermédiaire (2,3,4,7,8-PeCDF)	$3.10^{-5} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	15-365j	A	Effets hépatiques	3000	Expertise Ineris, 2013 (ATSDR, 1994)
	Chronique – effets non cancérogènes : 2,3,7,8-TCDD et PCB DL	$7.10^{-7} \mu\text{gTEQ OMS.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	-	H	Effets sur la reproduction et le développement	30	Expertise Anses, 2016 (USEPA, 2012)
	Chronique – effets non cancérogènes : 6 PCB NDL	$10 \text{ ng.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	-	H	effets neurotoxiques, des effets sur la thyroïde et des effets hépatotoxiques	6	Expertise Anses, 2016 (Afssa, 2007)
	Chronique – effets cancérogènes (TCDD)	Aucune retenue	-				Expertise Ineris, 2013

6. Valeurs d'exposition professionnelles

Il n'existe pas de valeurs limites d'exposition professionnelles.

7. Bibliographie

Afssa, Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à l'établissement de teneurs maximales pertinentes en polychlorobiphényles qui ne sont pas de type dioxine (PCB « non dioxin-like », PCB-NDL) dans divers aliments, 2007. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/content/avis-de-l%E2%80%99agence-fran%C3%A7aise-de-s%C3%A9curit%C3%A9-sanitaire-des-aliments-relatif-%C3%A0-l%C3%A9tablissement-de-0> (consulté en mai 2018)

Afssa, AVIS de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à la détermination d'une valeur limite en polychlorobiphényles dans les eaux destinées à la consommation humaine, 2009. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2008sa0104.pdf> (consulté en mai 2018)

AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments), 2006, Dioxines, furanes et PCB de type dioxine : Evaluation de l'exposition de la population française. Questions/Réponses, <http://www.afssa.fr/Ftp/Afssa/34612-34613.pdf> (consulté le 02/10/07).

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2000, Toxicological profile for polychlorinated biphenyls (PCBs), (consulté en septembre 2012).

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2000, Toxicological profile for polychlorinated biphenyls (PCBs), www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp104.pdf (consulté en septembre 2012).

EPA (Environmental Protection Agency). 1997, polychlorinated biphenyls. <http://www.epa.gov/iris/subst/0294.htm#carc> (consulté en septembre 2012)

EPA (Environmental Protection Agency). 2012, 2,3,7,8-TCDD. <http://www.epa.gov/iris/subst/1024.htm#c> (consulté en septembre 2012)

Ineris (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques), 2005, Dioxines, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, Ineris – DRC-02-25590-02DF46.doc Version n°2-1 avril 2005, 82 p.

Ineris (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques), 2005, Polychlorobiphényles, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS –DRC-02-25590-00DF045.doc Version n°2-1 – novembre 2005, 70 p.

INRS, Fiche toxicologique Biphényles chlorés, FT 194, 2007. <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%20194> (consulté en septembre 2012)

InVS (Institut de Veille Sanitaire), 2006, Dioxines et usines d'incinération d'ordures ménagères, <http://www.invs.sante.fr/surveillance/dioxines/default.htm> (consulté le 02/10/07).

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

INSERM (Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale), 2000, Dioxines dans l'environnement. Quels risques pour la santé ?, Expertise collective INSERM, 406 p.

JOCE, 2008, regulations (EC) n°1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Chronic Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999) www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=90 (consulté en septembre 2012)

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Air toxics hot spots risk assessment guideline. Chemical-specific summaries of the information used to derive unit risk and cancer potency values, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2009/AppendixB.pdf

OMS/IPCS (Organisation Mondiale de la Santé), 2002, Safety evaluation of certain food additives and contaminants. Polychlorinated dibenzodioxins, polychlorinated dibenzofurans and coplanar polychlorinated biphenyls, <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v48je20.htm#3.2.5.1> (consulté septembre 2012)

OMS/IPCS (Organisation Mondiale de la Santé), 2003, Cicad 55. polychlorinated biphenyls : human health aspects. <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad55.htm> (consulté septembre 2012)

OMS/IPCS, 1993, polychlorinated biphenyls and terphenyls, environmental health criteria 140, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc140.htm#9.1.1> (consulté en septembre 2012)

OMS, aide mémoire n°225. Les dioxins et leurs effets sur la santé. Mai 2010

RIVM (national institute for public health and the environment), 2001, Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels, <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701025.pdf>

Santé Canada, 1990. Polychlorodibenzodioxines et polychlorodibenzofurannes. http://www.ec.gc.ca/substances/ese/fre/pesip/lcip1_dioxines.cfm (consulté en septembre 2012)

Dioxyde de soufre (N° CAS 7446-09-5) - REV 03/2021

I. Généralités

I.1. Identification

Le dioxyde de soufre est un gaz incolore, d'odeur piquante.

I.2. Utilisation

Le dioxyde de soufre a de nombreuses utilisations industrielles : fabrication de l'acide sulfurique, blanchiment de la pâte à papier, du sucre et de certaines fibres, antiparasitaire et antiseptique dans l'industrie alimentaire, le stockage de grains et le traitement des vins, agent de réduction en sucrerie, féculerie, tannerie, teintures, extracteur dans le raffinage du pétrole, réfrigérant dans l'industrie du froid, fabrication de composés du soufre (sulfites, bisulfites...) (INRS, 2006).

I.3. Sources d'exposition

Le dioxyde de soufre a une origine à la fois anthropique et naturelle. Les principales émissions sont d'origine anthropique et représentées à 75-85 % par la combustion des combustibles fossiles (charbon et pétrole) pour le chauffage domestique, la production d'électricité ou les véhicules à moteur. Ensuite les sources d'exposition proviennent des opérations industrielles (raffinage et fusion).

Les sources naturelles d'émission de dioxyde de soufre sont constituées par la décomposition naturelle du H_2S des végétaux, les éruptions volcaniques et les feux de forêts (Ineris, 2005).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'air, le dioxyde de soufre est présent sous forme gazeuse. Il se transforme en SO_3 par réactions chimiques et photochimiques. Sa demi-vie est de 3 à 5 heures.

Dans l'eau, le dioxyde de soufre est très soluble. Il s'oxyde en sulfate.

Dans les sols le dioxyde de soufre est plus ou moins adsorbé en fonction du pH et de la composition du milieu.

Dans les végétaux, le dioxyde de soufre est absorbé par les feuilles. Il est naturellement présent dans certains aliments (ail, oignons) et dans le vin suite au processus de vinification (Ineris, 2005).

Concentrations environnementales en dioxyde de soufre			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	zone urbaine < 5 $\mu g.m^{-3}$	synthèse européenne	OMS, 2006
	zone urbaine < 50 $\mu g.m^{-3}$		
	4,6 $\mu g.m^{-3}$	moyenne en 2003 dans 64 stations urbaines françaises	MEDD, 2003
	zone éloignée : 1-5 $\mu g.m^{-3}$	-	ATSDR, 1998

I.5. Facteurs de conversion

1 ppm = 2,62 $mg.m^{-3}$ (OEHA, 2008)

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

La principale voie d'exposition est respiratoire. Le dioxyde de soufre est rapidement absorbé par la muqueuse nasale et les voies aériennes supérieures. Le nez filtre la majorité du dioxyde de soufre inhalé. L'effet toxique du dioxyde de soufre proviendrait du gaz lui-même ou des ions bisulfites et sulfites formés à la surface des voies respiratoires. Le bisulfite est considéré comme un agent bronchospastique chez les asthmatiques. Le dioxyde de soufre est distribué par la circulation sanguine dans tout l'organisme. La voie majeure de détoxification est la transformation hépatique en sulfate. L'élimination est essentiellement urinaire (Ineris, 2005).

2.2. Toxicité aiguë

Au décours d'une intoxication aiguë, on peut voir se développer un syndrome obstructif ou un état d'hyperréactivité bronchique qui peut persister pendant plusieurs années. Une exposition à des doses inférieures à 50 ppm (131 mg.m⁻³) provoque une irritation des muqueuses : rhinite, laryngite, bronchite et conjonctivite. L'exposition massive peut conduire à une bronchiolite oblitérante ou à un œdème pulmonaire hémorragique ou à une atteinte respiratoire obstructive (INRS, 2006).

Chez l'adulte sain, l'exposition de courte durée à 13 à 26 mg.m⁻³ conduit à une bronchoconstriction. Chez l'asthmatique, ces mêmes effets sont augmentés par l'effort physique pour des concentrations de 0,3 mg.m⁻³ (INRS, 2006).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

L'exposition prolongée augmente l'incidence de pharyngites et de bronchites chroniques qui peuvent s'accompagner d'emphysème et d'altération de la fonction pulmonaire. Ces effets respiratoires sont augmentés par la présence de particules respirables, le tabagisme et l'effort physique. Le dioxyde de soufre peut aggraver l'asthme et les maladies pulmonaires inflammatoires ou fibrosantes.

Aux concentrations urbaines de certaines villes canadiennes (moyenne : 5 µg.m⁻³) et américaines (moyenne : 18 µg.m⁻³), il est associé une apparition ou une aggravation des affections respiratoires (toux, dyspnée) et une augmentation du taux de mortalité par maladie respiratoire ou cardiovasculaire (OMS, 2006).

Le dioxyde de soufre peut également provoquer des irritations oculaires.

2.3.2. Effets cancérogènes

Le dioxyde de soufre pourrait jouer un rôle dans le développement du cancer bronchopulmonaire (INRS, 2006).

Les études récentes sur des séries chronologiques portant sur les admissions hospitalières pour pathologies cardiaques à Hong Kong et à Londres n'ont pas permis de mettre en évidence un seuil en-dessous duquel il n'y aurait pas d'effet sur la santé (concentrations testées jusqu'à 5 µg.m⁻³ par 24 heures). Si ce seuil existe, il doit être très bas (OMS, 2006).

Classements cancérogène du dioxyde de soufre	
Classement	Organisme
3	CIRC (1992)

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas classé le dioxyde de soufre comme mutagène (JOCE, 2001 ; JOCE, 2008).

Il n'existe aucune étude humaine sur le caractère génotoxique du SO₂ suite à une exposition aiguë. Cependant, 2 études ont montré une augmentation de l'incidence des aberrations chromosomiques et des échanges des chromatides sœurs dans les lymphocytes de travailleurs exposés en moyenne à 15,9 ppm de SO₂ dans une usine en Inde (Yadav and Kaushik, 1996) et de 0,13 à 4,57 ppm de SO₂ dans une usine en Chine (Meng and Zhang, 1990). Les résultats de ces études sont discutables car aucun facteur de confusion n'est discuté. Des tests sur des cellules de mammifères n'ont pas montré le caractère mutagène du SO₂ (Thompson et Pace, 1962) (EPA, 2010).

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas classé le dioxyde de soufre comme reprotoxique (JOCE, 2001 ; JOCE, 2008).

Il n'a pas été mis en évidence de lien de causalité entre l'exposition au dioxyde de soufre et des effets sur la reproduction et le développement.

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

▪ ATSDR, 1998 : 26,2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1 à 14 jours

Dans l'étude princeps (Sheppard *et al.*, 1981), un LOEL¹ de 262 $\mu\text{g.m}^{-3}$ a été déterminé pour l'apparition d'une **bronchoconstriction** chez des sujets asthmatiques pratiquant un exercice physique modéré lors d'une exposition de 10 minutes. Un facteur d'incertitude de 9 (3 pour l'utilisation d'un LOEL et 3 pour la variabilité intra-espèces), arrondi à 10, a été appliqué.

Bien que dans l'étude princeps, la durée d'exposition des sujets était de l'ordre de 10 minutes, cette VTR est, comme toutes les VTR de l'ATSDR pour des expositions aiguës, établie pour une durée d'exposition de 1 à 14 jours. Cependant, l'OMS dit bien que les expositions plus longues que les quelques minutes initiales n'ont pas d'impact sur la nature et la sévérité des effets. Les expositions calculées sur des pas de temps supérieurs à 10 minutes vont donc lisser les pics de concentrations.

▪ OEHHA, 2008 : 660 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1 heure

Cette VTR est établie pour des déficiences de la fonction respiratoire, en particulier chez les sujets asthmatiques. Cette VTR s'appuie sur les résultats de 2 NOAEL et 3 LOEL d'études en populations humaines et menées, entre 1983 et 1987, sur différentes catégories d'individus (sujets sains, asthmatiques ou atopiques, pratiquant ou non un exercice physique), chez qui des effets respiratoires notamment des **bronchoconstrictions** ont été observés. Les NOAEL considérés sont de 0,2 ppm pour 60 minutes (Linn *et al.*, 1987) et de 0,25 ppm pour 75 minutes (Roger *et al.*, 1985). Les LOEL indiqués sont de 0,4 ppm pour une exposition de 5 minutes (Linn *et al.*, 1983) et de 60 minutes (Linn *et al.*, 1987) et 0,5 ppm pour 75 minutes (Roger *et al.*, 1985). Le NOAEL retenu est de 0,25 ppm (0,66 mg.m^{-3}) pour une exposition d'une heure. Aucun facteur d'incertitude n'a été appliqué (car la VTR repose sur des NOAEL provenant d'études humaines menées sur des personnes asthmatiques).

▪ Expertise Ineris, 2011 : VTR = 30 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (ATSDR, 1998)

Cette valeur est basée sur la seule VTR disponible, celle de l'ATSDR. De manière générale, les REL de l'OEHHA pour des expositions de 1 à 8 heures correspondent à des seuils accidentels et ne sont pas retenus par l'INERIS dans ces choix de VTR.

3.2. VTR 8 heures

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.4. VTR chronique

Les organismes consultés n'ont pas établi de VTR pour une exposition chronique.

Depuis la dernière révision (OMS, 2006), l'OMS ne propose plus de valeur guide annuelle pour l'exposition au dioxyde de soufre. La valeur recommandée pour 24 heures garantit des concentrations moyennes annuelles faibles. L'OMS indique que des études récentes (Wong *et al.*, 2002 ; Burnett *et al.*, 2004 ; Pope *et al.*, 2002) n'ont pas pu fournir de preuve de l'existence d'un seuil pour les effets sur la santé de concentrations de dioxyde de soufre (concentrations diminuées jusqu'à 5 $\mu\text{g.m}^{-3}$). S'il existe un seuil, il doit être très bas. De plus, il y aurait encore une

¹ LOAEL : Lowest observed adverse effect level. Cf. la définition indiquée dans le Glossaire relatif à l'évaluation des risques sanitaires.

grande incertitude concernant le fait de savoir si le dioxyde de soufre est bien responsable des effets observés ou s'il n'est qu'un substitut des particules ultrafines ou d'une autre substance corrélée.

3.4.1. Effets non cancérigènes

Il n'a pas été recueilli de VTR pour ce type d'effet, cette voie et cette durée d'exposition.

3.4.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été recueilli de VTR pour ce type d'effet, cette voie et cette durée d'exposition.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie d'exposition

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Dioxyde de soufre Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	30 µg.m ⁻³	1-14j	H	Bronchoconstriction	LOAEL = 262 mg.m ⁻³	10	Expertise Ineris, 2011 (ATSDR, 1998)
	8h	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
Digestive	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

VME = 5 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

VLCT = 10 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

7. Bibliographie

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 1998, Toxicological Profile Sulfur Dioxide, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp116.html> (consulté en décembre 2014).

Ineris (Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels), 2011, Dioxyde de soufre SO₂, Fiche de données toxicologiques et environnementales, Ineris–DRC-11-117259-10352A Version N°2.2 - septembre 2011, 54 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 2006, Dioxyde de soufre, Fiche toxicologique 41, 8 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 2012, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 32 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

JOCE, 2008, regulations (EC) n°1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2006, Air Quality Guidelines. Global update 2005, 496 p, <http://www.euro.who.int/Document/E90038.pdf> (consulté en décembre 2014).

OMS, 2006, Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre, Mise à jour mondiale 2005, Synthèse de l'évaluation des risques, WHO/SDE/PHE/OEH/06.02, 21 p.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999) http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD2_final.pdf#page=272 (consulté en décembre 2014)

Manganèse (N° CAS 7439-96-5) – REV 05/2018

I. Généralités

I.1. Identification

Le manganèse se présente sous forme solide dans les conditions ambiantes habituelles (Ineris, 2007).

I.2. Utilisation

Le manganèse entre dans la composition de nombreux alliages avec le fer, le cuivre, le titane, le nickel etc.... Il est utilisé pour ses propriétés de résistance à l'eau de mer, de résistance à la corrosion, de résistance à la rupture, de malléabilité (Ineris, 2007).

I.3. Sources d'exposition

Le manganèse est présent dans la croûte terrestre. Dans l'air, ses émissions sont principalement d'origines industrielles (production de ferro-alliage, fonderie de fer et d'acier). La combustion de combustibles fossiles (centrales électriques, fours à coke) et l'entraînement de particules de sol contribuent également à la contamination de l'atmosphère par le manganèse. Dans l'eau, les rejets industriels et le lessivage par les eaux de pluie des décharges et des sols constituent les principales sources de contamination. Dans les sols, les décharges contenant du manganèse sont la principale source de contamination (Ineris, 2007).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'air, le manganèse élémentaire et ses différents dérivés ne sont pas ou peu volatils. Leur présence est essentiellement particulaire. Par déposition sèche ou humide, cette phase particulaire peut rejoindre la surface terrestre (HSDB, 2003 ; ATSDR, 2000). Le manganèse présent dans l'atmosphère sous forme particulaire est principalement (de l'ordre de 80 %) associé à des particules ayant un diamètre équivalent inférieur à 5 µm (50 % de ces particules ayant même un diamètre équivalent inférieur à 2 µm), ce qui favorise le transport aérien de ces particules (ATSDR, 2000).

Dans l'eau, la mobilisation du manganèse est favorisée par un potentiel redox faible et/ou un pH acide. Le principal anion associé avec le manganèse est le carbonate. La concentration en manganèse est donc limitée par la relativement faible solubilité de $MnCO_3$ (Ineris, 2007).

Dans les sols, le manganèse et ses dérivés sont fortement retenus, soit par des réactions d'échanges de cations (les ions manganèse réagissent avec les composés chimiques présents à la surface du sol) soit par des réactions d'échanges de ligands (le manganèse est alors adsorbé sur d'autres oxydes, hydroxydes ou oxyhydroxydes) (Ineris, 2007).

Concentrations environnementales en manganèse			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	≈ 10 ng.m ⁻³	Estimées à partir des données ATSDR (200), OMS IPCS (1981)	Ineris, 2007
Eau	eau de mer : <1 µg.L ⁻¹	Estimées à partir des données ATSDR (2000), OMS IPCS (1981)	Ineris, 2007
Sols	< 1 g.kg ⁻¹	Estimées sur la base de données française ADEME (1995)	Ineris, 2007

I.5. Facteurs de conversion

Aucun facteur de conversion n'a été trouvé dans la littérature.

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

Les voies d'exposition au manganèse sont les voies respiratoire et orale. L'absorption du manganèse varie selon la présence d'autres substances dans l'alimentation (fer, calcium, phosphore) (OEHHA, 2008). D'une façon générale, l'absorption du manganèse par inhalation est fonction de la taille des particules inhalées. L'absorption alvéolaire est lente ; elle dépendant de la charge corporelle en manganèse. Le manganèse diffuse passivement dans le système vasculaire capillaire pulmonaire. Une proportion des particules inhalées est transférée au niveau du tractus digestif ; l'absorption digestive en cas d'inhalation de particules est significative (Ineris, 2007).

2.2. Toxicité aiguë

L'exposition aiguë au manganèse est responsable de divers syndromes pulmonaires : fièvre des métaux, pneumonie au manganèse. La fièvre des métaux est causée par l'inhalation de petites particules métalliques ($0,05\ \mu\text{m}$ à $0,1\ \mu\text{m}$) qui pénètrent profondément dans l'arbre respiratoire. Les particules activent les macrophages, entraînent une inflammation locale et des réactions vasoactives. Ces particules de manganèse ne causent pas d'atteinte structurelle ; les signes sont réversibles sans séquelles. Les manifestations cliniques débutent par une sensation de sécheresse et goût métallique dans la bouche. Puis survient une fièvre, des sueurs, des nausées, une irritation oropharyngée, une toux, des myalgies, des arthralgies, des céphalées. Ces signes se manifestent plusieurs heures après l'exposition. Ces symptômes régressent aux environs de 36 h après l'arrêt de l'exposition

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

Lors d'exposition chronique au manganèse, ce sont des atteintes du système nerveux central qui prédominent (manganisme). Les symptômes sont à la fois des troubles psychiatriques et des atteintes purement neurologiques. Trois stades ont été décrits dans l'intoxication chronique au manganèse : prodromal, intermédiaire et le manganisme. Le plus souvent les premiers troubles concernent la sphère cognitive et des troubles émotionnels. On observe une asthénie, une anorexie, des troubles musculaires, une nervosité, une irritabilité, des accès de violence, une insomnie, une baisse de la libido, une labilité des effets. La phase intermédiaire est marquée par des rires avec des cris inappropriés, des troubles de la parole, des mouvements désordonnés, des réflexes ostéo-tendineux des membres inférieurs vifs, un facies figé, des hallucinations visuelles, une sialorrhée et une confusion. Les patients ont conscience de leurs troubles. A la phase d'état, les troubles sont proches de ceux de la maladie de Parkinson. Les plaintes les plus fréquentes sont des douleurs musculaires généralisées suivies par des difficultés à marcher et à parler (Ineris, 2007).

Concernant l'intoxication par voie orale, il existe peu de données concernant la toxicité chronique, en particulier neurologique, chez l'homme après ingestion, probablement parce que l'organisme exerce un fort contrôle homéostatique sur la quantité de manganèse absorbée suite à une exposition par voie orale, ce qui protège ainsi l'organisme des effets toxiques du manganèse. Des auteurs ont observé une corrélation positive entre l'incidence de la sclérose latérale amyotrophique et l'augmentation de la teneur en manganèse dans le riz et une diminution de la concentration en magnésium dans l'eau de boisson. D'autres ont mis en évidence des difficultés d'apprentissage chez des enfants de 11 à 13 ans après une ingestion excessive de manganèse. Cependant une telle association n'est pas suffisante pour établir une relation de cause à effet puisque de nombreux autres composés, dont le plomb, ont pu être impliqués (Ineris, 2007).

2.3.2. Effets cancérigènes

L'US-EPA classe en catégorie D " substance non classifiable quant à sa cancérogénicité pour l'homme". Gerber et al. (2002) considèrent que les rares données épidémiologiques disponibles ne permettent pas de conclure sur le potentiel cancérigène du manganèse chez l'homme compte tenu des facteurs multiples d'expositions ce qui soutient les conclusions, plus anciennes, de l'Union européenne, de l'IARC et de l'US EPA.

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère génotoxique du manganèse.

Une étude épidémiologique a montré qu'une exposition au manganèse pouvait induire des aberrations chromosomiques. Les résultats sur les tests de mutagenicité *in vivo* sont contradictoires. Les résultats des tests *in vitro* montrent que certaines formes chimiques du manganèse peuvent avoir un potentiel mutagène. Cependant, au vu des résultats des tests *in vivo*, aucune conclusion ne peut être produite sur le caractère génotoxique du manganèse (ATSDR, 2008).

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère reprotoxique du manganèse.

Des travailleurs exposés de 1 à 19 ans à des poussières de manganèse à des concentrations n'entraînant pas de manganisme ($0,97 \text{ mg/m}^3$) ont présenté une altération de la fertilité, mesurée en termes de diminution du nombre d'enfants par couples mariés. Ces données suggèrent que l'altération des fonctions sexuelles chez l'homme pourrait être l'une des manifestations cliniques précoces du manganisme. Une augmentation du temps de liquéfaction du sperme, une diminution du nombre et de la viabilité des spermatozoïdes ont été observées chez trois groupes de travailleurs exposés au moins un an à des concentrations de manganèse de $0,14$ à $5,5 \text{ mg/m}^3$ sous forme de dioxyde de manganèse (Ineris, 2007).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.2. VTR sur 8 heures

▪ OEHHA, 2008 : $0,17 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ / 8 heures

L'OEHHA se base sur l'étude humaine de Roels *et al.* (1992). 92 travailleurs exposés à du manganèse ont fait l'objet d'un test qui évaluait le temps de réaction visuelle, la coordination œil-main et la fermeté à la main. Les résultats ont ensuite été compilés. Des scores anormaux ont été définis comme les valeurs qui ont dépassé la valeur du 95^{ème} percentile du paramètre estimé à partir des courbes de fréquence cumulée du groupe de contrôle. Un LIRD (Lifetime integrated respirable dust levels) a été estimé pour chaque travailleur. Cette donnée permettait de caractériser les niveaux de manganèse dans l'atmosphère pour chaque emploi multiplié par le nombre d'années que le travailleur avait passé à cette exposition. La version du logiciel US EPA BMDS 1.4 a permis de mettre en regard le LIRD de chaque travailleur avec les scores obtenus lors de sa performance lors des tests.

Finalement, la coordination œil-main / fermeté main sont les deux paramètres les plus critiques par rapport aux groupe-témoins. L'utilisation de « modèles de montage » (probit et logistique) ont permis de déterminer une BMCL05 (partie inférieure de confiance à 95% de la BMCL) de $72 \text{ } \mu\text{g Mn.m}^{-3}$ pour une **diminution des facultés neurocomportementales** (temps de réaction visuelle, coordination œil-main, stabilité main). Une correction a été apportée sur cette BMCL05 pour une exposition continue 7j/7 (ajustement). A cette BMCL05 ajustée finalement obtenue, un coefficient d'incertitude de 300 a été appliqué (3 pour la conversion du temps d'exposition de subchronique à chronique (ce facteur d'incertitude paraît difficile à comprendre), 10 pour la variabilité toxicocinétique intraespèce et 10 pour la variabilité toxicodynamique intraespèce) pour obtenir un REL.

$$\text{REL} = 72 \times 5/7 \times 1/300 = 0,17 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$$

▪ Expertise Ineris, 2012 : aucune VTR

La valeur de l'OEHHA est élaborée pour une durée d'exposition qui n'est pas compatible avec une exposition aiguë, elle n'est donc pas prise en compte dans le choix de VTR

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire dans la littérature consultée.

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérogènes

■ **US-EPA, 1993: 0,05 µg.m⁻³**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude épidémiologique réalisée sur un groupe de 92 travailleurs d'une usine de batterie, exposés au dioxyde de manganèse et de 101 témoins non exposés. La durée d'exposition était en moyenne de 5,3 ans et la moyenne géométrique d'exposition au manganèse était de 0,793 mg.m⁻³ (Roels et al, 1992). Cette VTR est basée sur un LOAEL de 0,15 mg.m⁻³, pour des **effets neurocomportementaux** (handicap de certaines fonctions neurocomportementales). Un LOAEL équivalent humain a été calculé pour prendre en compte une exposition continue (5 jours/semaine, 10m³ d'air contaminé inhalé sur 20 m³ total inhalé) et un facteur d'incertitude de 1000 a été appliqué (10 pour protéger les individus sensibles, 10 pour l'utilisation d'un LOAEL et 10 pour le nombre de données limitées).

$$RfC = 0,15 * (10/20) * (5/7) * (1/1000) = 0,05 \mu\text{g.m}^{-3}$$

■ **OMS, 2000: 0,15 µg.m⁻³**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude épidémiologique réalisée sur un groupe de 92 travailleurs d'une usine de batterie, exposés au dioxyde de manganèse et de 101 témoins non exposés. La durée d'exposition était en moyenne de 5,3 ans et l'exposition moyenne aux poussières de manganèse respirable était de 0,215 mg.m⁻³ (Roels et al, 1992). Cette VTR est basée sur la borne inférieure de l'intervalle de confiance de la benchmark dose BMDL₀₅ (30 µg.m⁻³), pour des effets **neurocomportementaux** (handicap de certaines fonctions neurocomportementales). Une BMDL₀₅ a été calculée pour prendre en compte une exposition continue (5 jours/semaine, 8h/jours) et un facteur d'incertitude de 50 a été appliqué (10 pour la variabilité humaine et 5 pour tenir compte de la susceptibilité particulières des enfants).

$$VG = 30 * (5/7) * (8/24) * (1/50) = 0,15 \mu\text{g.m}^{-3}$$

■ **Santé Canada, 2008: 0,05 µg.m⁻³**

Santé Canada a publié en 2008 un document intitulé « évaluation du risque pour la santé humaine du manganèse inhalé ». Cette VTR est établie à partir de l'étude portant sur des travailleurs italiens du secteur des alliages ferreux (Lucchini et al., 1999). Les effets considérés sont des **effets neurotoxiques**. Une BMCL₀₅ variant de 0,019 à 0,0588 mg.m⁻³ a été estimée. Une BMCL₀₅ ajustée pour une exposition continue a été calculée (5/7 x 8/24) auquel il a été appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour la variabilité humaine et 10 pour les données limitées).

■ **OEHA, 2008: 0,09 µg.m⁻³**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude épidémiologique réalisée sur un groupe de 92 travailleurs d'une usine de batterie, exposés au dioxyde de manganèse et de 101 témoins non exposés. La durée d'exposition était en moyenne de 5,3 ans et l'exposition moyenne aux poussières de manganèse respirable était de 0,215 mg.m⁻³ (Roels et al, 1992). Cette VTR est basée sur la borne inférieure de l'intervalle de confiance de la benchmark concentration BMCL₀₅ (72 µg.m⁻³), pour des **effets neurocomportementaux** (handicap de certaines fonctions neurocomportementales). La BMCL₀₅ a été ajustée pour prendre en compte une exposition continue (5 jours/semaine, 10m³ d'air contaminé inhalé sur 20 m³ total inhalé), auquel il est appliqué un facteur d'incertitude de 300 (√10 pour la durée subchronique, 100 pour la variabilité intra-espèce).

$$REL = 72 * (5/7) * (10/20) * (1/300) = 0,09 \mu\text{g.m}^{-3}$$

■ **Expertise Ineris, 2012: 0,04 µg.m⁻³ (ATSDR, 2010)**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude épidémiologique réalisée sur un groupe de 92 travailleurs d'une usine de batteries, exposés au dioxyde de manganèse et de 101 témoins non exposés. La durée d'exposition était en moyenne de 5,3 ans et l'exposition moyenne aux poussières de manganèse respirable était de 0,215 mg.m⁻³ (Roels et al, 1992). Cette VTR est basée sur la borne inférieure de l'intervalle de confiance de la benchmark concentration BMDL₁₀ (74 µg.m⁻³), établie à partir d'un modèle logistique, pour des **effets neurocomportementaux** (handicap de la coordination yeux-mains). La BMDL₁₀ a été ajustée pour prendre en compte une exposition continue (5 jours/semaine, 8 heures/jours), auquel est appliqué un facteur d'incertitude de 500 (10 pour la variabilité humaine, 10 pour les données limitées sur la reproduction et le développement et 5 pour la toxicité différente des différentes formes du manganèse).

$$MRL = 74 * (5/7) * (8/24) * (1/500) = 0,04 \mu\text{g.m}^{-3}$$

- **ATSDR, 2012: 0,3 µg.m⁻³**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude épidémiologique réalisée sur un groupe de 92 travailleurs d'une usine de batteries, exposés au dioxyde de manganèse et de 101 témoins non exposés. La durée d'exposition était en moyenne de 5,3 ans et l'exposition moyenne aux poussières de manganèse respirable était de 0,215 mg.m⁻³ (Roels et al, 1992). Cette VTR est basée sur la borne inférieure de l'intervalle de confiance de la benchmark concentration BMDL₁₀ (142 µg.m⁻³), établie à partir d'un modèle logistique, pour des **effets neurocomportementaux** (handicap de la coordination yeux-mains). La BMDL₁₀ a été ajustée pour prendre en compte une exposition continue (5 jours/semaine, 8 heures/jours), auquel est appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour la variabilité humaine, 10 pour les données limitées sur la reproduction et le développement).

$$\text{MRL} = 142 \times (5/7) \times (8/24) \times (1/100) = 0,3 \mu\text{g.m}^{-3}$$

- **Expertise Anses, 2015 : 0.3 µg.m⁻³ (ATSDR, 2012)**

Dans son rapport relatif à la Pollution chimique de l'air des enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs, l'Anses considère la VTR de l'ATSDR comme la plus pertinente.

3.4.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour ce type d'effets dans la littérature consultée.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR aiguë dans la littérature consultée.

4.2. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire dans la littérature consultée.

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérigènes

- **US-EPA 1996: 140 µg.kg⁻¹.j⁻¹**

Cette valeur a été établie à partir de plusieurs études qui ont estimé l'apport journalier de manganèse par la nourriture, **sans danger pour les personnes**. Ces valeurs varient de 2 à 5 mg.j⁻¹ (NRC, 1989), de 2,5 à 7 mg.j⁻¹ (Freeland-Graves et al, 1987) et 2 à 3 mg.j⁻¹ (sans danger) et de 8 à 9 mg.j⁻¹ (parfaitement sans danger) (OMS, 1973). A partir de ces informations, l'US-EPA a défini une dose de référence de 10 mg.j⁻¹ soit 0,14 mg.kg⁻¹.j⁻¹ pour un adulte de 70 kg. Un facteur d'incertitude de 1 a été appliqué puisque les informations sont issues d'enquête en grande population et qu'aucun effet n'a été observé. Un facteur modifiant de 1 a été utilisé pour l'évaluation de l'exposition au manganèse par la nourriture mais un facteur de 3 doit être utilisé pour l'évaluation de l'exposition par l'eau de boisson ou le sol.

$$\text{RfD}_{\text{nourriture}} = 10/70 * (1/1) = 0,14 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$$

$$\text{RfD}_{\text{eau}} = 10/70 * (1/3) = 0,04 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$$

- **Expertise Ineris, 2012: 140 µg.kg⁻¹.j⁻¹ (EPA, 1996)**

En l'absence de la valeur de l'OMS, le choix de VTR pour des expositions chroniques se limite à retenir la seule valeur disponible, celle de l'US EPA qui était jugée de bonne qualité par l'Ineris.

4.3.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été retrouvé de VTR chronique pour des effets sans seuil dans la littérature consultée.

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualite-air-interieur-vgai>

Manganèse Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	8h	Aucune VTR	-	-	-	-	-	Expertise Ineris, 2012
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets non cancérogènes	0,3 µg.m ⁻³	-	H	Effets neurocomportementaux	BMDL ₁₀ = 142 µg.m ⁻³	500	Expertise Anses, 2015 (ATSDR., 2012)
	Chronique – Effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
Digestive	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets non cancérogènes	140 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	H	Aucun effet	NOAEL= 0,14 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	1	Expertise Ineris, 2012 (EPA, 1996)
	Chronique – Effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

Pas de valeurs limites d'exposition professionnelles pour le manganèse.

7. Bibliographie

Anses, Pollution chimique de l'air des enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs, 2015. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2011sa0265Ra.pdf> (consulté en mai 2018)

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2010, Addendum Toxicological Profile for Manganese, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=102&tid=23> (consulté en janvier 2015).

EPA (Environmental Protection Agency), 1993, 1996, Manganese, <http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0373.htm> (consulté en juin 2011).

Ineris (Institut national de l'environnement industriel et des risques), 2012, Manganèse et ses dérivés, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, 81 p. (consulté en décembre 2014)

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute, 8-hour and Chronic Reference Exposure Levels (chRELs) as on December 18, 2008, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD1_final.pdf#page=170 (consulté en juin 2011).

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2000, Air Quality Guidelines for Europe, 2^{ème} édition, 288 p., http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf (consulté en juin 2011).

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2008, Guidelines for drinking-water quality, 3^{ème} édition, http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf, (consulté en juin 2011).

Santé Canada, 2008. Évaluation du risque pour la santé humaine du manganèse inhalé. <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/air/manganese-fra.php> (consulté en juin 2011).

Monoxyde de carbone (N° CAS 630-08-0) – REV 06/23

I. Généralités

I.1. Identification

Le monoxyde de carbone est, à température et pression ambiante, un gaz incolore et inodore. Il est extrêmement inflammable (INRS, 1996).

I.2. Utilisation

Le monoxyde de carbone est un combustible. Il est utilisé dans la métallurgie comme agent réducteur et pour la régénération de catalyseurs tels que le nickel. Il est utilisé dans l'industrie chimique pour la synthèse du méthanol, de l'acide acétique, de l'acide formique, de l'acide acrylique, d'aldéhydes... (INRS, 1996).

I.3. Sources d'exposition

60 % du monoxyde de carbone atmosphérique est d'origine anthropique et 40 % est d'origine naturelle. Le monoxyde de carbone d'origine anthropique provient de la combustion incomplète de matériaux carbonés (véhicules à moteur, process industriels, usines de production d'énergie à base de charbon, incinérateurs de déchets...) (OMS, 2000).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'air, le monoxyde de carbone est un gaz stable. Les concentrations fluctuent en fonction des saisons (plus élevé en hiver qu'en été). Les réactions atmosphériques impliquant le monoxyde de carbone conduisent à la formation d'ozone dans la troposphère. Il participe à des réactions de dégradation des radicaux hydroxyls (IPCS, 1999).

Dans l'eau, il n'a pas été retrouvé de données sur les concentrations en monoxyde de carbone.

Dans les sols, il n'a pas été retrouvé de données sur les concentrations en monoxyde de carbone.

Dans les végétaux il n'a pas été retrouvé de données sur les concentrations en monoxyde de carbone.

Concentrations environnementales en monoxyde de carbone			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	Bruit de fond : 0,06 – 0,14 mg.m ⁻³		OMS, 2000
	Concentrations moyennes urbaines sur 8 heures : 20 mg.m ⁻³	Villes européennes	IPCS Inchem, 1999

I.5. Facteurs de conversion

1 ppm = 1,15 mg.m⁻³ dans l'air (OEHHA, 1999)

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

La principale voie d'exposition au monoxyde de carbone est respiratoire du fait de la relative stabilité du monoxyde de carbone dans l'atmosphère. Les voies dermiques et digestives sont négligeables (OMS, 2000).

Le monoxyde de carbone est absorbé par les poumons. Ensuite, 80 à 90 % de la dose absorbée se fixe sur l'hémoglobine avec une affinité qui est 200 fois supérieure à celle de l'oxygène. La libération d'oxygène dans les tissus s'en trouve modifiée. Le monoxyde de carbone est essentiellement éliminé par ventilation pulmonaire (INRS, 1996).

2.2. Toxicité aiguë

Un début d'intoxication au monoxyde de carbone (10 % de carboxyhémoglobine) est associé à des signes peu spécifiques tels que nausées, vomissements et céphalées. Par la suite il apparaît une asthénie, des vertiges et des troubles de l'humeur (angoisse, agitation) et comportementaux (syndrome confusionnel). A partir de 40 % de carboxyhémoglobine, il est observé des comas. Au-delà de 50 à 60 % de carboxyhémoglobine, l'effet est fatal. L'importance des séquelles est corrélée avec la gravité et la durée de l'intoxication (INRS, 1996 ; OMS, 2000). Le monoxyde de carbone n'a pas d'effet pulmonaire direct, excepté à très fortes concentrations (IPCS, 1999).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

Le monoxyde de carbone aurait, à faible dose (à partir de 5 % chez des adultes en bonne santé), des effets neurologiques, en particulier sur la psychomotricité (baisse de la coordination, de la vigilance et visuelle). Il aurait également des effets sur le système cardiovasculaire.

2.3.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été recueilli de données indiquant que le monoxyde de carbone aurait des effets cancérigènes.

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas classé le monoxyde de carbone comme mutagène (JOCE, 1996 ; JOCE, 2008). Aucune étude n'a été retrouvée dans la littérature portant sur la génotoxicité du monoxyde de carbone.

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne a classé le monoxyde de carbone comme reprotoxique de catégorie I ou IA (JOCE, 1996 ; JOCE, 2008).

Le monoxyde de carbone a des effets néfastes sur les femmes enceintes, sur le fœtus et sur le nouveau né (OMS, 2000 ; IPCS, 1999).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

- **OMS, 2000 :**
 - 100 000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 15 minutes
 - 60 000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 30 minutes
 - 30 000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1 heure

Ces VG sont fondées sur l'équation exponentielle de Coburn-Foster-Kane qui prend en compte toutes les variables physiologiques connues affectant l'absorption du monoxyde de carbone. Ces valeurs respectent une carboxyhémoglobininémie inférieure à 2,5 % même en cas d'exercice physique léger ou modéré. Ces **valeurs protègent les populations de différents âges, du fœtus aux personnes âgées et les populations atteintes de maladies coronariennes**. D'après l'expertise de l'Afsset de 2007 relative aux valeurs guides de l'air intérieur pour le monoxyde de carbone, ces valeurs sont applicables aussi bien pour l'air intérieur que pour l'air extérieur.

- **OEHHA, 1999 : 23 000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1 heure**

Cette VTR est basée sur un LOAEL correspondant à 2 % de carboxyhémoglobine dans le sang (Aronow., 1981). A cette concentration, il est observé une **aggravation de l'angine de poitrine et d'autres pathologies cardiovasculaires** lors d'exercices chez des personnes connues pour avoir des pathologies cardiaques. Le NOAEL correspondant est de 1,1 à 1,3 % de carboxyhémoglobine dans le sang qui correspond à une concentration de 20 ppm (23 mg.m^{-3}) de monoxyde de carbone. Il n'a été appliqué aucun facteur d'incertitude à ce NOAEL qui a été adopté comme valeur toxicologique de référence.

- **Afsset, 2007 : VGAI**
 - 100 000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 15 minutes

- **30 000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1 heure**
- OMS, 200 et 2021 :
 - **OMS, 2000, VG sur 1 heure : 30 000 mg/m^3**
 - **OMS, 2000, VG sur 8 heures : 10 000 $\mu\text{g.m}^{-3}$**

Cette VG est fondée sur l'équation exponentielle de Coburn-Foster-Kane qui prend en compte toutes les variables physiologiques connues affectant l'absorption du monoxyde de carbone. Ces valeurs respectent une **carboxyhémoglobémie inférieure à 2,5 %** même en cas d'exercice physique léger ou modéré. Ces valeurs protègent les populations de différents âges, du fœtus aux personnes âgées et les populations atteintes de maladies coronariennes. D'après l'expertise de l'Afsset de 2007 relative aux valeurs guides de l'air intérieur pour le monoxyde de carbone, ces valeurs sont applicables aussi bien pour l'air intérieur que pour l'air extérieur.

- **OMS, 2021, VG sur 24 heures : 4 000 $\mu\text{g/m}^3$**

L'association entre les concentrations de monoxyde de carbone à court terme et les infarctus du myocarde a été jugée probablement causale par l'OMS. Cet avis se base sur des évaluations de Santé Canada et de l'US EPA, qui remontent toutes deux à 2010 et n'ont pas été révisées. Il convient de noter que l'US EPA n'a pas élaboré de norme pour le monoxyde de carbone sur 24 heures. À l'époque, malgré les preuves de la persistance d'associations à des niveaux inférieurs à 1 mg/m^3 ou 2 mg/m^3 (Bell et al., 2009).

La recommandation OMS correspond au 99^e percentile de l'exposition moyenne sur 24 heures. (équivalent à trois ou quatre jours de dépassement par an).

- **Afsset, 2007 : 10 000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 8 heures - VGAI**

3.2. VTR intermédiaire

Il n'a pas été trouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.3. VTR chronique

Il n'a pas été trouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

Non pertinent

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

Monoxyde de carbone Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	30 000 µg.m ⁻³	1h	H	Angine de poitrine	LOAEL = 23 mg.m ⁻³	I	Expertise Ineris, 2018 (Afsset, 2007)
	8h	10 000 µg.m ⁻³	8h	H	Angine de poitrine	-	I	OMS, 2000
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

VME = 55 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

7. Bibliographie

Afsset (Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail), 2007, Valeurs guide de qualité d'air intérieur. Le monoxyde de carbone, 68 p.

CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer), 2007, Evaluation globale de la cancérogénicité pour l'Homme, liste de tous les agents évalués à ce jour, <http://monographs.iarc.fr/FR/Classification/crthall.php>

EPA (Environmental Protection Agency), 2010, Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 8, 464p. http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/carbon_monoxide_final_volume8_2010.pdf

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 1996, Oxyde de carbone, Fiche toxicologique N°47, 6 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), juin 2008, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 23 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), 2002, Valeurs Toxicologiques de Référence : Méthodes d'élaboration, 84 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

IPCS-Inchem, 1999, Environmental Health Criteria 213 Carbon Monoxide, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc213.htm#1.6>

JOCE, 1996, Commission directive 96/54/EC, 22st ATP, Council Directive 67/548/EEC.

JOCE, 2008, regulations (EC) n° 1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2000, Air quality Guidelines for Europe, second edition, WHO Regional Publications, European Series, No. 91, 288 p.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999) http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD2_final.pdf#page=41 (consulté en décembre 2014).

Nickel (N° CAS 7440-02-0) et ses composés – REV 05/2018

I. Généralités

I.1. Identification

Le nickel est un métal blanc-bleuâtre, malléable, retrouvé sous la dénomination de « métaux lourds ».

Les principaux composés du nickel sont le nickel tetracarbonyle, qui est un liquide, l'acétate de nickel ($\text{Ni}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2$), le chlorure de nickel (NiCl_2), nitrate de nickel ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$), oxyde de nickel (NiO), sulfate de nickel (NiSO_4) et sous-sulfure de nickel (Ni_3S_2) qui sont des solides.

I.2. Utilisation

Le nickel est utilisé dans la production d'aciers inoxydables et de métaux spéciaux en améliorant la résistance à la corrosion et à la chaleur. Il est également utilisé dans la production d'alliages non ferreux (avec le cuivre, le chrome, l'aluminium...) pour la fabrication de pièces de monnaies, d'ustensiles de ménages et de cuisine (Ineris, 2006 ; INRS, 1992).

I.3. Sources d'exposition

Le nickel a une origine à la fois anthropique et naturelle (OMS, 2000). Les principales sources anthropiques sont la combustion de charbon ou de fuel, l'incinération des déchets, l'épandage des boues d'épuration, l'extraction et la production de nickel, la fabrication de l'acier, le nickelage et les fonderies de plomb.

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'air, le nickel est présent sous forme d'aérosol particulaire (OMS, 1991). Les particules anthropiques sont en général de diamètre inférieur ($0,1\text{-}2\text{ }\mu\text{m}$) aux particules naturelles ($2\text{-}10\text{ }\mu\text{m}$) (Santé Canada, 1994).

Dans l'eau, le nickel est relativement mobile. Il est transporté sous forme de particule ou sous forme dissoute. Le pH, le potentiel d'oxydoréduction, la force ionique, le type et la concentration des ligands organiques et inorganiques et la présence de surfaces solides pour l'adsorption sont autant de paramètres qui peuvent influencer sur le transport, le devenir et la biodisponibilité du nickel en eau douce et en eau de mer (Santé Canada, 1994).

Dans les sols, selon le type de sol et sa spéciation, le nickel peut présenter une forte mobilité parvenir jusqu'aux eaux souterraines, rivières ou lacs.

Dans les végétaux, ce sont principalement les racines qui fixent le nickel à partir de celui présent dans le sol. La bioamplification dans la chaîne alimentaire serait limitée aux organismes aquatiques. Les animaux régulent la teneur en nickel dans leurs tissus (Santé Canada, 1994).

Dans les aliments, une enquête au Canada a montré que des concentrations de nickel étaient retrouvées dans de nombreux aliments : produits laitiers, viande et volaille, poisson, fruits, céréales... (Santé Canada, 1994).

Concentrations environnementales en nickel			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	10-50 et 9-60 ng.m ⁻³	ville d'Europe	OMS, 2000
	13 ng.m ⁻³	30 villes américaines entre 1970 et 1974	
	zone éloignée : 0,1-3 ng.m ⁻³	-	IPCS, 1991
	zone éloignée : 0,01-60 ng.m ⁻³	villes américaines	ATSDR, 2005
	zone rurale : 0,6-78 ng.m ⁻³		
	zone urbaine : 1-328 ng.m ⁻³		
	4-8 ng.m ⁻³ (moyenne = 6 ng.m ³)	5 villes françaises (Le Havre, Rouen, Paris, Strasbourg, Colmar)	ADEME, 2000
Eau	< 2 µg.L ⁻¹	-	OMS, 2000 ; IPCS, 1991
	Eau douce : 2-10 µg.L ⁻¹	-	IPCS, 1991
	Lacs et rivières : 0,5-6 µg.L ⁻¹	États-Unis	ATSDR, 2005
	Eaux souterraines : 0,5-6 µg.L ⁻¹		
Sol	3-1000 mg.kg ⁻¹	Sols agricoles américains	OMS, 2000
	28,4-568 mg.kg ⁻¹	États-Unis	ATSDR, 2005
	< 2 -478 mg.kg ⁻¹ (médiane = 31 mg.kg ⁻¹)	815 échantillons de sols français notoirement non contaminés	D. Baize (INRA), 2000

1.5. Facteurs de conversion

1 ppm = 1,4 mg.m⁻³ pour le nickel (OEHHA, 2008)

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

L'absorption respiratoire est plus importante que l'absorption digestive. L'absorption cutanée est également faible mais les effets sont importants (dermite de contact). Les composés solubles sont plus facilement absorbés par le tractus respiratoire. Le sulfate de nickel est plus absorbé dans l'eau de boisson que dans la nourriture.

Le nickel absorbé est éliminé par voie urinaire et le nickel ingéré non absorbé est éliminé par les fèces sous forme inchangée (Ineris, 2006 : INRS, 1991).

Dans les produits alimentaires les concentrations sont en général inférieures à 0,5 mg.kg⁻¹ de matière fraîche. Dans une cigarette les concentrations en nickel sont de 50 à 575 ng/cigarette (IPCS, 1992).

2.2. Toxicité aiguë

La dermite de contact est l'effet le plus fréquent survenant par exposition cutanée au nickel.

L'intoxication aiguë par voie orale provoque des troubles digestifs (nausées, vomissements, diarrhée, douleurs abdominales), des céphalées et une asthénie. Ces signes régressent à l'arrêt de l'exposition.

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

Le principal organe cible de l'exposition respiratoire est le système respiratoire (bronchite chronique, emphysème, diminution de la capacité vitale). Des cas d'asthme ont été décrits.

Par voie cutanée, il est observé des allergies de contact dont la fréquence est plus élevée chez les femmes que chez les hommes.

Les effets du nickel par voie orale n'ont été montrés que chez l'animal (effets respiratoires, hématologiques, rénaux, hépatiques...) (Ineris, 2006).

2.3.2. Effets cancérigènes

Les études chez l'Homme (cohortes de travailleurs) ont montré une augmentation des cancers du poumon et du nez (Ineris, 2006).

Classements cancérigène du nickel		
Composé	Classement	Organisme
Nickel métallique et alliage	3	CIRC (1990)
	VI	Santé Canada
	3	Union européenne (JOCE, 2009a) ¹
	2	Union européenne (JOCE, 2009b) ^{2b}
Composés du nickel	I	CIRC (1990)
	I	Santé Canada
Carbonate et sulfate de nickel	I	Union européenne (JOCE, 2008a) ¹
	IA	Union européenne (JOCE, 2008b) ²
	B2	EPA (1991)
Sulfure de nickel	I	EPA (1991)
	I	Union européenne (JOCE, 2009a) ¹
	IA	Union européenne (JOCE, 2009b) ²
	I	Santé Canada

¹Annexe I modifiée de la directive 67/548/CE

²Annexe VI modifiée du règlement CLP n°1278/2008

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne a classé le carbonate de nickel et le sulfate de nickel comme mutagène de catégorie 3 (JOCE, 2008a) et comme mutagène pour les cellules germinales de catégorie 2 (JOCE, 2008b) et le sulfure de nickel comme mutagène de catégorie 3 (JOCE, 2009a) et comme mutagène pour les cellules germinales de catégorie 2 (JOCE, 2009b). La 31^{ème} adaptation au progrès technique de la directive 67/548/ECC ou la 1^{ère} adaptation au progrès technique du règlement CLP n°1278/2008 porte sur de nombreux composés du nickel. Il est nécessaire de s'y référer pour connaître le classement des autres substances.

En général, les études portant sur la détermination de la génotoxicité du nickel ont montré qu'une exposition à ce composé n'induisait pas de mutation génétique dans les cellules non mammifères bien que certaines études en aient mises en évidence. Pour les cellules mammifères, il a été observé une augmentation des mutations sur les gènes (OEHHA, 2011).

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne a classé le carbonate de nickel et le sulfate de nickel comme reprotoxique de catégorie 2 (JOCE, 2008a) et comme toxique pour la reproduction de catégorie 1B (JOCE, 2008b). La 31^{ème} adaptation au progrès technique de la directive 67/548/ECC ou la 1^{ère} adaptation au progrès technique du règlement CLP n°1278/2008 porte sur de nombreux composés du nickel. Il est nécessaire de s'y référer pour connaître le classement des autres substances.

Les études sur des travailleurs exposés à des composés du nickel par inhalation suggèrent une augmentation de l'incidence des avortements spontanés chez les femmes exposées et des effets toxiques sur les spermatozoïdes chez les hommes. Aucune étude animale par inhalation n'a été identifiée mais les études par voie orale ont montré une

toxicité sur les spermatozoïdes chez les souris et les rats et une augmentation significative de la mortalité périnatale (OEHHA, 2011).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

- **OEHHA, 2012 : 0,2 µgNi/m³ / 1 h**

Cette VTR est basée sur l'étude de Graham *et al* (1978) (et supportée par l'étude d'Adkins *et al* (1985)) qui a exposé des souris femelles (14 à 29 par groupe) à des concentrations de 0, 100, 250, 375 et 490 µgNi.m⁻³ sous forme de NiCl₂. Une BMD de 165 µgNi.m⁻³ a été observé pour **une baisse de la réponse immunitaire**. Une BMDL ajustée sur la durée d'exposition, de 233 µg.m⁻³, a été calculée auquel a été appliqué un facteur d'incertitude de 1000.

- **Expertise Ineris, 2017 : Aucune VTR retenue**

3.2. VTR sur 8 heures

- **OEHHA, 2012 : 0,06 µgNi/m³**

Cette VTR est basée sur l'étude du NTP (1994) qui a exposé des rats males et femelles à des concentrations de 0, 0,3, 0,06 et 0,11 µgNi.m⁻³ sous forme de NiSO₄, 6h/j, 5j/semaine pendant 16j à 24 mois. Un NOAEL de 30 µgNi.m⁻³ a été observé pour **des lésions pulmonaires non cancéreuses**. Un NOAEL ajusté sur la durée d'exposition, de 5,7 µgNi.m⁻³, a été calculée auquel a été appliqué un facteur d'incertitude de 100 ;

- **Expertise Ineris, 2017 : Aucune VTR retenue**

3.3. VTR intermédiaire

- **ATSDR, 2005 : 0,2 µg.m⁻³ / 15 – 365 jours**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude chez des rats males et femelles exposés 6 heures/j, 5jours/semaine pendant 13 semaines à des concentrations de 0,12, 0,25, 0,5, 1 et 0,2 mg.m⁻³ de sulfate de nickel hexahydraté (NTP, 1996), soit des concentrations en nickel de 0,03, 0,06, 0,11, 0,22 et 0,44 mgNi.m⁻³. Il a été établi un NOAEL de 0,06 mgNi.m⁻³ pour une **inflammation chronique active des poumons**. Il a été ajusté pour une exposition chronique (NOAEL_{ADJ}) et pour un dépôt pulmonaire humain (NOAEL_{HEC}) :

NOAEL_{ADJ} = 0,06 mg.m⁻³ x 6 heures/24 heures x 5 j/7 j = 0,011 mgNi.m⁻³

NOAEL_{HEC} = NOAEL_{ADJ} x RDDR = 0,011 mg.m⁻³ x 0,474 = 0,0052 mgNi.m⁻³

Avec RDDR = ratio de la dose déposée localement calculé avec un logiciel de l'EPA à partir de la taille des particules (2,11 µm), de la déviation standard (2,7), du poids corporel (70 kg), du volume minute (13 L) et de la surface pulmonaire (54 m²) chez l'Homme et du poids corporel (0,124 kg), du volume minute (101,3 mL) et de la surface pulmonaire (0,34 m²) chez le rat femelle.

Il a ensuite été appliqué un facteur d'incertitude de 30 (3 pour l'extrapolation de l'animal à l'Homme et 10 pour la variabilité humaine).

- **Expertise Ineris, 2017 : 0.2 µg.m⁻³ (ATSDR, 2012)**

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérogènes

- **Santé Canada, 1993 : 0,018 µg.m⁻³ (nickel métallique et disulfure de trinickel)**

Santé Canada a établi en 1993 une TC (Tolérable Concentration) de 1,8.10⁻² µg.m⁻³ pour une exposition chronique par inhalation pour le nickel métallique et pour le sous sulfate de nickel respectivement chez des lapins exposés 6 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 8 mois, et chez des rats/souris (Johansson *et al.*, 1983) et (Benson *et al.*, 1990 ; Dunnick *et al.*, 1989). Un LOEL chez les lapins et les rats et un NOEL chez les souris de 0,1 mg.kg⁻¹.j⁻¹ a été observé pour des **effets sur les macrophages alvéolaires et des réactions inflammatoires pulmonaires**. En l'extrapolant à l'Homme, on obtient une concentration de 0,018 mg.kg⁻¹.j⁻¹ (LOEL*5j/7*6h/24). Un facteur d'incertitude de 1000 a été appliqué à ce NOEL ajusté (10 pour l'extrapolation de données animales à des données humaines, 10 pour tenir compte des populations sensibles au sein de l'espèce humaine et 10 pour l'utilisation d'un LOEL chez les rats et les lapins au lieu d'un NOEL).

▪ **Santé Canada, 1993 : 0,02 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (oxyde de nickel)**

Santé Canada a établi en 1993 une TC de $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ mg.m}^{-3}$ pour une exposition chronique par inhalation à l'oxyde de nickel chez des rats (Spiegelberg *et al.*, 1984). Un LOEL de $0,02 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été appliqué pour **une augmentation des granulocytes et des lymphocytes dans les poumons et une augmentation de la taille et du nombre des macrophages**. Un facteur d'incertitude de 1000 a été appliqué (10 pour l'extrapolation de données animales à des données humaines, 10 pour tenir compte des populations sensibles au sein de l'espèce humaine et 10 pour l'utilisation d'un LOEL chez le rat au lieu d'un NOEL).

▪ **Santé Canada, 1993 : $3,5 \cdot 10^{-3} \mu\text{g.m}^{-3}$ (sulfate de nickel et autres composés solubles du nickel)**

Santé Canada a proposé en 1993 une autre TC de $3,5 \cdot 10^{-3} \mu\text{g.m}^{-3}$ pour une exposition chronique par inhalation au sulfate de nickel et autres composés solubles du nickel chez des rats (Dunnick *et al.*, 1989). Un LOEL de $0,02 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été appliqué pour des **effets critiques sur les poumons**. Ce LOEL a été ajusté $0,0035 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ($\text{LOEL} \times 5\text{j}/7 \times 6\text{h}/24$). Un facteur d'incertitude de 1000 a été appliqué (10 pour l'extrapolation de données animales à des données humaines, 10 pour tenir compte des populations sensibles au sein de l'espèce humaine et 10 pour l'utilisation d'un LOEL au lieu d'un NOEL).

▪ **RIVM, 2001 : 0,05 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (nickel et ses composés)**

Cette valeur a été établie à partir d'un NOAEL de $30 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour des **effets sur le système respiratoire** chez des rats et d'un NOAEL ajusté sur la durée d'exposition de $5 \mu\text{g.m}^{-3}$. Un facteur d'incertitude de 100 est appliqué pour tenir compte de l'extrapolation intra- et inter-espèce.

▪ **ATSDR, 2005 : 0,09 $\mu\text{g.m}^{-3}$**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude chez des rats males et femelles exposés 6 heures/j, 5 jours/semaine pendant 2 ans à des concentrations de 0,12, 0,25 et 0,2 mg.m^{-3} de sulfate de nickel hexahydraté (NTP, 1996), soit des concentrations en nickel de 0,03, 0,06 et 0,11 mgNi.m^{-3} . Il a été établi un NOAEL de $0,03 \text{ mgNi.m}^{-3}$ pour une **inflammation chronique active et une fibrose des poumons**. Il a été ajusté pour une exposition chronique ($\text{NOAEL}_{\text{ADJ}}$) et pour un dépôt pulmonaire humain ($\text{NOAEL}_{\text{HEC}}$) :

$$\text{NOAEL}_{\text{ADJ}} = 0,03 \text{ mg.m}^{-3} \times 6 \text{ heures}/24 \text{ heures} \times 5 \text{ j}/7 \text{ j} = 0,0054 \text{ mgNi.m}^{-3}$$

$$\text{NOAEL}_{\text{HEC}} = \text{NOAEL}_{\text{ADJ}} \times \text{RDDR} = 0,0054 \text{ mg.m}^{-3} \times 0,506 = 0,0027 \text{ mgNi.m}^{-3}$$

Avec RDDR = ratio de la dose déposée localement calculé avec un logiciel de l'EPA à partir de la taille des particules (2,5 μm), de la déviation standard (2,38), du poids corporel (70 kg), du volume minute (13 L) et de la surface pulmonaire (54 m^2) chez l'Homme et du poids corporel (0,229 kg), du volume minute (167,3 mL) et de la surface pulmonaire (0,34 m^2) chez le rat femelle.

Il a ensuite été appliqué un facteur d'incertitude de 30 (3 pour l'extrapolation de l'animal à l'Homme et 10 pour la variabilité humaine).

▪ **OEHHA, 2012 : 0,014 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (nickel et ses composés excepté l'oxyde de nickel)**

L'OEHHA a fixé un REL (Reference Exposure Level) de $0,014 \mu\text{gNi.m}^{-3}$ pour une exposition chronique par inhalation au nickel et à ses composés excepté l'oxyde de nickel. Cette valeur est issue d'une étude expérimentale réalisée chez des rats exposés (NTP 1994). Une BMD de $0,030 \mu\text{g}$ de Ni.m^{-3} a été établi pour des effets sur le **système respiratoire (protéinoase alvéolaire)**. En ajustant à l'Homme, on obtient une concentration de $1,4 \mu\text{g Ni.m}^{-3}$ auquel est appliqué un facteur d'incertitude de 100 (3 pour la variabilité interspécifique et 30 pour la variabilité intraspécifique).

▪ **OEHHA, 2012 : 0,02 $\mu\text{gNiO.m}^{-3}$ (oxyde de nickel)**

Cette valeur est issue de la même étude expérimentale que précédemment (NTP, 1994). Une BMD05 de $117 \mu\text{gNiO.m}^{-3}$ a été établie pour des **inflammations pulmonaires**. Cette BMD a été ajustée à l'Homme ($2 \mu\text{g NiO.m}^{-3}$), et il a été appliqué un facteur d'incertitude de 100 (3 pour la variabilité inter espèce et 30 pour la variabilité intra espèce).

▪ **Expertise Anses, 2015 : 0.23 µg/m³ (TECQ, 2011) - Formes solubles de composés de nickel**

Dans le cadre de son rapport relatif à la pollution chimique de l'air des enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs, l'Anses considère en 2015 la VTR du TCEQ de 2011 comme étant la plus pertinente. L'agence précise par ailleurs que cette VTR est applicable aux formes de nickel suivantes :

- Nickel: 7440-02-0
- Nickel Sulfate: 7786-81-4
- Nickel Subsulfide: 12035-72-2
- Nickel Oxide: 1313-99-1
- Nickel Chloride: 7718-5

▪ **Expertise Ineris, 2017 :**

- **0.02 µg.m⁻³ (OEHHA, 2005) oxyde de nickel**
- **0.018 µg.m⁻³ (Santé Canada, 2010) sous sulfure de nickel**
- **0.09 µg.m⁻³ (ATSDR, 2005) autres composés du nickel**

Le sous-sulfure de nickel apparaît comme quasi exclusivement émis par des raffineries de nickel. Il semble s'agir d'une forme de poussière des minerais de nickel relativement bruts. (HSDB, 2000).

3.4.2. Effets cancérogènes

▪ **EPA, 1991 : 2,4.10⁻⁴ (µg.m⁻³)⁻¹ (poussières de raffinerie de nickel)**

Cette valeur se base sur plusieurs études épidémiologiques dans différents pays associant l'exposition aux poussières de nickel à des **cancers pulmonaire et nasal** (Enterline and Marsh, 1982 ; Chovil *et al.*, 1981 ; Peto *et al.*, 1984 ; Magnus *et al.*, 1982). Les études animales montrent également le développement de cancers par exposition respiratoire au nickel.

▪ **EPA, 1991 : 4,8.10⁻⁴ (µg.m⁻³)⁻¹ (sous-sulfure de nickel)**

L'US-EPA a aussi fixé en 1991 un ERU pour le sous sulfure de nickel à 4,8.10⁻⁴ pour un **cancer pulmonaire**. Cette valeur est calculée à partir de la précédente en admettant que le nickel est présent dans les poussières sous forme de sous sulfure de nickel à hauteur de 50 %.

▪ **Santé Canada, 1993 : 70 µg.m⁻³ (composés solubles du nickel principalement le sulfate de nickel et le chlorure de nickel)**

La concentration tumorigène 5% a été établie à partir de deux cohortes de travailleurs norvégiens et canadiens pour une mortalité par **cancer pulmonaire** (Doll *et al.*, 1990).

▪ **Santé Canada, 1993 : 40 µg.m⁻³ (nickel oxygéné, sulfuré et soluble combiné)**

La concentration tumorigène 5% a été établie à partir de deux cohortes de travailleurs norvégiens et canadiens pour une mortalité par **cancer pulmonaire** (Doll *et al.*, 1990).

▪ **OMS, 2000 : 3,8.10⁻⁴ (µg.m⁻³)⁻¹ (nickel)**

Cette valeur s'appuie sur les résultats de l'étude la plus récente en milieu professionnel (Andersen, 1992 ; Andersen *et al.*, 1996) menée parmi des ouvriers norvégiens exposés durant près de 20 ans aux poussières de nickel (OMS, 2000). L'effet critique est le **cancer pulmonaire**.

▪ **OEHHA, 2005 : 2,6.10⁻⁴ (µg.m⁻³)⁻¹ (nickel et ses composés)**

L'OEHHA a fixé un ERU de 2,6.10⁻⁴ (µg.m⁻³)⁻¹ pour un **cancer pulmonaire** après exposition au nickel et ses composés à partir d'une étude chez des travailleurs exposés au nickel par inhalation dans des raffineries (Chovil *et al.*, 1981 ; Roberts *et al.*, 1983 ; Muir *et al.*, 1984)

▪ **Expertise Anses, 2015 : 1.7.10⁻⁴ (µg.m⁻³)⁻¹ (TECQ, 2011) - Formes solubles de composés de nickel**

Dans le cadre de son rapport relatif à la pollution chimique de l'air des enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs, l'Anses considère en 2015 la VTR du TCEQ de 2011 comme étant la plus pertinente. Cette VTR est indiquée comme applicable à un mélange de différentes espèces de nickel mais aussi à toute forme de nickel inorganique.

- **Expertise Ineris, 2017 :**
 - $2.6.10^{-4} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$ (OEHHA, 2011) – nickel et composés
 - $4.8.10^{-4} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$ (USEPA, 1991) – sous-sulfure de nickel

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4.2. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérogènes

- **Santé Canada, 1993 : $1,3 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (chlorure de nickel)**

Santé Canada a proposé en 1993 une TDI (Tolerable Daily Intake) de $1,3.10^{-3} \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour une exposition chronique par ingestion d'eau au chlorure de nickel chez des rats femelles (Smith *et al.*, 1993). Un LOAEL de $1,3 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été fixé pour des **effets sur la reproduction**. Un facteur d'incertitude de 1000 a été appliqué (10 pour l'extrapolation de données animales à l'Homme, 10 pour tenir compte des populations sensibles au sein de l'espèce humaine et 10 pour l'utilisation d'un LOAEL chez le rat au lieu d'un NOAEL).

- **Santé Canada, 1993 : $50 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (sulfate de nickel)**

Santé Canada a établi la même année en 1993 une autre TDI de $5.10^{-2} \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour une exposition chronique par ingestion d'eau au sulfate de nickel (Ambrose *et al.*, 1976). Cette valeur a été fixée à partir d'une étude réalisée chez des rats pour une **augmentation du poids du cœur mais une baisse du poids du foie**. Un NOEL de $5 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été calculé. Un facteur d'incertitude de 100 a été appliqué (10 pour l'extrapolation de données animales à des données humaines, 10 pour tenir compte des populations sensibles).

- **EPA, 1996 : $20 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (sels solubles de nickel)**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude chez des rats exposés pendant 2 ans à une alimentation en sels solubles de nickel à des concentrations de 0 à $125 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ PC.j}^{-1}$ (Ambrose *et al.*, 1976). Il a été établi un NOAEL de $5 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$, pour **une baisse du poids corporel et des organes (cœur, foie)**, auquel il a été appliqué un facteur d'incertitude de 300 (10 pour l'extrapolation interespèces, 10 pour la variabilité humaine et 3 pour inadéquation des études sur la reproduction).

- **RIVM, 2001 : $50 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (sels solubles de nickel)**

Le RIVM propose une VTR de $50 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour les **effets non cancérogènes** liés à l'ingestion de sulfate de nickel à partir d'expérimentations animales chez les rats. L'étude clé n'est pas citée. La VTR est établie sur la base d'un NOAEL de $5 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ auquel est appliqué un facteur d'incertitude 100 (10 pour la variabilité intra espèce et 10 pour la variabilité inter espèce).

- **OMS, 2004 : $12 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (chlorure de nickel)**

L'OMS (2004) propose une VTR de $12 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ à partir des résultats de l'étude (Nielsen *et al.*, 1999) dans laquelle un LOAEL de $12 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été déterminé à partir d'un test de provocation par voie orale pratiqué chez des patients (poids = 60 kg ; consommation d'eau = 2 L.j^{-1}) mis pendant 48 heures à la diète avant ingestion d'eau chargée en nickel et ayant développé une **réaction eczémateuse**. Le test de provocation par voie orale est l'examen de référence pour authentifier une allergie alimentaire. Il a été considéré que l'alimentation en eau apportait 20 % de la dose journalière en nickel. Aucun facteur d'incertitude n'a été appliqué.

- **OEHHA, 2012 : $11 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (nickel et composés du nickel)**

Cette valeur a été établie à partir d'une étude chez des rats (NiPERA, 2000, supportée par l'étude de Smith *et al.*, 1993) exposés par gavage d'eau pendant 70 semaines à des concentrations en nickel de 0, 10, 20, 30, 50 et $75 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$. Il a été établi un NOAEL de $1,12 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$, pour **une mortalité périnatale sur 2 générations**, auquel il a été appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour la variabilité interespèces, 10 pour la variabilité humaine).

- **EFSA, 2015 : 2.8 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (nickel et composés du nickel)**

La toxicité pour la reproduction et le développement chez les animaux de laboratoire a été choisie comme effet critique pour l'évaluation des effets chroniques du nickel (SLI, 2000b). Les animaux ont été exposés à différents niveaux de doses de nickel (study using 0, 0.2, 0.6, 1.1, 2.2, 4.4, 6.6, 11, 17 mg Ni/kg/j) Une dose journalière tolérable de 2,8 $\mu\text{g Ni/kg}$ de poids corporel par jour a été calculée à partir d'une limite de confiance inférieure de 95 % pour une dose de référence à 10 % de risque supplémentaire (BMDL₁₀) de 0,28 mg/kg PC/j. pour une perte fœtale post-implantation chez le rat. A partir de cette BMDL₁₀, le panel CONTAM de l'EFSA a obtenu une DJT de 2,8 $\mu\text{g Ni/kg/j}$ en appliquant un facteur d'incertitude par défaut de 100 pour tenir compte de l'extrapolation des animaux de laboratoire aux humains et pour la variabilité inter-individuelle.

- **Expertise Anses, 2016 : 2.8 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (EFSA, 2015)**

Dans son rapport relatif à l'alimentation infantile (EATi), l'Anses considère la VTR de l'EFSA comme étant la plus pertinente à retenir.

- **Expertise Ineris, 2017 : 2.8 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (EFSA, 2015) – Nickel et composés**

4.3.2. Effets cancérogènes

- **OEHHA, 2009 : 9,1.10⁻¹ (mg.kg⁻¹.j⁻¹)⁻¹ (nickel et composés du nickel)**

Les modalités d'obtention de cette VTR ne sont pas développées.

L'OEHHA a dérivé la VTR digestive sans seuil à partir de l'étude clé ayant servi à dériver la VTR respiratoire sans seuil. Pour cette étude, l'effet associé à la VTR respiratoire sans seuil est un effet local respiratoire (cancer pulmonaire).

La VTR digestive sans seuil ne peut donc pas être retenue pour des calculs de risques.

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualite-A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Nickel et ses composés Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë 8h	Aucune Aucune						Expertise Ineris, 2017 Expertise Ineris, 2017
	Intermédiaire	0,2 µg.m ⁻³	15-365 j	A	Inflammation chronique active	NOAEL = 0,06 mgNi.m ⁻³	30	Expertise Ineris, 2017 (ATSDR, 2005)
	Chronique – Effets non cancérogènes Oxide de nickel	0,02 µg.m ⁻³	-	A	Inflammation pulmonaire	BMD05 = 117 µgNiO.m ⁻³	100	Expertise Ineris, 2017 (OEHHA, 2012)
	Chronique – Effets non cancérogènes Sous-sulfure de nickel	0.018 µg.m ⁻³	-	A	Inflammation pulmonaire	NOEL = 0,1 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	1000	Expertise Ineris, 2017 (Santé Canada, 2010)
	Chronique – Effets non cancérogènes Autres composés de nickel	0.09 µg.m ⁻³	-	A	Inflammation pulmonaire	NOAEL = 0,03 mgNi.m ⁻³	30	Expertise Ineris, 2017 (ATSDR, 2005)
	Chronique – Effets cancérogènes Oxide de nickel	2,6 10 ⁻⁴ (µg.m ⁻³) ⁻¹	-	H	Cancer pulmonaire	-	-	Expertise Ineris, 2017 (OEHHA, 2011)
	Chronique – Effets cancérogènes Sous-sulfure de nickel	4.8 10 ⁻⁴ (µg.m ⁻³) ⁻¹	-	H	Cancer pulmonaire	-	-	Expertise Ineris, 2017 (EPA, 1991)
Digestive	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets non cancérogènes	2.8 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹ (nickel et ses composés)	-	A	Toxicité pour la reproduction et le développement	BMDL ₁₀ = 0,28 mg/kg/j.	100	Expertise Ineris, 2017 (EFSA, 2015)
	Chronique – Effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

Carbonate de nickel, dihydroxyde de nickel, disulfure de trinickel, nickel métal, oxyde de nickel, sulfure de nickel, trioxyde de nickel : VME = 1 mg.m⁻³ (INRS, 2008)
Sulfate de nickel : VME = 0,1 mg.m⁻³ (INRS, 2008)
Tetracarbonyle de nickel : VME = 0,12 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

7. Bibliographie

ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), 2000, Programme pilote 1999/2000 à partir des réseaux de surveillance de la qualité de l'air EMD, AIR NORMAND, AIRPPARIF/LCPP, ASPA, AIRMARAI, AIRFOBEP.

Anses, Pollution chimique de l'air des enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs, 2015. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2011sa0265Ra.pdf> (consulté en mai 2018)

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2005, Toxicological Profile for Nickel, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp15.pdf> (consulté en avril 2011).

Denis Baise, INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 2000, Teneurs totales en "métaux lourds" dans les sols français : Résultats généraux du programme ASPITET, Courrier de l'environnement n°39.

EPA (Environmental Protection Agency), 1987, Nickel refinery dust (NO CASRN), <http://www.epa.gov/iris/subst/0272.htm#carc> (consulté le 06/01/09).

Santé Canada, 1994, Le nickel et ses composés, Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Liste des substances d'intérêt prioritaire. Rapport d'évaluation, 101 p.

Ineris (Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels), 2007, Point sur les valeurs toxicologiques de référence (VTR) – juin 2007, N°DRC-07-86177-08805B, 43 p.

Ineris (Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels), 2006, Nickel et ses dérivés, Fiche de données toxicologiques et environnementales, Ineris –DRC-02-25590-02DF44.doc, Version N°1-2 juillet 2006, 71 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 1992, Fiche toxicologique N°68, Nickel et composés minéraux, 6 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), juin 2008, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 23 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

IPCS-Inchem (International Program on Chemical Safety), 1991, Environmental Health Criteria 108 Nickel, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc108.htm> (consulté en avril 2011).

JOCE, 2009a, Commission directive 2009/2/EC, 31ATP, Council Directive 67/548/EEC.

JOCE, 2008a, Commission directive 2008/58/EC, 30ATP, Council Directive 67/548/EEC.

JOCE, 2008b, regulations (EC) n°1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006.

JOCE, 2009b, règlement CE 970/2009 de la commission du 10 août 2009 modifiant aux fins de son adaptations au progrès technique le règlement 1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999) http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD2_final.pdf#page=193 (consulté en avril 2011)

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Chronic Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999), http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=420 (consulté en avril 2011)

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), 2012, Nickel reference exposure levels, Nickel and nickel compound, final. http://www.oehha.ca.gov/air/chronic_rels/032312CREL.html (consulté en mars 2012).

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), 2005, Air toxics Hot Spots Program Risk Assessment Guidelines, Part II Technical support document for describing available cancer potency factors, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/pdf/TSDNov2002.pdf (consulté en avril 2011).

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2005, Nickel in drinking water, WHO/SDE/WSH/05.08/55 http://www.who.int/water_sanitation_health/gdwqrevision/nickel2005.pdf (consulté en avril 2011).

RIVM (Rijksinstituut Voor Volksgezondheid), 2001, Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels.

Oxydes d'azote (N°CAS -) – REV 06/2023

I. Généralités

I.1. Identification

Les oxydes d'azote comprennent le monoxyde d'azote (NO), le dioxyde d'azote (NO₂) et le tétraoxyde de diazote (N₂O₄). Ce sont des liquides et des gaz au-delà de 20 °C. Entre 11°C et 158°C, le dioxyde d'azote et le tétraoxyde de diazote sont en mélange dans des proportions fonction de la température. Ce mélange est appelé peroxyde d'azote (Ineris, 2005).

I.2. Utilisation

Le monoxyde d'azote est utilisé dans la fabrication d'acide nitrique, pour le blanchiment de la rayonne, comme stabilisant pour le propylène et l'éther de méthyle et comme médicament à usage humain.

Le peroxyde d'azote est utilisé comme agent de nitration, d'oxydation et comme comburant en particulier dans les combustibles pour les fusées (Ineris, 2005).

I.3. Sources d'exposition

Les oxydes d'azote ont une origine à la fois anthropique et naturelle. Les principales sources anthropiques sont la combustion de combustibles fossiles (charbon, fioul, gaz naturel) et les échappements automobiles (en particulier les véhicules diesel). Les sources naturelles sont constituées par les émissions volcaniques et les orages (Ineris, 2005).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Les concentrations en oxydes d'azote dans l'air sont très liées aux concentrations en poussières. Les oxydes d'azote sont donc un bon indicateur de la pollution atmosphérique en particulier d'origine automobile.

Dans l'air, à température ambiante, le monoxyde d'azote, instable, réagit avec l'oxygène pour donner du dioxyde d'azote. Dans l'air le dioxyde d'azote est présent sous forme gazeuse. Il réagit avec les radicaux hydroxyles et subit des réactions photochimiques conduisant à la formation d'ozone (demi-vie de 35 heures). Des études récentes ont montré que la variabilité spatiale du NO₂ était certainement plus importante que pour d'autres polluants liés à la circulation routière.

Dans l'eau, le dioxyde d'azote réagit pour donner de l'acide nitrique.

Dans les sols humides, le dioxyde d'azote réagit pour donner de l'acide nitrique.

Dans les végétaux, l'absorption dominante est par les feuilles. La métabolisation est rapide. Il n'y a pas d'accumulation du dioxyde d'azote dans les végétaux (Ineris, 2005).

Concentrations environnementales en oxydes d'azote			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	zone urbaine : 20-90 µg.m ⁻³	synthèse internationale	OMS, 2005
	NO ₂ : 29 µg.m ⁻³	Moyenne en 2003 dans 60 stations urbaines françaises	MEDD, 2003
	NO : 12 µg.m ⁻³	Moyenne en 2003 dans 62 stations urbaines françaises	

I.5. Facteurs de conversion

1 ppm = 1.88 mg/m³ (OEHA, 2008)

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

La principale voie d'exposition est respiratoire. 70 à 90 % du dioxyde d'azote et 85 à 92 % du monoxyde d'azote inhalé est absorbé par le tractus respiratoire. Une portion importante (jusqu'à 50 % en expérimentation animale) est rejeté par expiration par le nasopharynx. Les 2 oxydes d'azote ont une action pulmonaire.

Le monoxyde d'azote se lie au fer de l'hémoglobine ou de certaines enzymes.

Le dioxyde d'azote est un oxydant. Il est transformé en acide nitrique, puis en ions nitrites dans la circulation sanguine et induit, comme le monoxyde d'azote la formation de méthémoglobine (OMS, 2006 ; Ineris, 2005)

2.2. Toxicité aiguë

Le monoxyde et le dioxyde d'azote sont des irritants des voies respiratoires. L'intoxication est décrite en 3 phases :

- irritations des muqueuses oculaires et respiratoires se manifestant par larmoiements, toux, dyspnée, nausées. Cette phase régresse rapidement à l'arrêt de l'exposition.
- Rémission asymptomatique de 6 à 24 heures.
- Œdème pulmonaire et détresse respiratoire accompagnés de toux, dyspnée et fièvre pouvant être déclenchés à l'effort (Ineris, 2005).

Des études expérimentales chez l'Homme ont rapporté des effets aigus sur la santé après exposition pendant 1 heure à des concentrations dépassant $500 \mu\text{g.m}^{-3}$. Bien que la concentration minimale de NO_2 montrant un effet direct sur la fonction pulmonaire des asthmatiques soit de $560 \mu\text{g.m}^{-3}$, les études sur la réactivité bronchique laissent à penser qu'elle augmente pour des concentrations supérieures ou égales à $200 \mu\text{g.m}^{-3}$ (OMS, 2006).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

Le monoxyde d'azote a des effets respiratoires et hématologiques (action toxique au niveau des plaquettes et formation de méthémoglobine).

Le dioxyde d'azote : Les études de cohorte suggèrent une association entre l'exposition au dioxyde d'azote (concentrations au domicile) et l'incidence de l'asthme chez l'enfant. Des symptômes de toux et de bronchite se trouvent également augmentés. Il est également rapporté des atteintes de la fonction pulmonaire chez les enfants (5 fois plus de valeurs inférieures aux 80 % prédit) qui persistent dans la vie adulte.

Il est difficile de dissocier les effets du dioxyde d'azote de ceux d'autres polluants présents dans les mêmes lieux d'exposition (particules ultra-fines, oxyde nitreux, particules, benzène).

2.3.2. Effets cancérigènes

Les études présentées par l'OMS (2006) suggèrent une association entre l'exposition à la pollution du trafic et les cancers chez l'enfant et les cancers pulmonaires chez l'adulte. Mais ces associations ne sont pas attribuées spécifiquement au dioxyde d'azote car, dans le trafic automobile, il est en présence d'autres substances comme les particules diesel et les HAP (OMS, 2006).

Classements cancérigène des oxydes d'azote

Classement	Organisme
-	-

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère mutagène des oxydes d'azote.

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère reprotoxique des oxydes d'azote.

La pollution de l'air est associée à la naissance de bébés à petits poids, à des retards de croissance intra-utérine, à des naissances avant-terme et à une mortalité périnatale. Ces effets sont liés à la pollution d'origine automobile sans que le dioxyde d'azote ait été incriminé individuellement (OMS, 2006).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR/VG aiguë

- **OMS, 2005 : 200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (NO_2) pour 1 heure**

En se basant sur de petits changements de la fonction pulmonaire (**baisse de 5% du volume expiratoire maximum seconde (VEMS)**) et sur la réactivité bronchique d'asthmatiques et de bronchiteux chroniques, un LOAEL de 0,36 à 0,56 mg.m^{-3} est fixé (parmi les études considérées Avol *et al.*, 1989 ; Roger *et al.*, 1990). Une marge de sécurité de 50% est proposée en raison des incertitudes statistiques liées à une étude et des résultats d'une méta-analyse mettant en évidence un seuil inférieur à 0,36 mg.m^{-3} . La valeur guide pour l'air extérieur de l'OMS étant construite comme une VTR, elle peut être assimilée à une VTR.

- **OMS, 2021 : 25 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (NO_2) pour 24heures**

La valeur guide de l'OMS correspond à l'exposition la plus basse connue associée à des effets néfastes sur la santé humaine. Les effets identifiés par l'OMS sont la mortalité hors cause accidentelle et les décès liés à des effets sur le système respiratoire.

- **OEHHA, 2008 : 470 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (NO_2) pour 1 heure**

Cette VTR concerne les personnes sensibles (notamment les asthmatiques), et l'effet critique associé est **l'augmentation de la réactivité bronchique**. Un facteur d'incertitude de 1 a été appliqué au NOAEL de 0,25 ppm considéré pour déterminer la VTR proposée. Pour proposer cette VTR, l'OEHHA s'appuie sur les résultats d'un grand nombre d'études. Plusieurs études d'expositions aiguës sur des sujets asthmatiques montrent une augmentation de la réactivité des voies respiratoires en réponse à des concentrations en NO_2 comprises entre 0,25 et 0,50 ppm (0,47 et 0,9 mg/m^3) : Bauer *et al.* (1986), Mohsenin (1987). D'autres études indiquent une absence de réactivité des voies respiratoires chez les asthmatiques à ces concentrations (Rubinstein *et al.*, 1990; Avol *et al.*, 1988; Roger *et al.*, 1990). Des études additionnelles d'expositions sur des asthmatiques montrent une augmentation de réactivité non-spécifique des voies respiratoires suite à une exposition inférieure ou égale à 0,25 ppm (0,47 mg/m^3) de NO_2 . D'autres investigations ne reportent aucune augmentation de réactivité des voies respiratoires chez les asthmatiques exposés au NO_2 pour des concentrations inférieures ou égales à 0,25 ppm (0,47 mg/m^3) (Hazucha *et al.*, 1983; Jorres *et al.*, 1991). Les résultats de ces études suggèrent qu'un sous-groupe sensible d'asthmatiques présentant une augmentation de réactivité des voies respiratoires suite à une exposition au NO_2 peut être présent dans la population générale, et qu'il contribue à l'obtention de l'étendue des réponses observées suite à l'inhalation de NO_2 (Utell, 1989).

- **Expertise Ineris, 2011 : pas de VTR aiguë**

De manière générale, les REL de l'OEHHA pour des expositions de 1 à 8h, correspondent selon l'Ineris à des seuils accidentels et ne sont retenus par l'Ineris dans ces choix de VTR.

- **Expertise Anses, 2013 : 200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1h**

La méthode d'élaboration de la VGAI proposée par l'OMS étant jugée conforme aux critères de sélection des VGAI, la VGAI court terme de 200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (1 heure) est retenue par l'Anses.

3.2. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.3. VTR chronique

3.3.1. Effets non cancérogènes

▪ **OMS, 2021 : 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$**

La VG repose sur une revue de la littérature récente. Elle est définie comme correspondant au niveau d'exposition le plus faible pour lequel il existe des preuves des effets nocifs pour la santé.

Les effets relatifs à l'exposition chronique au dioxyde d'azote identifiés par l'OMS sont la mortalité non accidentelle et la mortalité pour cause respiratoire. À noter toutefois que l'OMS suggère des objectifs intermédiaires pour atteindre la valeur guide de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à partir de la valeur guide précédente de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ présentée dans son rapport de référence en 2005 relatif aux valeurs guide de la qualité de l'air extérieur :

Recommendation	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Interim target 1	40
Interim target 2	30
Interim target 3	20
AQG level	10

▪ **Anses, 2013 : 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$**

La VGAI long-terme de l'OMS est associée à une augmentation de 20% du risque de développer une pathologie respiratoire. Elle ne protège donc pas de tout effet sanitaire, notamment pour les sujets sensibles comme les enfants asthmatiques. L'Anses n'a donc pas retenue la VGAI de l'OMS et a élaboré sa propre VGAI. Cette valeur guide de la qualité de l'air intérieur établie par l'Anses est fondée exclusivement sur des critères sanitaires et selon la méthodologie d'une VTR. Elle est donc assimilée à une VTR. Huit études clés ont ainsi été retenues car jugées de bonne qualité, bien détaillées et permettant de décrire une relation dose-effet, quelle que soit la conclusion (association ou pas d'association). Au final, la VGAI long terme proposée est élaborée à partir d'études prenant en compte des populations sensibles, conformément à la méthode d'élaboration des VGAI préconisée par l'Agence. Ainsi, aucun facteur d'incertitude lié à la variabilité interindividuelle n'a été appliqué. Les différences méthodologiques et les limites inhérentes à toute étude épidémiologique environnementale ont conduit à analyser conjointement ces 8 publications et à proposer, sur la base d'un faisceau d'arguments, une VGAI long terme pour le dioxyde d'azote de 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

3.3.2. Effets cancérogènes

Il n'a pas été recueilli de VTR pour cette voie d'exposition et ce type d'effets.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

Non pertinent

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Dioxyde d'azote Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence bibliographiques : organisme de référence (auteurs de référence)
Respiratoire	Aiguë	200 µg.m ⁻³	1 h	H	Diminution du VEMS	LOAEL= 0,36 - 0,56 mg.m ⁻³	50% (marge de sécurité)	OMS, 2005 - VG
	8h	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets non cancérogènes	10 µg.m ⁻³	-	H	Mortalité	-	-	OMS, 2021 - VG
	Chronique – Effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
Digestif	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets non cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

Oxyde d'azote : VME = 30 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

Dioxyde d'azote : VLCT = 6 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

7. Bibliographie

ANSES, Proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur. Le dioxyde d'azote. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Février 2013, 150p.

Ineris (Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels), Oxydes d'azote (NO_x), DRC-11-117259-10320A version n°2 septembre 2011, 58 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), juin 2008, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 23 p.

IPCS-Inchem (International Program on Chemical Safety), 1977, Environmental Health Criteria 4 Oxides of nitrogen, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc004.htm> (consulté le 15/01/09).

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999) http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD2_final.pdf#page=209 (consulté en mars 2011).

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2006, Air Quality Guidelines. Global update 2021.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2010, Guidelines for indoor air quality, 484p.

Plomb (N° CAS 7439-92-1) – REV 05/2018

I. Généralités

I.1. Identification

Le plomb est un métal gris argenté-bleuâtre, malléable, retrouvé sous la dénomination de « métaux lourds ». Il se présente sous forme d'un solide, présent à l'état naturel dans la croûte terrestre, mais rarement sous la forme métallique. Il est présent dans divers minéraux à l'état oxydé, dont les principaux sont la galène (PbS), la cérusite (PbCO₃) et l'anglésite (PbSO₄). Les autres principaux composés du plomb sont l'acétate, l'oxyde, le dioxyde, le tétraoxyde. Ces composés se présentent sous forme cristallisée. Ils existent à l'état naturel sauf l'acétate et le tétraoxyde de plomb.

I.2. Utilisation

Le plomb est majoritairement utilisé dans la fabrication des batteries électriques de démarrage des automobiles (65 à 70 % des utilisations en occident), dans les radiateurs d'automobiles, les alliages, l'enrobage des câbles, la protection contre les rayonnements, la soudure, la céramique et les supraconducteurs (Ineris, 2003).

I.3. Sources d'exposition

La principale source d'émissions aériennes est liée aux activités industrielles de première et deuxième fusion du plomb. Les rejets des véhicules à moteur, autrefois parmi les sources les plus importantes, sont maintenant en nette diminution suite à la disparition de l'essence plombée.

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'environnement, le plomb n'est pas à l'état élémentaire, mais oxydé (degré d'oxydation : + II), sous forme de sulfure, de carbonate ou de sulfate de plomb.

Dans l'air, le plomb et ses composés ne sont pas volatils. Ils se trouvent à l'état particulaire (moins de 1 µm).

Dans l'eau, la plupart des composés inorganiques du plomb (sulfure, carbonate et sulfate de plomb) sont peu solubles. Le plomb a tendance à sédimenter et à s'adsorber sur la matière organique. Les composés halogénés ou les acétates de plomb sont plus solubles.

Dans les sols, le plomb est peu mobile. Il s'accumule facilement dans les horizons superficiels riches en matière organique.

Dans les végétaux le plomb du sol s'accumule dans les racines sans être transféré dans les parties aériennes des plantes. La pénétration des dépôts foliaires est controversée. Pour certains, les dépôts foliaires pourraient être éliminés en grande partie par lavage, pour d'autres ce serait une voie importante de contamination de la chaîne alimentaire (Ineris, 2003 ; OMS, 2000).

Concentrations environnementales en plomb			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	zone urbaine : 0,15-0,5 µg.m ⁻³ zone non urbaine : 0,15 µg.m ⁻³	Villes européennes	OMS, 2000
	zone suburbaine < 0,2 µg.m ⁻³ zone urbaine dense : 2-4 µg.m ⁻³	-	IPCS, 1989
	0,0058 ng.m ⁻³	Mesuré en 1996 pour l'ensemble des sources mobiles et fixes	ATSDR, 2005 (EPA, 2001)
	0,02 µg.m ⁻³	Moyenne annuelle sur 21 villes françaises de 2001 à 2003	MEDD, 2004
Eau	1-60 µg.L ⁻¹ (20 µg.L ⁻¹ au robinet des pays européens)	Eau potable et eau souterraine	OMS, 2000
	1-60 µg.L ⁻¹	Eaux souterraines	IPCS, 1977
	1-10 µg.L ⁻¹	Eaux de surface (lacs et rivières)	IPCS, 1989
	5-30 µg.L ⁻¹	Eaux de surface et eaux souterraines aux Etats-Unis	ATSDR, 2005
Sol	5-25 mg.kg ⁻¹	Sols	IPCS, 1977
	13 mg.kg ⁻¹	Croûte terrestre	IPCS, 1989
	10-30 mg.kg ⁻¹	Croûte terrestre (galène)	ATSDR, 2005
	< 2,2-3088 mg.kg ⁻¹ (médiane = 34,1 mg.kg ⁻¹)	815 échantillons de sols français notoirement non contaminés	D. Baize (INRA), 2000

1.5. Facteurs de conversion

Aucun facteur de conversion de disponible.

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

Les 2 principales voies d'exposition sont l'inhalation et l'ingestion. La population générale est essentiellement exposée par voie digestive alors que les expositions professionnelles sont essentiellement respiratoires.

30 à 50 % du plomb inhalé est retenu dans le système respiratoire, à différentes hauteur du tractus, en fonction de la taille des particules. Le plomb est principalement distribué dans 3 compartiments : le sang (lié à 95 % aux érythrocytes), les tissus mous et les os et les dents (95 % de la localisation chez les adultes et 70 % de la localisation chez les enfants). La demi-vie du plomb dans le sang est de 20 à 40 jours et de quelques années dans les os. La charge osseuse augmente avec l'âge (OMS, 2000).

Le plomb non absorbé est éliminé dans les fèces et 50 à 60 % du plomb absorbé est éliminé par voie rénale et biliaire (OMS, 2000). Le plomb est également excrété dans le lait, de part sa similitude avec le calcium (INRS, 1998).

Les sources d'exposition au plomb sont les suivantes :

- Alimentation en produits animaux et végétaux et en eau, en particulier si le réseau de distribution comporte des canalisations en plomb.
- Apports alimentaires en plomb pour un adulte : 50-110 µg.j⁻¹ (Ineris, 2003) et < 100 µg.j⁻¹ (OMS, 2000).
- Inhalation de poussières émises essentiellement par les sources anthropiques.
- Inhalation ou ingestion (essentiellement les enfants) de peintures anciennes pouvant contenir de 5 à 40 % de plomb (OMS, 2000).

Les enfants de moins de 6 ans représentent une population particulièrement sensible aux effets du plomb pour les raisons suivantes :

- Comportements à risques (temps passé en extérieur plus important que les adultes, hygiène précaire, portage main-bouche...),

- Apports alimentaires plus importants que les adultes relativement à leur poids,
- Absorption gastro-intestinale plus importante (10 % chez les adultes, 50 % chez les enfants),
- Carences nutritionnelles en fer et en vitamine D plus fréquentes, favorisant l'absorption du plomb par le tractus gastro-intestinal,
- Effets hématologiques et neurologiques apparaissant pour des seuils plus faibles que les adultes du fait de l'immaturité de la barrière entre le compartiment sanguin et cérébral chez les enfants.

L'absorption cutanée est généralement faible (INRS, 1998).

2.2. Toxicité aiguë

La toxicité aiguë est peu renseignée. Les doses létales sont de l'ordre de 2000 mg.kg⁻¹. Les signes précurseurs sont faiblesse, perturbation du sommeil et constipation. Il apparaît une néphrotoxicité réversible (INRS, 1998).

Les troubles digestifs (douleurs abdominales, vomissements) sont également les signes d'une intoxication aiguë chez l'enfant pour un LOAEL de 600 à 1000 µg.L⁻¹ d'après l'EPA (Ineris, 2003).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

En dehors du milieu professionnel, il est difficile de dissocier les effets liés à la voie respiratoire et ceux liés à la voie orale. Les effets mentionnés ci-dessous sont donc valables pour les 2 voies d'exposition.

Effets sur le système nerveux central : Chez l'adulte comme chez l'enfant il est observé des troubles neurologiques (troubles du sommeil, irritabilité, anxiété, perte de mémoire, confusion, sensation de fatigue. Certains auteurs suggèrent l'absence de seuil de plombémie pour ces effets. Les personnes âgées (effets sur la mémoire, l'orientation spatiale, la concentration et la dextérité) et les enfants (impact sur le développement des fonctions cognitives) sont particulièrement sensibles (Ineris, 2003).

Effets sur le système nerveux périphérique : se traduisant essentiellement par une faiblesse musculaire (Ineris, 2003).

Effets hématologiques : Anémie liée à l'inhibition de la synthèse de l'hème et à la réduction de la vie des érythrocytes (Ineris, 2003).

D'autres effets, rénaux (altération de la filtration glomérulaire), cardiovasculaires (hypertension artérielle) et immunitaires sont évoqués par plusieurs études portant sur de fortes expositions, mais elles restent controversés (Ineris, 2003).

2.3.2. Effets cancérigènes

Des études en milieu professionnel montrent une augmentation significative des cancers bronchiques et rénaux (Ineris, 2003).

Classements cancérigène du plomb et ses composés		
Composé	Classement	Organisme
plomb	2B	CIRC (1987)
	B2	EPA (2002)
dérivés inorganiques du plomb	B2	EPA (2002)
	2A	CIRC (2006)
dérivés organiques du plomb	3	CIRC (2006)
arseniate de plomb	I	Union européenne (JOCE, 1998) ¹
	IA	Union européenne (JOCE, 2008) ²
chromate de plomb	I	CIRC (1987)
	2	JOCE (2008)
sulfochromate de plomb, sulfochromate molybdate de plomb	2	JOCE (2008)
acétate de plomb	3	Union européenne (JOCE, 1998) ¹
	2	Union européenne (JOCE, 1998) ²

¹Annexe I de la directive 67/548/CE

²Annexe VI du règlement CLP n°1278/2008

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas classé le plomb et ses composés comme mutagène (JOCE, 1998 ; JOCE 2004 ; JOCE 2008a ; JOCE, 2008b).

Le potentiel génotoxique du plomb a été étudié chez les travailleurs du plomb et en population générale ainsi que sur des études in vitro sur des cellules de mammifères. Bien que les résultats ne soient pas toujours consistants, ils suggèrent que le plomb est clastogène (induction d'aberrations chromosomiques, échanges de chromatides sœurs dans les cellules sanguines) (ATSDR, 2007).

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne a classé le plomb et ses composés comme reprotoxique de catégorie 1 et de catégorie 3 (JOCE, 1998 ; JOCE, 2004 ; JOCE 2008) et comme toxique pour la reproduction de catégorie 1A et 2 (JOCE, 2008).

De nombreuses études ont étudié l'association entre l'exposition au plomb et les paramètres de la reproduction. Les résultats suggèrent que l'exposition professionnelle et environnementale entraîne des avortements, des naissances prématurées, des altérations des spermatozoïdes et une diminution de la fertilité masculine. Aucune étude n'a mis en évidence qu'une exposition à de faibles niveaux de plomb cause des malformations congénitales (ATSDR, 2007).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.2. VTR sur 8 heures

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérigènes

■ OMS, 2000 : 0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

L'OMS (2000) propose une valeur guide établie à partir de la plombémie. Les effets critiques pris en considération pour établir cette valeur guide sont **l'augmentation des protoporphyrines érythrocytaires libres chez l'adulte et un déficit cognitif, des troubles auditifs et la perturbation du métabolisme de la vitamine D chez l'enfant**. Les éléments pris en compte par l'OMS pour l'établissement de la VTR sont les suivants :

- une contamination anthropique amenant à un bruit de fond plombémique de 10 à 30 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,
- des effets délétères pouvant survenir lorsque la plombémie dépasse 100 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, en particulier chez les enfants,
- l'inhalation est la voie d'exposition prédominante chez l'adulte ; chez les jeunes enfants, l'inhalation est une voie de moindre importance par rapport à l'ingestion,
- 1 $\mu\text{g Pb}\cdot\text{m}^{-3}$ d'air entraîne directement un apport de 19 $\mu\text{g Pb}\cdot\text{L}^{-1}$ de sang chez l'enfant et 16 $\mu\text{g Pb}\cdot\text{L}^{-1}$ chez l'adulte. Mais pour prendre en compte le fait que l'exposition par voie aérienne contribue également à une augmentation de la plombémie par des voies indirectes (ingestion de particules aériennes, passage transcutané, transferts vers les sols...), les experts de l'OMS estiment qu'une concentration de 1 $\mu\text{g Pb}\cdot\text{m}^{-3}$ d'air entraîne une plombémie de 50 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,

Les objectifs fixés par l'OMS visent à ce que la distribution de la plombémie soit telle que 98 % de la population présente une plombémie inférieure à 100 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; pour cela, il faut que la plombémie de 50 % de la population soit en dessous de 54 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Sur cette base, la concentration annuelle de plomb dans l'air ne doit pas excéder 0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Cette valeur est également retenue par l'Union Européenne et le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. Cette valeur est basée sur la contribution du plomb inhalé dans l'augmentation de la plombémie et sur la valeur de plombémie à ne pas dépasser, soit $55 \mu\text{g.L}^{-1}$.

- **Anses, 2012 : $15 \mu\text{g.L}^{-1}$**

L'ANSES propose pour une exposition chronique par inhalation au plomb inorganique la valeur de dose interne de plomb dans le sang (plombémie) de $15 \mu\text{g.L}^{-1}$. Pour l'utilisation de cette valeur, il doit être tenu compte conjointement des apports par voie orale (cf ci-paragraphe « Valeurs toxicologiques de référence pour 2 voies d'exposition simultanées »).

- **Expertise Ineris, 2016 : $15 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Anses, 2012)**

3.4.2. Effets cancérogènes

- **OEHHA, 2011 : $1,2 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$**

Cet ERU est calculé à partir des résultats d'une étude chronique de 2 ans chez le rat (Azar *et al.*, 1973), exposé par voie orale à des teneurs en plomb dans la nourriture (0, 10, 50, 100, 500, 1000 et 2000 ppm). Cette étude dose-effet est la plus appropriée et disponible à ce jour d'après l'OEHHA pour établir une valeur dose-réponse. Des **tumeurs du rein** sont observées pour les 3 doses d'exposition les plus fortes. Environ 50% du plomb inhalé et 10% du plomb ingéré est absorbé. En faisant les hypothèses que le pourcentage de plomb absorbé par inhalation est similaire pour les rats et les hommes, que le poids moyen d'un homme est de 70 kg, que la quantité d'air respiré par jour est de 20 m^3 et que la dose ingérée de $1 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ de plomb est équivalent à $3500 \text{ g.m}^{-3}.\text{j}^{-1}$, le risque par inhalation est estimé à $1,2 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$.

- **Expertise Ineris, 2016 : $1,2 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$ (OEHHA, 2011)**

La seule VTR disponible pour les effets cancérogènes du plomb par Inhalation est l'ERU de l'OEHHA. La valeur de l'OEHHA pour des expositions par inhalation est obtenue par extrapolation voie à voie à partir de la valeur pour des expositions par voie orale. L'INERIS conseille de retenir cette valeur.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4.2. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérogènes

- **OMS, 2008 : $25 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{semaine}^{-1}$**

L'OMS a défini une dose hebdomadaire tolérable de $25 \mu\text{g/kg}$ de poids corporel/semaine (soit $3,6 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$). Cette VTR s'appuie sur les résultats d'études chez l'enfant qui montrent qu'un apport quotidien de 3 à $4 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ n'entraîne pas d'augmentation de la plombémie alors qu'un apport de $5 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ entraîne une **augmentation de la plombémie** (JEFCA, 1993). **En 2011, une nouvelle analyse de l'OMS ne retient plus la valeur de $25 \mu\text{g/kg}$.**

- **RIVM, 2001 : $25 \mu\text{g/kg}$ de poids corporel/semaine**

Le RIVM a repris la VTR de l'OMS exprimée pour une exposition journalière soit $3,6 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ($25 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{semaine}^{-1} / 7 \text{ jours}$) pour une **augmentation de la plombémie** chez l'enfant. **En 2011, une nouvelle analyse de l'OMS ne retient plus la valeur de $25 \mu\text{g/kg}$.**

- **Expertise Ineris, 2016 : $15 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Anses, 2013)**

L'ANSES propose pour une exposition chronique par inhalation au plomb inorganique la valeur de dose interne de plomb dans le sang (plombémie) de $15 \mu\text{g.L}^{-1}$. Pour l'utilisation de cette valeur, il doit être tenu compte

conjointement des apports par voie orale (cf ci-paragraphe « Valeurs toxicologiques de référence pour 2 voies d'exposition simultanées »).

4.3.2. Effets cancérigènes

- **OEHHA, 2011 : $8,5 \cdot 10^{-3} \text{ (mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$**

Cet ERU est calculé à partir des résultats d'une étude chronique de 2 ans chez le rat (Azar *et al.*, 1973), exposé par voie orale à des teneurs en plomb dans la nourriture (0, 10, 50, 100, 500, 1000 et 2000 ppm). Cette étude dose-effet est la plus appropriée et disponible à ce jour d'après l'OEHHA pour établir une valeur dose-réponse. Des **tumeurs du rein** sont observées pour les 3 doses d'exposition les plus fortes.

- **Expertise Ineris, 2016 : $8,5 \text{ (}\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$ (OEHHA, 2011)**

La seule VTR disponible pour les effets cancérogènes du plomb par voie orale est l'ERUo de l'OEHHA. Elle est retenue par l'Ineris.

5. Valeurs toxicologiques de référence pour 2 voies d'exposition simultanées :

Une plombémie critique de 15 $\mu\text{g/L}$ a été déterminée par l'Anses en 2012 pour l'ensemble des voies d'exposition. Cette valeur est associée à une augmentation de 10% de la prévalence de la maladie rénale chronique. Elle peut être considérée comme protectrice vis-à-vis des effets sur le système nerveux central chez l'enfant. Le collectif d'expert de l'Anses a estimé qu'une plombémie établie avec comme effet critique les effets rénaux chez l'adulte protégerait la population entière, y compris les enfants, contre l'ensemble des effets néfastes du plomb identifiés à ce jour. **La néphrotoxicité est donc retenue comme effet critique** pour l'ensemble de la population quelque soit l'âge. Différentes méthodes d'interpolation permettent d'estimer les doses journalières d'exposition susceptibles de conduire à une concentration de 15 $\mu\text{g/L}$ dans le sang des populations. Ces doses dépendent des modes d'exposition des populations.

L'EFSA (EFSA, 2010) a calculé la concentration en plomb dans le sang d'un adulte en appliquant l'équation de Carlisle *et al.* (1992) selon la formule empirique suivante :

Plombémie ($\mu\text{g/L}$) = [exposition *via* la nourriture ($\mu\text{g/kg/jour}$) x poids x 0,4] + [concentration dans le sol et les poussières (mg/kg) x 0,025 x 0,18] + [concentration atmosphérique ($\mu\text{g/m}^3$) x 16,4]

Dans son rapport, l'Anses reprend les conclusions du rapport de l'EFSA, y compris au sujet de l'estimation des doses externes d'exposition et de la méthode proposée par l'EFSA.

6. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Plomb Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	8h	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets non cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets cancérogènes	$1,2 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$	-	A	Tumeurs rénales	-	-	Expertise Ineris 2016 (OEHHA, 2011)
Digestive	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets non cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets cancérogènes	$8,5 \cdot 10^{-3} (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1})^{-1}$	-	A	Tumeurs rénales	-	-	Expertise Ineris 2016 (OEHHA, 2011)
Respiratoire + Digestive	Chronique – Effets non cancérogènes	$15 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	-	-	Effets rénaux	-	-	Anses, 2012 / EFSA, 2010

7. Valeurs d'exposition professionnelles

VME = 0,1 mg.m⁻³ pour le plomb et ses composés (INRS, 2008)

8. Bibliographie

Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), AVIS et rapport de l'Anses relatif «aux effets du plomb sur la santé associés à des plombémies inférieures à 100 µg/L», 146 pp. <http://www.anses.fr/sites/default/files/documents/CHIM2011sa0219Ra.pdf> (consulté en août 2013)

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2007, Toxicological Profile for Lead, <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp13.pdf> (consulté en mai 2011).

Denis Baise, INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 2000, Teneurs totales en "métaux lourds" dans les sols français : Résultats généraux du programme ASPITET, Courrier de l'environnement n°39.

EFSA (European Safety Food Agency), EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), EFSA Journal 2010; 8(4):1570, 151 pp. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1570.htm> (consulté en août 2013)

EPA (Environmental Protection Agency), 2004, Lead and compound (inorganic) (CASRN 7439-92-1), <http://www.epa.gov/iris/subst/0277.htm> (consulté en août 2013)

Ineris (Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels), 2007, Point sur les valeurs toxicologiques de référence (VTR) – juin 2007, N°DRC-07-86177-08805B, 43 p.

Ineris (Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels), 2003, Plomb et ses dérivés, Fiche de données toxicologiques et environnementales, Ineris-DRC 01-25590-00DF257.doc, version N°2-1-2003, 90 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 1998, Fiche toxicologique N°59, Plomb et composés minéraux, 8 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), juin 2008, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 23 p.

IPCS-Inchem (International Program on Chemical Safety), 1989, Environmental Health Criteria 85 Lead Environmental aspects, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc85.htm> (consulté le 06/01/09).

IPCS-Inchem (International Program on Chemical Safety), 1977, Environmental Health Criteria 3 Lead, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc003.htm> (consulté en août 2013).

JOCE, 1998, Commission directive 98/98/EC, 25ATP, Council Directive 67/548/EEC.

JOCE, 2004, Commission directive 2004/73/EC, 29ATP, Council Directive 67/548/EEC.

JOCE, 2008a, Commission directive 2008/58/EC, 30ATP, Council Directive 67/548/EEC.

JOCE, 2008b, regulations (EC) n°1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006.

MEDD (Ministère de l'environnement et du Développement Durable), 2004, L'évolution de la qualité de l'air en France-le point au 1^{er} janvier 2004, Bilan 1997-2003, http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/xls/Bilan_1997-2003_.xls (consulté le 06/01/09).

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Air toxics hot spots risk assessment guideline. Chemical-specific summaries of the information used to derive unit risk and cancer potency values, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2009/AppendixB.pdf (consulté en août 2013)

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2000, Air quality guidelines for Europe, second édition, 288 p. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2008, Guidelines for drinking-water quality. Third edition. Vol 1
Recommandations, 668 p.

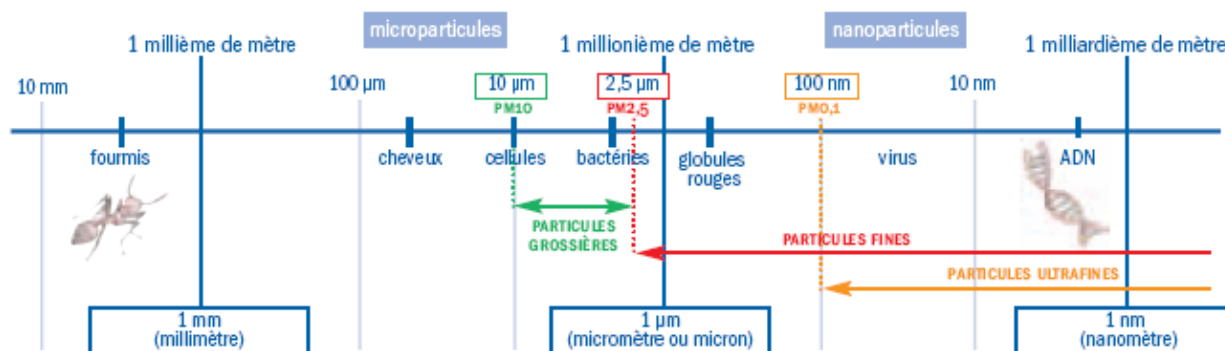
RIVM (Rijksinstituut Voor Volksgezondheid), 2001, Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk
levels.

Poussières (N°CAS -) – REV 02/2023

I. Généralités

I.1. Identification

Les particules sont des aérosols, des cendres, des suies ou des particules minérales qui ne sont pas définies en fonction de leur composition chimique, mais en fonction de leur taille. Elles peuvent comprendre un large éventail d'espèces chimiques (sulfates, nitrates, ammonium, chlorure de sodium, carbone, matière minérale, métaux, eau...).



Taille et définition des particules (AIRPARIF, 2007)

Les microparticules (de la taille du micromètre = 1 million de fois plus petit qu'un mètre) sont mesurées dans l'air pour les PM_{10} et les $PM_{2,5}$:

- Les PM_{10} (particules de taille inférieure à 10 µm)
- Les $PM_{2,5}$ (particules de taille inférieure à 2,5 µm) = particules fines

Les nanoparticules (de la taille du nanomètre = 1 milliard de fois plus petit qu'un mètre) = particules ultra-fines. Elles sont liées aux émissions à partir des nouvelles technologies. Elles ne seront donc pas prises en compte dans cette étude.

I.2. Utilisation

Sans objet.

I.3. Sources d'exposition

Les particules proviennent de sources naturelles (sel de mer, éruption volcanique, feu de forêt, érosion éolienne des sols...) et anthropiques. Les PM_{10} proviennent des activités industrielles (36 % des émissions), du chauffage domestique (21 %) et de l'agriculture (29 %). Les $PM_{2,5}$ proviennent principalement de la combustion du bois de chauffage (34 % des émissions) et des véhicules diesel (14 %) (CITEPA, 2007). Les particules les plus grossières (> 2 µm) ont, en général, pour origine des processus mécaniques naturels. Les particules de 0,1 à 2 µm sont issues de la condensation de vapeurs sur des particules existantes. Les particules inférieures à 0,1 µm résultent de la condensation de vapeurs chaudes durant les processus de combustion à haute température (Santé Canada, 2000).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'air, les particules les plus grosses (> 2 µm) sédimentent par gravité en quelques heures à quelques jours. Elles contribuent peu aux concentrations mais fortement à la masse. Les particules de 0,1 à 2 µm peuvent séjourner dans l'atmosphère de plusieurs jours à plusieurs semaines. Elles sont éliminées de l'atmosphère par dépôt sec ou lessivage (élimine 80 à 90 % des particules de l'atmosphère). Les particules les plus fines (< 0,1 µm) ont des mouvements aléatoires et de coagulation dans lesquels elles entre en collision pour former de plus grosses particules. Elles séjournent donc peu dans l'atmosphère (Santé Canada, 2000).

Concentrations dans l'air en poussières				
Milieu		Concentration	Caractéristique des mesures	Source
PM ₁₀		23,1 µg.m ⁻³	moyenne de 60 villes françaises en 2003	MEDD, 2003
		zones urbaines nord-européenne = 20 µg.m ⁻³	parmi 28 sites européens, hiver 1993-1994	OMS, 2005
		zone éloignée : 4-11 µg.m ⁻³	Amérique du nord	Santé Canada, 2000
		station urbaine : 11-42 µg.m ⁻³	Canada, 1980 à 1990	
		station rurale : 11- 17 µg.m ⁻³		
PM _{2,5}		15,2 µg.m ⁻³	moyenne de 15 villes françaises en 2003	MEDD, 2003
		zone éloignée : 1-5 µg.m ⁻³	Amérique du nord	Santé Canada, 2000
		station urbaine : 6,9-20,2 µg.m ⁻³	Canada, 1980 à 1990	
		station rurale : 7- 10,5 µg.m ⁻³		

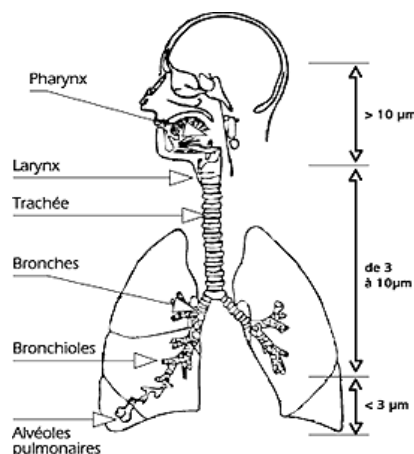
1.5. Facteurs de conversion

Sans objet

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

Plus les particules sont petites plus elles pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire.



Pénétration dans l'appareil respiratoire des particules en fonction de leur taille

L'élimination des particules arrêtées dans la partie supérieure du tractus respiratoire s'effectue mécaniquement (mouillage, essuyage, éternuement, déglutition du mucus ou expectoration). Elle peut prendre jusqu'à plusieurs jours. L'élimination des particules de la région trachéale s'effectue par transport muco-ciliaire vers le tractus gastro-intestinal en environ 24 heures, mais il est observé des rétentions plus longues. L'élimination des particules pulmonaires insolubles est rapide par phagocytose et transport muco-ciliaire.

2.2. Toxicité aiguë

Effets sur la mortalité : Démontrés dans des études longitudinales fondées sur l'analyse chronologique des associations entre les variations journalières des concentrations ambiantes et les variations quotidiennes des effets sur la santé (43 analyses dans 20 villes sur différents continents). La relation est linéaire ou curviligne selon les études

(1 pente forte aux faibles concentrations puis une pente plus faible aux fortes concentrations). L'augmentation du risque de mortalité que présentent les $PM_{2,5}$ est environ deux fois plus grande que celle pour les PM_{10} . Les adultes et les enfants souffrant de maladies respiratoires ont des risques accrus.

Hospitalisations et visites d'urgence : Il a été observé une association significative entre l'exposition aux PM_{10} ou aux $PM_{2,5}$ et l'hospitalisation pour troubles respiratoires ou cardiaques.

Diminution de la fonction pulmonaire, restriction d'activités se traduisant par de l'absentéisme (études de cohorte à court et long terme, transversale et chronologique).

Les effets sont observés de 24 heures à quelques jours après l'augmentation des concentrations ambiantes (Santé Canada, 2000).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

Augmentation de la mortalité, des symptômes de maladies respiratoires, diminution de la fonction et de la capacité pulmonaire chez les enfants et augmentation des cas de bronchite chronique et d'asthme chez certains adultes (Santé Canada, 2000).

Dans l'Union Européenne, l'exposition aux $PM_{2,5}$ produites par les activités humaines réduit en moyenne l'espérance de vie de 8,6 mois (OMS, 2006).

2.3.2. Effets cancérigènes

Il n'existe pas de concentration en poussières en dessous de laquelle il n'ait pas été constaté une augmentation de la mortalité. Il a été constaté une augmentation des cancers pulmonaires dans des études transversales en association avec une exposition aux PM_{10} et aux $PM_{2,5}$.

Classement cancérigène des poussières	
Classement	Organisme
-	-

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère mutagène des poussières.

Aucune étude n'a été retrouvée dans la littérature portant sur la génotoxicité des poussières.

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère reprotoxique des poussières.

Aucune étude n'a été retrouvée dans la littérature portant sur la reprototoxicité des poussières.

3. Valeurs toxicologique de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

Aucune VTR associée à cette voie et cette durée d'exposition n'est disponible dans la littérature, toutefois, une valeur guide aiguë est proposée par l'OMS :

- **OMS, 2021 : $PM_{2,5}$ = 15 $\mu g.m^{-3}$ et PM_{10} = 45 $\mu g.m^{-3}$ (moyenne sur 24h)**

Ces valeurs guides sont associées à des effets sur la mortalité et des décès pour différentes causes.

3.2. VTR sur 8 heures

Il n'a pas été trouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été trouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.4. VTR chronique

- **OMS, 2005 : $PM_{2,5} = 5 \mu g.m^{-3}$ et $PM_{10} = 15 \mu g.m^{-3}$ (moyenne annuelle) - VG**

La valeur guide annuelle moyenne de $10 \mu g.m^{-3}$ pour les $PM_{2,5}$ a été choisie à partir de l'extrémité inférieure de la plage sur laquelle des effets significatifs sur la survie ont été observés dans l'étude de l'American Cancer Society (ACS) (Pope C.A. *et al.*, 2002). L'adoption d'une valeur guide à ce niveau, accorde un poids important aux études d'exposition sur le long terme utilisant les données de l'ACS et de 6 villes (Krewski D. *et al.*, 2000, Jerret M. *et al.*, Dockery D.W. *et al.*, Pope C.A. *et al.*, 1995, 2000). Dans ces études, des associations robustes ont été signalées entre l'exposition à long terme aux $PM_{2,5}$ et la mortalité. La moyenne historique en $PM_{2,5}$ était de $18 \mu g.m^{-3}$ ($11.0-29.6 \mu g.m^{-3}$) dans l'étude des six villes et $20 \mu g.m^{-3}$ ($9.0-33.5 \mu g.m^{-3}$) dans l'étude de l'ACS. Dans l'étude de l'ACS, l'incertitude statistique liée aux risques devient manifeste à des concentrations d'environ $13 \mu g.m^{-3}$. En dessous de cette valeur la limite de confiance s'élargit puisque les concentrations sont relativement éloignées de la moyenne. Dans l'étude de Dockery *et al.*, les risques à long terme sont semblables dans les villes aux concentrations les plus basses de $PM_{2,5}$ (11 et $12,5 \mu g.m^{-3}$). L'augmentation du risque est significative pour des concentrations en $PM_{2,5}$ de $14,9 \mu g.m^{-3}$ (effets probables de 11 à $15 \mu g.m^{-3}$). Par conséquent, une concentration annuelle de $10 \mu g.m^{-3}$ serait inférieure à la moyenne amenant aux effets indiqués dans la documentation disponible. Bien que les effets néfastes sur la santé ne peuvent pas être entièrement exclus même en dessous de ce niveau, la valeur guide de l'OMS constitue un niveau qui se révèle être réalisable dans les pays développés, tout en permettant de réduire de façon efficace les risques pour la santé.

- **Expertise ANSES, 2023 : $(1.28.10^{-2} \mu g.m^{-3})^{-1}$**

Depuis janvier 2023, l'ANSES propose une nouvelle VTR relative aux poussières fines ($PM_{2,5}$). Cette VTR associée à des effets sans seuil de dose est basée sur les risques relatifs liés à l'exposition aux poussières fines ambiantes, aussi utilisées dans les évaluations quantitatives de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique. Dans son rapport d'expertise, l'ANSES indique que cette VTR doit être utilisée en complément des autres VTR caractérisant les substances présentes dans ces poussières atmosphériques. L'ANSES précise aussi qu'il n'existe pas de consensus ou recommandation sur des niveaux acceptables de risque sanitaire lié à l'exposition aux particules de l'air ambiant, contrairement à certaines substances chimiques pour lesquelles un niveau de risque de cancer de 10^{-5} ou 10^{-6} est considéré.

Cette VTR est associée à des décès toutes causes non accidentelles, qui incluent toutes les pathologies entraînant un décès et pouvant être liées à l'exposition aux particules, représentent donc un événement intégrateur en termes de pathologies sous-jacentes.

L'excès de risque vie entière (ELR) retenu pour l'établissement d'une VTR est issu de l'utilisation de la fonction concentration-risque de Strak *et al.* (2021). Cet excès de risque vie entière est considéré comme valide sur la gamme de concentrations en $PM_{2,5}$ [$4,9 - 30 \mu g.m^{-3}$].

La VTR retenue pour les particules de l'air ambiant est l'ERU de décès toutes causes non accidentelles de $1,28.10^{-2} (\mu g.m^{-3})^{-1}$ et la fonction paramétrique associée $ELR = 2,19.10^{-5} \times [PM_{2,5}]^3 - 1,51.10^{-3} \times [PM_{2,5}]^2 + 3,61.10^{-2} \times [PM_{2,5}] - 8,83.10^{-2}$. Il s'agit de l'ERU le plus protecteur retenu par l'ANSES.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

Non pertinent

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Poussières Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë - PM _{2.5}	25 µg.m ⁻³	24h	H	Effets sur la mortalité	-	-	OMS, 2005
	Aiguë - PM ₁₀	50 µg.m ⁻³	24h	H	application d'un facteur 0,5 (valeur urbaine dans les pays développés) aux concentrations de PM _{2.5}	-	-	OMS, 2005
	8h	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets non cancérogènes - PM _{2.5}	10 µg.m ⁻³	-	H	Baisse de l'espérance de vie	-	-	OMS, 2021
	Chronique – Effets non cancérogènes - PM ₁₀	20 µg.m ⁻³	-	H	Baisse de l'espérance de vie	-	-	OMS, 2021
	Chronique – Effets cancérogènes	1.28.10 ⁻² µg.m ⁻³ .l ⁻¹	-	H	Mortalité non accidentelle toute causes confondues	-	-	ANSES, 2023

6. Valeurs d'exposition professionnelles

Poussières inhalables réputées sans effet spécifique : VME = 10 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

Poussières alvéolaires réputées sans effet spécifique : VME = 5 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

7. Bibliographie

AIRPARIF Actualité, 2007, n°30, 8 p.

ANSES, 2023, Valeurs toxicologiques de référence, Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective, Janvier 2023, Les particules de l'air ambiant extérieur (<https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2019SA0198Ra.pdf>)

CITEPA, 2007, <http://www.citepa.org/publications/Inventaires.htm> (consulté le 25/09/2007).

Santé Canada, 2000, Particules inhalables de 10 microns ou moins, Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Liste des substances d'intérêt prioritaire. Rapport d'évaluation, 88 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), juin 2008, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 23 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2006, Air Quality guidelines. Global Update 2005, <http://www.euro.who.int/Document/E90038.pdf> (consulté en juillet 2011).

Vanadium (N° CAS 7440-62-2) et ses composés – REV 05/2018

I. Généralités

I.1. Identification

Le vanadium (n° CAS 7440-62-2) est un métal mou et gris qui peut exister dans plusieurs états d'oxydation : -1, 0, +2, +3, +4 et +5. La forme commerciale la plus commune est le pentoxyde de vanadium (V_2O_5 ; N° CAS 1314-62-1), qui se présente sous forme d'une poudre rouge-jaune ou vert cristallin (OMS, 2001). Les composés organiques de vanadium sont généralement instables (IPCS, 1988).

I.2. Utilisation

Le vanadium est principalement (75 - 85%) utilisé dans la sidérurgie comme un additif dans l'alliage de divers types d'acier qui sont notamment employés pour les pièces automobiles, ressorts, roulements à billes. Son utilisation dans les métaux non ferreux est importante pour l'industrie nucléaire et la construction aéronautique. Le vanadium est aussi largement utilisé comme catalyseur dans l'industrie chimique, où le pentoxyde de vanadium est particulièrement important pour la production d'acide sulfurique et de matières plastiques. De petites quantités de vanadium sont utilisées dans une variété d'autres applications (IPCS, 1988 ; ATSDR, 2009).

I.3. Sources d'exposition

Le vanadium est naturellement présent dans le sol, l'eau et l'air. Les sources naturelles de vanadium dans l'atmosphère sont les poussières continentales, les aérosols marins, et les émissions volcaniques. Les émissions de vanadium dans l'environnement sont principalement associées à des sources industrielles, les raffineries de pétrole en particulier et les centrales électriques utilisant du fioul et/ou du charbon riche en vanadium. Les rejets anthropiques de vanadium dans l'atmosphère ont été estimés comme étant supérieurs aux rejets naturels. Au contraire, les rejets naturels de vanadium dans l'eau et dans les sols sont beaucoup plus importants que les rejets atmosphériques d'origine anthropique (ATSDR, 2009).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'air, la combustion de fioul lourd et de charbon, en particulier dans les centrales au fioul/au charbon, dans les raffineries, et dans les chaudières industrielles est la principale source d'émissions anthropiques de vanadium dans l'atmosphère. En fonction de son origine, le pétrole peut contenir entre 1 à 1400 ppm¹ de vanadium. Au cours de la combustion de fioul lourd, les composés de vanadium présents sont oxydés et transformés en divers composés (par exemple, en pentoxyde de vanadium, en tétraoxyde de vanadium, en trioxyde de vanadium, et en dioxyde de vanadium). Ces composés sont émis sous forme de cendres volantes dans l'atmosphère (IPCS, 1988).

Dans l'eau, la plupart des eaux douces superficielles contiennent généralement moins de 3 mg de vanadium / litre (OMS, 2001). Les sources naturelles de rejet de vanadium à l'eau sont les dépôts atmosphériques secs et humides, l'érosion des sols et le lessivage des roches et des sols. La plus grande quantité de vanadium émise correspond à l'érosion hydrique des sols (à l'échelle mondiale, 32 300 tonnes de vanadium sont dissoutes et 308 650 tonnes supplémentaires transportées sous forme de particules et de sédiments en suspension). Les rejets anthropiques dans l'eau et les sédiments sont beaucoup plus faibles que les rejets naturels. Ces sources de vanadium dans l'eau sont liées aux résidus de lixiviation des minerais et des argiles, aux boues d'épuration urbaines, à certains engrais, et aux lixiviats provenant des dépôts de cendres et de charbon (ATSDR, 2009).

Dans les sols, les rejets naturels de vanadium dans le sol sont liés à l'altération de roches contenant des minéraux de vanadium, aux dépôts atmosphériques, au dépôt de particules en suspension dans l'eau, et aux déchets végétaux et animaux. La plus grande quantité de vanadium libéré dans le sol se fait par l'altération naturelle des formations géologiques. Les rejets anthropiques de vanadium dans le sol sont moins importants que les émissions naturelles : il s'agit par exemple de l'utilisation de certains engrais contenant des matières ayant une teneur en vanadium

¹ 1 ppm massique de vanadium dans du fioul lourd correspond à une concentration de 0,8 g.m⁻³ (1 à 1400 ppm = 0,8 g.m⁻³ à 1,2 kg.m⁻³)

comme dans les gisements de phosphate (10-1000 mg vanadium / kg phosphate), ou de l'élimination des déchets industriels tels que les résidus miniers. Ces rejets anthropiques peuvent aussi résulter de l'élimination des déchets contenant du vanadium dans les décharges, même si cela n'a pas été spécifiquement documenté, et des dépôts humides et secs de particules en suspension, issus de la combustion de fioul lourd (ATSDR, 2009).

Dans les végétaux. La majorité des aliments comportent de faibles concentrations en vanadium, inférieures à 1 ng/g pour la plupart d'entre eux, bien que de grandes variabilités aient été observées suivant la catégorie alimentaire. De manière générale, les céréales contiennent des niveaux plus élevés de vanadium à l'exception des fruits et légumes. Les niveaux de vanadium dans les huiles, les graisses et la viande de porc sont faibles, mais ceux dans le foie et les reins de vaches et de porcs sont plus élevés. Des niveaux plus élevés se trouvent également dans la chair et les organes internes des volailles, et dans la chair des poissons. Les concentrations de vanadium dans le lait et les œufs sont faibles, contrairement aux concentrations retrouvées dans la bière et le vin. Aucune explication n'a été donnée pour le niveau très élevé retrouvé dans l'aneth et le persil (IPCS, 1988).

Par ailleurs, l'OMS précise que le vanadium est utilisé dans certains traitements contre l'anémie, la tuberculose et le diabète. Pour les personnes atteintes de diabète; les formes de vanadium utilisées sont le sulfate de vanadyle et le métavanadate de sodium. Ces traitements représentent des apports journaliers en vanadium entre 30 et 150 mg (IPCS, 1988).

Concentrations environnementales en vanadium			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	0,4 à 1460 ng.m ⁻³	Zones urbaines	OMS, 2001 (d'après Schroeder et al., 1987 ; Mamane & Pirrone, 1998)
	0,4 à 500 ng.m ⁻³	Zones rurales	
	0,001 à 14 ng.m ⁻³	Zones reculées (Arctique, îles océaniques dans le Pacifique ou l'Atlantique)	
Eau	2 à 9 mg.L ⁻¹	Dans les rivières du Wyoming, de l'Idaho, de l'Utah et du Colorado (USA)	OMS, 2001 (d'après Parker et al., 1978)
	0,2 à 64,5 mg.L ⁻¹ (0,02 à 0,46 mg.L ⁻¹)	Rivière Yangtze en Chine non filtré (filtré)	OMS, 2001 (d'après Zhang & Zhou, 1992)
	14,8 à 48,8 mg.L ⁻¹	Région du mont Fuji au Japon	OMS, 2001 (d'après Hamada, 1998)
	1 à 3 mg.L ⁻¹ (20 à 200 mg / g)	Eau de mer (dans les sédiments)	OMS, 2001 (d'après Miramand & Fowler, 1998)
Sols	100 mg.kg ⁻¹	Moyenne mondiale	OMS, 2001 (d'après Hopkins et al., 1977)
	7 à 500 mg.kg ⁻¹ (médiane de 60 mg.kg ⁻¹ et P90 à 130 mg.kg ⁻¹)	Concentrations des sols aux USA	OMS, 2001 (d'après Schacklette et al., 1971)
	18 à 136 mg.kg ⁻¹ sol (sec)	Profondeur de 10 cm entre 600 et 2400 mètres d'une usine produisant du pentoxyde de vanadium (niveau de fond non indiqué)	OMS, 2001 (d'après Lener et al., 1998)
Aliments	< 1 ng.kg ⁻¹ MS	Pour la majorité des aliments	OMS, 2001 (d'après Byrne et Kosta 1978)
	1800 ng.g ⁻¹ MS ; 533-840 ng.g ⁻¹ MS ; 50-2000 ng.g ⁻¹ MS	Persil, épinards, champignons sauvages	
	0,7 ng. g ⁻¹ ; 30 ng. g ⁻¹	Céréales (maïs, riz)	ATSDR, 2009 (d'après Sepe et al., 2003), OMS, 2001 (d'après Byrne et Kosta, 1978)
	3,5 à 74,4 ng. g ⁻¹	Poisson (maquereau, thon, anchois, rouget, merlu)	
	0,05 à 1,92 mg. kg ⁻¹ (médiane de 0,23 mg. kg ⁻¹)	Lait de vache (Afrique du sud)	ATSDR, 2009 (d'après Gummow et al., 2005)

1.5. Facteurs de conversion

Non applicable

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

La population est exposée au vanadium principalement par voie orale (ingestion de vanadium dans les aliments) et par voie respiratoire. Des études d'expositions professionnelles, des études expérimentales et des études chez les animaux en laboratoire, ont été menées pour identifier les effets associés à cette substance. Les effets principaux associés au vanadium sont : une atteinte du système hématologique lors d'une exposition par voie respiratoire et/ou orale, une atteinte des fonctions pulmonaires lors d'une exposition par voie respiratoire et une atteinte du développement de l'organisme lors d'une exposition par voie orale (ATSDR, 2009).

Il y a peu d'information sur le dépôt de composés du vanadium dans les voies respiratoires après inhalation. Cependant, certaines études ont montré que le vanadium se trouvait sur des particules fines (diamètre de taille inférieure au micromètre) facilement respirables pour l'Homme. Les composés de vanadium solubles inhalés sont ensuite facilement absorbés, toutefois, le taux d'absorption n'a pas été quantifié. Il a été estimé qu'environ 25 % des composés solubles du vanadium pouvaient être absorbés par les voies respiratoires. Cette estimation a été démontrée chez les travailleurs exposés aux poussières de vanadium, qui ont montré des concentrations accrues de vanadium dans les urines (IPCS, 1988).

En général, les sels de vanadium sont mal absorbés par le tractus gastro-intestinal chez l'Homme. Dans une étude rappelée par l'OMS, de 0,1 à 1 % de vanadium (sous forme très solubles) a été absorbé par le tractus gastro-intestinal et 60% de celui-ci a été excrété par les reins dans les 24 h. Le reste a été conservé dans le foie et les os, jusqu'à la fin de l'administration par voie orale ; il a ensuite été évacué en grande partie dans les fèces et dans les urines (IPCS, 1988).

2.2. Toxicité aiguë

L'inhalation des fumées libérées lors de la production de pentoxyde de vanadium (V_2O_5) et pendant le nettoyage d'une chaudière par exemple, peut provoquer une irritation des yeux et des voies respiratoires et une diminution du calibre des bronches par constriction pulmonaire (bronchospasme). Le début des symptômes survient 1 à 6 jours après l'exposition. Une exposition plus importante au pentoxyde de vanadium peut entraîner une aggravation des symptômes, probablement à cause d'une sensibilisation plus élevée à cette substance. Le seuil d'irritation des yeux est signalé à $0,5 \text{ mg.m}^{-3}$. Le seuil d'irritation des voies respiratoires est inférieur à celui de l'irritation oculaire, donc à des concentrations inférieures à $0,5 \text{ mg.m}^{-3}$ (OEHA, 1999). Une coloration verdâtre de la langue peut aussi être observée chez les personnes exposées à des concentrations élevées de pentoxyde de vanadium et est probablement due à la formation de complexes de vanadium trivalent et tétravalent. La couleur verte disparaît dans les 2-3 jours après cessation de l'exposition (IPCS, 1988).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

Les effets systémiques sont rares chez les travailleurs exposés à des composés de vanadium. Différents signes et symptômes non spécifiques ont été signalés, comme des maux de tête, des vomissements, et un trouble auditif (bourdonnement dans les oreilles). Des étourdissements, des vertiges et les symptômes neurasthéniques et végétatifs (fatigue, lassitude, difficultés de concentration, étourdissements, nausées, palpitations cardiaques et troubles digestifs) ont été aussi reportés. Quelques rapports mentionnent aussi des tremblements. Ces effets sont susceptibles d'être associés uniquement à des niveaux d'exposition relativement élevés. Les effets systémiques tels que l'anémie, la leucopénie (baisse du nombre de leucocytes totaux dans le sang), et la granulation des leucocytes basophiles ont été rapportés, mais ces effets n'ont pas pu être associés à un niveau d'exposition particulier. Bien que les changements sur les quantités de graisse dans le foie et les reins aient été observés chez les animaux de laboratoire, il n'existe pas de donnée sur les êtres humains pour évaluer ces effets.

Des tests ont été menés pour tenter de relier les niveaux de vanadium dans l'air ambiant à des effets néfastes sur la population générale. Ces tests ont abouti à des corrélations positives entre les concentrations atmosphériques en vanadium et la mortalité par maladies cardio-vasculaires, par cancer du poumon, par bronchite. Toutefois, aucun lien de causalité n'a été établi jusqu'à maintenant. En effet, des études supplémentaires sont nécessaires, notamment pour tenir compte des facteurs de confusion et des inter corrélations existantes dans les études disponibles (IPCS, 1988 ; ATSDR, 2009).

2.3.2. Effets cancérogènes

Les effets cancérogènes induits par l'inhalation de vanadium chez la souris sous forme de pentoxyde de vanadium ne sont pas clairement établis. Par ingestion, ces effets n'ont pas non plus été démontrés, puisque seuls des adénomes ou des sarcomes dans les poumons ont été observés jusqu'à maintenant (RIVM, 2009).

Selon le CIRC, il existe des preuves suffisantes chez les animaux expérimentaux sur la cancérogénicité de pentoxyde de vanadium, mais ce n'est pas le cas chez l'homme. Le CIRC a, par conséquent, placé le pentoxyde de vanadium dans le groupe 2B, ce qui signifie que cette substance est probablement cancérogène pour l'homme (CIRC, 2006).

Classement*	Organisme
2B	CIRC (2006)

*Sous forme de pentoxyde de vanadium

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne a classé le pentoxyde de vanadium comme mutagène de catégorie 3 (JOCE, 1998) et comme mutagène pour les cellules germinales de catégorie 2 (JOCE 2008).

En 2006, le CIRC a conclu que le pentoxyde de vanadium était mutagène *in vitro* et peut-être aussi *in vivo* chez la souris.

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne a classé le pentoxyde de vanadium comme reprotoxique de catégorie 3 (JOCE, 1998) et toxique pour la reproduction de catégorie 2 (JOCE, 2008).

Les effets potentiels du vanadium sur le développement chez l'homme apparaissent comme limités, mais ils ont été observés chez les animaux de laboratoire. La diminution de la croissance des nouveaux-nés a été observée à des doses supérieures ou égales à 2,1 mg de vanadium.kg⁻¹.j⁻¹. À des doses plus élevées, une diminution de la survie des petits, ainsi que des anomalies du squelette et des malformations viscérales ont été signalées ; une diminution marquée du poids corporel maternel est également observée à ces niveaux de doses (ATSDR, 2009).

Les données disponibles suggèrent également que le vanadium peut être embryotoxique et gonadotoxique, cependant, les résultats indiquant la présence d'effet tératogène demandent confirmation selon l'ATSDR (ATSDR, 2009).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

▪ OEHHA, 1999 : 30 µg.m⁻³ / 1h (pentaoxyde de vanadium)

Cette REL est obtenue à partir de l'étude de Zenz et Berg (1967) qui a porté sur les réactions sensorielles chez l'Homme à l'exposition au pentaoxyde de vanadium (V₂O₅) chez 9 volontaires de sexe masculin. Les hommes ont été exposés pendant une période de 8 heures à 1,0, 0,25 ou 0,1 mg.m⁻³ de V₂O₅. Les deux volontaires exposés à 1,0 mg.m⁻³ ont commencé à tousser pendant la deuxième moitié de l'exposition. La toux a persisté pendant 8 jours après l'exposition. Cinq des neuf sujets ont été exposés à 0,25 mg.m⁻³. Le lendemain de leur exposition, les cinq sujets ont développé une toux productive (mucus), qui a duré 7 à 10 jours après exposition. Les deux volontaires exposés à 0,1 mg.m⁻³ en V₂O₅ n'ont montré aucun symptôme pendant ou immédiatement après l'exposition, mais dans les 24 heures ils ont développé un mucus important qui a diminué après 4 jours. À partir des résultats de cette étude, l'OEHHA a assimilé la concentration de 0,1 mg.m⁻³ à un « NOAEL/LOAEL » pour une durée de 8 heures et l'effet critique suivant : **toux et production de mucus** chez des individus sains. Pour ramener cette concentration à une concentration horaire, l'OEHHA a considéré que le rapport de temps (1h/8h) devait être proportionnel au rapport des carrés des « NOAEL/LOAEL » pouvant être obtenus pour 1 heure et 8 heures. Par conséquent, l'équation utilisée pour déterminer le NOAEL pour une durée de 1 heure (NOAEL_{1h}) est la suivante :

$$NOAEL_{1h} = \sqrt{NOAEL_{8h}^2 \times \frac{8}{1}} = 0,3$$

Le NOAEL_{1h} obtenue finalement par l'OEHHA est de 0,3 mg.m⁻³. La REL aiguë est obtenue après application d'un facteur d'incertitude de 10 correspondant à la variabilité de sensibilité dans la population humaine.

▪ **Expertise Ineris, 2011 : 0,2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (ATSDR, 1992)**

De manière générale, les REL de l'OEHHA pour des expositions de 1 à 8 heures correspondent à des seuils accidentels et ne sont pas retenus par l'INERIS dans ces choix de VTR.

L'INERIS propose de retenir la valeur de l'ATSDR de 2.10^{-4} mg V. m^{-3} pour une exposition aiguë par inhalation au vanadium et ses composés. Cette valeur est basée sur la seule VTR disponible, celle de l'ATSDR. Cette valeur est établie à partir d'une étude chez le volontaire sain (Zenz et Berg, 1967). mais la durée d'exposition est un peu courte. La construction de la VTR est claire et cohérente ainsi que le choix des facteurs d'incertitude.

Note NUMTECH : au moment de l'expertise Ineris, l'ATSDR, en 2009, avait publié une VTR provisoire de 0,8 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Elle est passée en statut définitif en 2012 et n'est pas intégrée à l'expertise.

▪ **ATSDR, 2012 : 0,8 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1-14 j (vanadium)**

Cette VTR est issue d'une étude animale récente ayant porté sur des groupes de rats mâles et femelles (NTP, 2002). Ces rats F344 ont été exposés à des concentrations de 0, 1, 2 ou 4 mg. m^{-3} de V_2O_5 (0, 0,56, 1,1 ou 2,2 mg. m^{-3} en équivalent vanadium) sous forme d'aérosols 6 heures par jour, 5 jours par semaine. Après 6 et 13 jours, 10 rats ont été sacrifiés dans chaque groupe pour un examen histopathologique des poumons. Quatre rats par groupe ont été sacrifiés pour évaluer l'apparition et l'étendue des lésions pulmonaires après 1, 2, 5, 10 ou 16 jours d'exposition. Une hyperplasie (développement anormal de cellules normales) de l'épithélium au niveau des alvéoles et au niveau des bronches a été observée chez 100 % des rats exposés à 1,1 ou 2,2 mg. m^{-3} de vanadium pendant 6 et 13 jours. D'autres effets sont observés tels que des infiltrats histiocytaïres (augmentation du nombre de macrophages dans les alvéoles) et une inflammation des poumons chez des rats exposés à 1,1 ou 2,2 mg. m^{-3} de vanadium après 6 et 13 jours et chez des rats exposés à 0,56 mg. m^{-3} de vanadium pendant 13 jours. Une augmentation significative de la fibrose (transformation fibreuse de certains tissus) a été observée chez des rats exposés à 2,2 mg. m^{-3} de vanadium pendant 13 jours. Aucune modification histopathologique n'a été observée chez les quatre rats femelles sacrifiées après le premier jour d'exposition. Après le deuxième jour, une inflammation des poumons et des infiltrats histiocytaïres ont été observés chez les rats exposés à 2,2 mg. m^{-3} de vanadium. Une hyperplasie de l'épithélium alvéolaire et bronchiolaire a d'abord été observée au 5^{ème} jour chez les rats exposés à 1,1 ou 2,2 mg. m^{-3} de vanadium. Un LOAEL de 0,56 mg. m^{-3} a été choisi comme point de départ de la MRL pour une inflammation pulmonaire. Ce LOAEL a été ajusté en tenant compte de la durée d'exposition des animaux (5 jours par semaine et 8 heures par jour) et a abouti à un LOAEL_{ajusté} de 0,1 mg. m^{-3} . Le coefficient RDDR (regional deposited dose ratio) de l'EPA, lequel attribue un ratio en fonction du poids de l'individu, de la granulométrie de la particule inhalée (1,2 μm par défaut avec une variabilité standard de 1,9 μm) et de la localisation de la cible de l'effet (zone thoracique dans le cas présent) a ensuite été pris en compte (RDDR=0,732). Le produit du LOAEL_{ajusté} et de ce coefficient a mené à une concentration équivalente pour l'homme de 0,073 mg. m^{-3} de vanadium.

Un facteur d'incertitude de 90 a été utilisé pour l'obtention de la MRL (3 pour l'utilisation d'un LOAEL, 3 pour l'extrapolation inter espèce en utilisant des ajustements dosimétriques déjà effectués dans le calcul, et 10 pour la variabilité de sensibilité chez l'homme). La MRL aiguë par inhalation obtenue est donc de 0,0008 mg. m^{-3} de vanadium pour une **inflammation des poumons**.

3.2. VTR sur 8 heures

Il n'a pas été retrouvé de VTR 8h dans la littérature consultée.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire dans la littérature consultée.

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérigènes

▪ **OMS, 2005 : 1 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (vanadium)**

L'OMS propose une VTR basée sur 3 études en milieu professionnel (Lewis, 1959 ; Kiviluoto et al., 1979 ; Nishiyama et al., 1977). Un LOAEL de 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$ a été dérivé pour des **symptômes sur les voies respiratoires supérieures** (toux, irritation) auquel est appliqué un facteur de protection de 20 (pour des effets minimaux à cette concentration et car aucune sous-population sensible n'a été identifiée). **Cette valeur peut être considérée comme une VTR.**

- **RIVM, 2009 ; 1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ – V_2O_5 ou autres composés du vanadium - provisoire**

Cette TCA est déduite d'une étude du NTP (2002) ayant porté sur le rat et la souris exposés à du pentoxyde de vanadium. Un LOAEL compris entre 0,5 et 1 $\text{mgV}_2\text{O}_5/\text{m}^3$ est obtenu pour des **adénomes et des sarcomes du poumon**. La VTR est obtenue après application d'un facteur d'incertitude de 1000 (10 pour l'utilisation d'un LOAEL à la place d'un NOAEL, 10 pour l'extrapolation inter- et intraespèce) se traduirait par un TCA de 0,5-1 $\mu\text{gV}_2\text{O}_5/\text{m}^3$. **Le RIVM précise que dans une hypothèse majorante, cette VTR peut également être appliquée comme VTR provisoire pour d'autres composés de vanadium.**

- **Expertise Ineris, 2011 : 1 $\mu\text{gV}\cdot\text{m}^{-3}$ (RIVM, 2009) - vanadium et ses composés**

Cette valeur est basée sur la seule VTR disponible, celle du RIVM (l'Ineris ne considère pas la VG de l'OMS comme une VTR). Cette valeur est basée sur une étude chronique chez le rat et la souris exposés au pentoxyde de vanadium (NTP, 2002). Une LOAEC pour des effets sur le développement est retenu. Un facteur d'incertitude de 1 000 est appliqué correspondant à un facteur de 10 pour l'utilisation d'un LOAEL, un facteur de 10 pour l'extrapolation inter-espèce et un facteur de 10 pour tenir compte de la variabilité au sein de la population humaine.

- **ATSDR, 2012 : 0,1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (vanadium)**

Cette VTR est issue d'une étude animale récente ayant porté sur des groupes de rats mâles et femelles (NTP, 2002). Des groupes de 50 mâles et 50 femelles rats F344 ont été exposés à 0, 0,5, 1 ou 2 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de pentoxyde de vanadium (0, 0,28, 0,56 et 1,1 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en équivalent vanadium) pendant 6 heures par jour et 5 jours par semaine pendant 104 semaines. Toutes les 4 semaines à partir de la 5^{ème} semaine et jusqu'à la 89^{ème} semaine, puis toutes les 2 semaines à partir de la 92^{ème} semaine et jusqu'à la fin, les observations cliniques suivantes ont été effectuées : mesure du poids corporel, autopsie complète, et examen microscopique des tissus et des organes principaux.

Aucune modification significative de la survie ou du gain de poids corporel n'a été observée chez les rats exposés au vanadium. Toutefois, un certain nombre de lésions ont été observées chez les rats mâles et femelles exposés à 0,28 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de vanadium, en plus d'une hyperplasie de l'épithélium au niveau des alvéoles et des bronches, d'une inflammation chronique du larynx, d'une dégénérescence de l'épiglotte (cartilage placé derrière la base de la langue, destiné à recouvrir la glotte au moment de la déglutition), et d'une hyperplasie des cellules caliciformes respiratoires épithéliales (prolifération anormale des cellules à mucus au niveau de la surface interne du système respiratoire). L'incidence de ces lésions chez les rats mâles a été modélisée en utilisant le logiciel BMDS EPA (version 2.1). Finalement, les valeurs de BMCL_{10} (les plus basses valeurs de BMC associées à une incidence de 10 % de l'effet recherché) obtenues pour (1) l'hyperplasie épithéliale au niveau des alvéoles, (2) l'hyperplasie épithéliale au niveau des bronches, (3) l'inflammation chronique du larynx, (4) la dégénérescence de l'épithélium au niveau de l'épiglotte, et (5) l'hyperplasie des cellules caliciformes nasales, ont été respectivement de 0,09, 0,10, 0,07, 0,04, 0,16 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en équivalent vanadium.

L'adaptation de ces valeurs à l'Homme a été obtenue en dérivant ces données pour une exposition continue (24 h par jour et 7 j par semaine) et du coefficient RDDR (regional deposited dose ratio). Dans le cas présent, trois coefficients ont été attribués pour les trois zones concernées, à savoir (1) la zone pulmonaire (hyperplasie épithéliale au niveau des alvéoles), (2) la zone thoracique (hyperplasie épithéliale au niveau des bronches) et (3) la zone extra thoracique (inflammation chronique du larynx, dégénérescence de l'épithélium au niveau de l'épiglotte, hyperplasie des cellules caliciformes nasales).

Finalement, après ajustement à l'Homme, la BMCL la plus faible correspond à une **dégénérescence de l'épithélium au niveau de l'épiglotte**. A cette BMCL ajustée de 0,003 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, un facteur d'incertitude de 30 a été pris en compte (3 pour l'extrapolation inter espèce et 10 pour la variabilité de sensibilité chez l'Homme). La MRL obtenue est donc 0,0001 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en équivalent vanadium.

3.4.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été retrouvé de VTR associée à ce type d'effets dans la littérature consultée.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR aiguë dans la littérature consultée.

4.2. VTR intermédiaire

- **Expertise Ineris, 2011 : $3 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (ATSDR, 1992) - vanadium et ses composés**

L'INERIS propose de retenir la valeur de l'ATSDR de $3.10^{-3} \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour une exposition subchronique par voie orale au vanadium et ses composés. Cette valeur est basée sur la seule VTR disponible, celle de l'ATSDR. L'étude retenue (Domingo et al., 1985) est bien menée et de durée compatible avec une VTR pour des expositions sub-chronique, le calcul est transparent et les facteurs d'incertitude transparents.

- **ATSDR, 2012 : $10 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ - vanadium**

Cette VTR est basée sur une étude d'exposition humaine (Fawcette et al., 1997). Un groupe de 11 hommes et 4 femmes ont été exposés pendant 1 an, par voie orale, à $0 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ de vanadium et un autre groupe de 12 hommes et 4 femmes ont été exposés à $0,12 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ de vanadium. Un NOAEL de $0,12 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ de vanadium a été observé pour des **effets hématologiques et des effets sur la pression sanguine**, auquel a été appliqué un facteur d'incertitude de 10 (pour la variabilité humaine).

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérogènes

- **US-EPA, 1996 : $9 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ – V_2O_5**

Cette RfC est issue de l'étude de Stokinger et al. (1953). Les résultats n'ayant pas été publiés, l'EPA a utilisé les résultats de cette étude cités dans la troisième édition du Patty's Industrial Hygiene and Toxicology de 1981. Dans le cadre de cette étude, un nombre indéterminé de rats a été exposé pendant deux ans et demi à un régime alimentaire comprenant 10 ou 100 ppm de vanadium (environ 17,9 ou 179 ppm de pentoxyde de vanadium). Les résultats de cette étude non publiée ont été résumés par Stokinger et al. (1981). Les paramètres utilisés pour évaluer la toxicité du vanadium ont été les taux de croissance et de survie, et le contenu en cystine des poils. D'après le résumé de l'étude, le seul changement significatif déterminé sur les animaux ingérant du vanadium a été une **diminution de la quantité de cystine dans leurs poils**.

Parmi les études animales subchroniques et chroniques disponibles, la dose ingérée la plus faible est reportée par Stokinger et al. (1953) est de 10 ppm de vanadium (17,9 ppm de pentoxyde de vanadium correspondant à $0,89 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$). Cette étude conduit au NOAEL le plus fort à partir duquel une VTR peut être obtenue. Une dose de référence par voie orale de $0,009 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ($0,62 \text{ mg / jour}$ pour une personne de 70 kg) peut être calculée en considérant que les rats mangent l'équivalent de 5 % de leur poids corporel par jour, et en appliquant un facteur d'incertitude de 100 (10 pour la variabilité inter espèces et 10 pour la variabilité de sensibilité dans la population humaine).

- **RIVM, 2009 : $2 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (provisoire)**

La TDI du RIVM est établie à partir d'une étude portant sur la reproduction chez le rat de Domingo et al., (1986). Les rats étaient exposés à différents composés de vanadium et un LOAEL de 2,1 mg de vanadium/kg/jour ($5 \text{ mg NaVO}_3/\text{kg / jour}$) a été estimé pour des **effets sur le développement**. La VTR est obtenue après application d'un facteur d'incertitude de 1000. Les résultats portant sur la reproduction et ayant eu recours à d'autres composés du vanadium comme l'orthovanadate de sodium (NOAEL = 2 mg vanadium/kg/jour pour la toxicité maternelle) et du sulfate de vanadyle (LOAEL = 7,5 mg de vanadium/kg/jour pour les effets embryotoxiques) indiquent que cette TDI provisoire peut également être appliquée en d'autres composés de vanadium.

- **Expertise Ineris, 2011 : $9 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (EPA, 1996) – V_2O_5**

L'INERIS propose de retenir la valeur de l'US EPA de $9.10^{-3} \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour une exposition chronique par voie orale au pentoxyde de vanadium. Deux organismes proposent des VTR, l'US EPA et le RIVM. La valeur du RIVM (Tiesjema et Baars, 2009) qui vient d'être revue est toujours provisoire. La valeur de l'US EPA est établie à partir d'une étude expérimentale chronique chez le rat non publiée de Stokinger et al. (1953) mais résumée par Stokinger et al. (1981). L'effet retenu est une diminution de la teneur en cystine totale dans les poils. Un facteur d'incertitude de 100 est appliqué correspondant à un facteur de 10 pour l'extrapolation inter-espèces et un facteur de 10 pour tenir compte

des populations humaines sensibles. Malgré ses limites la construction proposée par l'US EPA est mieux décrites et les arguments plus solides.

▪ **Expertise Anses, 2016 : Aucune VTR**

Dans le cadre de son rapport relatif à l'Alimentation Totale Infantile (EATi), l'Anses a considéré en 2016 qu'il n'existait pas de VTR applicable pour cette substance et cette voie d'exposition.

4.3.2. Effets cancérogènes

Il n'a pas été retrouvé de VTR associée à ce type d'effets dans la littérature consultée.

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°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, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualite-air-interieur-vgai>

Vanadium et ses composés Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée de l'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	0,8 µg.m ⁻³	1-14j	A	Respiratoire	LOAEL = 0,56 mg.m ⁻³	90	ATSDR, 2012
	8h	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets non cancérogènes	0,1 µg.m ⁻³	-	A	Respiratoire	BMD = 0.04 mg.m ⁻³	30	ATSDR, 2012
	Chronique – Effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
Digestif	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	0,01 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	14-365j	H	Effets hématologiques et sur la pression sanguine	NOAEL = 0,12 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	10	ATSDR, 2012
	Chronique – Effets non cancérogènes	Aucune VTR	-	-	-	-	-	Expertise Anses, 2016
	Chronique – Effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

VME = 0,05 mg.m⁻³ (exprimé en V₂O₅) pour le vanadium sous forme de poussières et de fumées (INRS, 2008).

7. Bibliographie

Anses, Etude de l'Alimentation Totale Infantile - Evaluation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à certaines substances présentes dans l'alimentation, Tomes 1 & 2. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/content/etude-de-l%E2%80%99alimentation-totale-infantile> (consulté en mai 2018)

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2009, Draft toxicological profile for vanadium, 261 p, <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp58.pdf> (consulté en novembre 2011).

EPA (Environmental Protection Agency), 1998, Vanadium pentoxide (CASRN 1314-62-1), disponible sous <http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0125.htm> (consulté en novembre 2011).

IARC (International Agency for Research on Cancer), 2006, Volume 86, Cobalt in Hard Metals and Cobalt Sulfate / Gallium Arsenide / Indium Phosphide / Vanadium Pentoxide - Summary of Data Reported and Evaluation, 15p. <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol86/volume86.pdf> (consulté en août 2010).

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 2008, Valeurs limites d'exposition professionnelles aux agents chimiques en France, Aide-mémoire technique (ED 984), 23 p. [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/Ed%20984/\\$File/ed984.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/Ed%20984/$File/ed984.pdf) (consulté en août 2010).

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

IPCS-Inchem, Environmental Health Criteria for vanadium, Volume 81, 1988, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc81.htm> (consulté en novembre 2011).

JOCE, 1998, Commission directive 93/72/EC, 25th ATP, Council Directive 67/548/EEC.

JOCE, 2008, regulations (EC) n°1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999), http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD2_final.pdf#page=298 (consulté en novembre 2011).

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2000, Air Quality Guidelines for Europe - 2nd édition, http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf (consulté en novembre 2011).

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2001, Vanadium pentoxide and other inorganic vanadium compounds, Concise International Chemical Assessment Document (CICADS) 29, <http://whqlibdoc.who.int/publications/2001/9241530294.pdf> (consulté en novembre 2011).

Annexe 3 : Récapitulatif des données et des résultats obtenus avec MODULERS

MODULERS v.1.0.142



Report generated: Fri Aug 22 17:01:00 CEST 2025

Table of contents

- 1 Project properties**
- 2 Materials/Species**
- 3 Index lists**
- 4. Model description**
 - 4.1. Constantes_Reglages**
 - 4.2. Sol_racinaire**
 - 4.3. Sol_superficiel**
 - 4.4. Niveaux_Exposition_Risque**
 - 4.5. Par_expo**
 - 4.6. Poule**
 - 4.7. Par_Envir**
 - 4.8. Legumes_racines**
 - 4.9. Legumes_feuilles**
 - 4.10. Legumes_fruits**
 - 4.11. Fruits**
 - 4.12. Tubercules**
 - 4.13. Vache**
 - 4.14. Fourrage**
 - 4.15. Porc**
 - 4.16. Cereales**
- 5 Simulation settings**
- 6 Simulation outputs**

1. Project properties

Project name	corse
Author	AG
Description	Version d'aout 2025

2. Materials/Species

Materials

Name	Unit	Enabled	Comment
2378 Tétrachlorodibenzodioxine	mg	Yes	1
Arsenic	mg	Yes	
Cobalt		Yes	
Nickel	mg	Yes	
Pb	mg	Yes	2

1. dioxine.

2. plomb.

3. Index lists

Materials	Classes d'age
1234678 Heptachlorodibenzodioxine	classe 1
1234678 Heptachlorodibenzofuranne	classe 10
1234789 Heptachlorodibenzofuranne	classe 2
123478 Hexachlorodibenzodioxine	classe 3
123478 Hexachlorodibenzofuranne	classe 4
123678 Hexachlorodibenzodioxine	classe 5
123678 Hexachlorodibenzofuranne	classe 6
123789 Hexachlorodibenzodioxine	classe 7
123789 Hexachlorodibenzofuranne	classe 8
12378 Pentachlorodibenzodioxine	classe 9
12378 Pentachlorodibenzofuranne	
22'344'5' Hexachlorobiphenyl (138)	
22'344'5' Hexachlorobiphényle (138)	
22'344'55' Heptachlorobiphenyl (180)	
22'344'55' Heptachlorobiphényle (180)	
22'44'55' Hexachlorobiphenyl (153)	
22'44'55' Hexachlorobiphényle (153)	
22'455' Pentachlorobiphenyl (101)	
22'455' Pentachlorobiphényle (101)	
22'55" Tétrachlorobiphenyl (52)	
22'55' Tétrachlorobiphényle (52)	
23'44'55' Hexachlorobiphenyl (167)	
23'44'55' Hexachlorobiphényle (167)	
23'44'5 Pentachlorobiphenyl (118)	
23'44'5 Pentachlorobiphényle (118)	
233'44'5' Hexachlorobiphenyl (157)	
233'44'5' Hexachlorobiphényle (157)	
233'44'55' Heptachlorobiphenyl (189)	
233'44'55' Heptachlorobiphényle (189)	
233'44'5 Hexachlorobiphenyl (156)	
233'44'5 Hexachlorobiphényle (156)	
233'44' Pentachlorobiphenyl (105)	
233'44' Pentachlorobiphényle (105)	
2344'5 Pentachlorobiphenyl (114)	
2344'5 Pentachlorobiphényle (114)	
234678 Hexachlorodibenzofuranne	
23478 Pentachlorodibenzofuranne	
2378 Tétrachlorodibenzodioxine	
2378 Tétrachlorodibenzofuranne	
244' Trichlorobiphenyl (28)	

244' Trichlorobiphényle (28)
33'44'55' Hexachlorobiphenyl (169)
33'44'55' Hexachlorobiphényle (169)
33'44' Tétrachlorobiphenyl (77)
33'44' Tétrachlorobiphényle (77)
3344'5 Pentachlorobiphenyl (126)
3344'5 Pentachlorobiphényle (126)
344'5 Tétrachlorobiphenyl (81)
344'5 Tétrachlorobiphényle (81)
Antimoine
Arsenic
BBP
Benzo(a)pyrène
Benzène
Cadmium
Chlorure de vinyle
Chrome
Cobalt
Cuivre
DBP
DEP
Etain
Fluoranthène
Manganèse
Mercure
Mercure inorganique
Mercure métallique
Mercure organique
Naphtalène
Nickel
Octachlorodibenzodioxine
Octachlorodibenzofuranne
Plomb
Sélénium
Trichloroéthylène
Tétrachloroéthylène
Vanadium

4. Model description

Interaction Matrix

Constantes Reglages			Constantes Reglages to Sol	Constantes Reglages to Copy of Sol	Constantes Reglages to Cereales	Constantes Reglages to Fourrage	Constantes Reglages to Legumes racines	Constantes Reglages to Legumes feuilles	Constantes Reglages to Legumes fruits	Constantes Reglages to Fruits	Constantes Reglages to Tubercules	Constantes Reglages to Vache	Constantes Reglages to Poule	Constantes Reglages to Porc		1
	Par expo		Par expo to Sol racinaire	Par expo to Sol superficiel	Par expo to Cereales		Par expo to Legumes racines	Par expo to Legumes feuilles	Par expo to Legumes fruits	Par expo to Fruits	Par expo to Tubercules	Par expo to Vache	Par expo to Poule	Par expo to Porc		2
		Par Envir	Par Envir to Sol racinaire	Par Envir to Sol superficiel	Par Envir to Cereales	Par Envir to Fourrage	Par Envir to Legumes racines	Par Envir to Legumes feuilles	Par Envir to Legumes fruits	Par Envir to Fruits						3
			Sol racinaire		Sol racinaire to Cereales		Sol racinaire to Legumes racines	Sol racinaire to Legumes feuilles	Sol racinaire to Legumes fruits	Sol racinaire to Fruits	Sol racinaire to Tubercules					4
				Sol superficiel								Sol superficiel to Vache	Sol superficiel to Poule		Sol superficiel to Niveaux Exposition Risque	5
					Cereales								Cereales to Poule	Cereales to Porc		6
						Fourrage						Fourrage to Vache				7
							Legumes racines								Legumes racines to Niveaux Exposition Risque	8
								Legumes feuilles							Legumes feuilles to Niveaux Exposition Risque	9
									Legumes fruits						Legumes fruits to Niveaux Exposition Risque	10
										Fruits					Fruits to Niveaux Exposition Risque	11
											Tubercules				Tubercules to Niveaux Exposition Risque	12
												Vache			Vache to Niveaux Exposition Risque	13
													Poule		Poule to Niveaux Exposition Risque	14
														Porc	Porc to Niveaux Exposition Risque	15
															Niveaux Exposition Risque	16
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	

4.1. Constantes Reglages

Constantes Reglages		Sub-system
Id	Constantes_Reglages	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Constantes Reglages	
Object	Output	Sub-system
type Polluant	type Polluant	Sol racinaire
	type Polluant	Sol superficiel
	type Polluant	Legumes racines
	type Polluant	Legumes feuilles
	type Polluant	Legumes fruits
	type Polluant	Fruits
	type Polluant	Tubercules
	type Polluant	Fourrage
	type Polluant	Cereales

Interaction Matrix

Test pour la définition de la date de fin de simulation					1
	Age de l'individu étudiée en fonction du temps				2
		test polluant			3
			Date annuelle		4
				Output1	5
1	2	3	4	5	

General variable summary

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
type_Polluant	type Polluant	
Description		
Indiquer s'il s'agit d'un polluant organique ou inorganique		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	organique	
Arsenic	inorganique	
Cobalt	inorganique	Constantes_Reglages.non_defini
Nickel	inorganique	
Plomb	inorganique	

Parameter summary

Scalar parameters

Full Name				Symbol	Unit
Age de l'individu au début de l'exposition				Age individu,debut,expo	year
Description					
sert au calcul de la dose d'exposition de l'individu en fonction de son âge (effets cancérigènes)					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0				unid(0,15)	

Full Name				Symbol	Unit
Constante_Junge				Constante Junge	atm cm
Description					
sert au calcul de la fraction de polluant sous forme gazeuse dans l'atmosphère (Fg) (Modules Conc_gaz_air_extérieur, Conc_gaz_air_intérieur, Conc_part_air_extérieur, Conc_part_air_intérieur)					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
1.7E-4					

Full Name				Symbol	Unit
Date du début d'exposition de l'individu				Date_debut,expo,individu	year
Description					
sert au calcul de la dose d'exposition de l'individu en fonction de son âge (effets cancérigènes). Date du début d'exposition de l'individu à ou aux sources de contamination étudiée(s) par rapport au début de la simulation.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0				unid(0,30)	

Full Name	Symbol	Unit
Durée d'exposition de l'individu		year

Duree_{expo,individu}

Description						
sert au calcul de la dose d'exposition de l'individu en fonction de son âge (effets cancérigènes).Durée d'exposition de l'individu à ou aux source(s) de contamination du site.						
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF		Predefined
30.0						

Vector parameters

Full Name				Symbol	Unit	
Age minimal de chaque classe d'âge				Age _{min,classes}	year	
Description						
sert au calcul de la dose d'exposition de l'individu en fonction de son âge (effets cancérigènes)						
Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0					
classe_10	Infinity					
classe_2	1.0	1.0				
classe_3	3.0	3.0				
classe_4	6.0	6.0				
classe_5	11.0	11.0				
classe_6	15.0	15.0				
classe_7	18.0	18.0				
classe_8	Infinity	Infinity				
classe_9	Infinity					

General variable changes

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
type_Polluant	type Polluant	
Description		
Indiquer s'il s'agit d'un polluant organique ou inorganique		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	organique	
Arsenic	inorganique	
Cobalt	inorganique	Constantes_Reglages.non_defini
Nickel	inorganique	
Plomb	inorganique	

Parameter changes

Vector parameters

Full Name				Symbol	Unit	
Age minimal de chaque classe d'âge				Age _{min,classes}	year	
Description						
sert au calcul de la dose d'exposition de l'individu en fonction de son âge (effets cancérigènes)						
Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0					
classe_10	Infinity					
classe_2	1.0	1.0				
classe_3	3.0	3.0				
classe_4	6.0	6.0				
classe_5	11.0	11.0				
classe_6	15.0	15.0				
classe_7	18.0	18.0				
classe_8	Infinity	Infinity				
classe_9	Infinity					

4.2. Sol racinaire

Sol racinaire		Sub-system	
Id	Sol_racinaire		
Enabled flag	Yes		
Symbol	Sol racinaire		
Description	Ce module permet de calculer la concentration dans une couche de sol en surface au cours du temps en tenant compte ou non des apports atmosphériques et par irrigation et des mécanismes de perte (dégradation, lixiviation, érosion, ruissellement). Les concentrations dans l'eau du sol peuvent être calculées en tenant compte ou la présence d'un mélange de substances dans le sol et en appliquant ou non la loi de Raoult. 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 hauteur différentes, deux modules sol seront définis. 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.		
Object	Input	Sub-system	
type Polluant	type Polluant	Constantes Replages	
Q _s	Q _s	Par expo	
R _f	Rf	Par Envir	
B _w	B _w	Par expo	
Qpous	Qpous	Par expo	
D _t	Depot _{total} ,Parameter	Par Envir	
Object	Output	Sub-system	
Cs _{attrib}	Cs _{racinaire}	Legumes racines	
	Cs _{racinaire}	Legumes feuilles	
	Cs _{racinaire}	Legumes fruits	
	Cs _{racinaire}	Fruits	
	Cs _{racinaire}	Tubercules	
	Cs _{racinaire}	Cereales	

Interaction Matrix

test polluant															1
	type Polluant														2
		perte Volatilisation													3
			Inguet1												4
				Source sol	Apport atmosphérique au sol Apport au sol par irrigation										5
					Masse de polluant dans la couche de sol		Masse de polluant sortant de la couche de sol par lixiviation par unité de temps Masse de polluant perdue par ruissellement par unité de temps Masse de polluant sortant du site par érosion par unité de temps Flux de transfert d'une source de polluant dans le sol vers le compartiment atmosphérique par volatilisation Masse de polluant perdue par dégradation dans le sol par unité de temps								6
						Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudié(s)									7
							Atténuation sol								8
								Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s) en moyenne annuelle							9
									Concentration totale dans le sol						10
										Concentration totale dans le sol en moyenne annuelle					11
											Concentration dans le sol (pour le calcul des doses d'exposition)				12
												Dose d'exposition par ingestion de sol et de poussières, pondérée par la fréquence annuelle d'exposition			13
													Dose d'exposition par ingestion de sol et de poussières pour un individu, pondérée par la fréquence annuelle d'exposition		14
														Output	15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	

General variable summary

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
apport_atm	apport atm	
Description		
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte un apport par dépôt atmosphérique.		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	oui	
Arsenic	oui	
Cobalt	oui	
Nickel	oui	
Plomb	oui	

Full Name	Symbol	Unit
apport_irrig	apport irrig	
Description		
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte un apport par irrigation.		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	Sol_racinaire.oui
Arsenic	non	Sol_racinaire.oui
Cobalt	non	
Nickel	non	Sol_racinaire.oui
Plomb	non	Sol_racinaire.oui

Full Name	Symbol	Unit
Concentration dans le sol (pour le calcul des doses d'exposition)	Cs	
Description		
A définir pour le calcul des doses d'exposition liées à l'ingestion de sol. Sélectionner la concentration à utiliser pour le calcul des niveaux d'exposition et de risque : concentration attribuable à la ou aux source(s) étudiée(s) (Cs_attrib) ou concentration totale (Cs_tot).		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Cs_attrib	
Arsenic	Cs_attrib	
Cobalt	Cs_attrib	
Nickel	Cs_attrib	
Plomb	Cs_attrib	

Full Name	Symbol	Unit
Concentration totale dans le sol	C _{s,tot}	
Description		

Sélectionner la concentration totale définie par l'utilisateur (Cs_tot_E) ou la concentration totale calculée par le modèle (Cs_tot_C)

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Cs_tot_C	
Arsenic	Cs_tot_C	
Cobalt	Cs_tot_C	
Nickel	Cs_tot_C	
Plomb	Cs_tot_C	

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cs_attrib	definition Cs attrib	

Description

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).

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Sol_racinaire.non_defini
Arsenic	valeur_calculée	Sol_racinaire.non_defini
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	Sol_racinaire.non_defini
Plomb	valeur_calculée	Sol_racinaire.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
definition_depots_atmospheriques	definition depots atmospheriques	

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
Arsenic	option_depots3	non_defini
Cobalt	option_depots3	
Nickel	option_depots3	non_defini
Plomb	option_depots3	non_defini

Full Name	Symbol	Unit
perte_Degradation	perte Degradation	

Description

A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte les pertes de polluants par dégradation dans le sol - (Ce mécanisme de transfert peut aussi être utilisé pour représenter la perte globale de polluant à partir du sol en fonction du facteur de perte kdeg défini)

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	

Nickel	non
Plomb	non

Full Name	Symbol	Unit
perte_Erosion	perte Erosion	
Description		
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de perte de polluant dans le sol. (Si à l'amont le niveau de contamination et les caractéristiques d'érosion sont identiques, les pertes par érosion seront nulles - Dans ce cas, ne pas sélectionner ce mécanisme de perte)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit
perte_Lixiviation	perte Lixiviation	
Description		
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de perte de polluant dans le sol		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	Sol_racinaire.non
Arsenic	non	Sol_racinaire.non
Cobalt	non	
Nickel	non	Sol_racinaire.non
Plomb	non	Sol_racinaire.non

Full Name	Symbol	Unit
perte_Ruissellement	perte Ruissellement	
Description		
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de perte de polluant dans le sol		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Parameter summary

Scalar parameters

Full Name				Symbol	Unit
Epaisseur de la couche de sol considérée				Z_s	m
Description					
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.3	0.0				
Comment					
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
Fraction de sol dans les poussières				f_{s_pous}	unitless
Description					
A définir en cas d'ingestion de poussières issues de ce sol					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.8		0.7	0.85		

Full Name				Symbol	Unit
Masse volumique des particules du sol				MVp_s	$kg\ m^{-3}$
Description					
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2650.0					
Comment					
Vérifié					

Full Name				Symbol	Unit
Porosité du sol				n	unitless
Description					
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.5	0.0	0.3	0.7		
Comment					
sols sableux : 0,4 par défaut ; sols limoneux ou argileux : 0,5 par défaut					

Full Name				Symbol	Unit
Surface de la zone considérée				S_s	m^2
Description					
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée et si on s'intéresse à la valeur des flux de polluants entrant (Apport_atm, Apport_irrig, Somme_apport, TF_apport) ou sortants (Flux_Degrad, Flux_Erosion, Flux_Ruissellement, Somme_flux_pertes, Somme_perte) ou à la masse de polluant dans le sol (ms)					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined

A définir en cas d'ingestion de poussières issues de ce site

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0					
classe_10	0.0					
classe_2	0.0					
classe_3	0.0					
classe_4	0.0					
classe_5	0.0					
classe_6	0.0					
classe_7	0.0					
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

Full Name	Symbol	Unit
Fraction de la quantité de sol ingéré par jour issue de ce sol	fraction_{Qs}	unitless

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0	1.0				
classe_10	0.0	1.0				
classe_2	0.0	1.0				
classe_3	0.0	1.0				
classe_4	0.0	1.0				
classe_5	0.0	1.0				
classe_6	0.0	1.0				
classe_7	0.0	1.0				
classe_8	0.0	1.0				
classe_9	0.0	1.0				

Full Name	Symbol	Unit
Nombre de jour par an d'exposition de la cible à ce sol	nb	unitless
	jour,an,expo	

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	365.0					
classe_10	365.0					
classe_2	365.0					
classe_3	365.0					
classe_4	365.0					
classe_5	365.0					
classe_6	365.0					
classe_7	365.0					
classe_8	365.0					
classe_9	365.0					

General variable changes

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
apport_irrig	apport irrig	
Description		
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte un apport par irrigation.		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	Sol_racinaire.oui
Arsenic	non	Sol_racinaire.oui
Cobalt	non	
Nickel	non	Sol_racinaire.oui
Plomb	non	Sol_racinaire.oui

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cs_attrib	definition Cs attrib	
Description		
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).		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Sol_racinaire.non_defini
Arsenic	valeur_calculée	Sol_racinaire.non_defini
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	Sol_racinaire.non_defini
Plomb	valeur_calculée	Sol_racinaire.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
definition_depots_atmospheriques	definition depots atmospheriques	
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
Arsenic	option_depots3	non_defini
Cobalt	option_depots3	
Nickel	option_depots3	non_defini
Plomb	option_depots3	non_defini

Full Name	Symbol	Unit
perte_Lixiviation	perte Lixiviation	
Description		
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de perte de polluant dans le sol		

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	Sol_racinaire.non
Arsenic	non	Sol_racinaire.non
Cobalt	non	
Nickel	non	Sol_racinaire.non
Plomb	non	Sol_racinaire.non

Parameter changes

Scalar parameters

Full Name		Symbol	Unit		
Epaisseur de la couche de sol considérée		Z _s	m		
Description					
A definir si definition_Cs_attrib=valeur_calcelee					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.3	0.0				
Comment					
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
Porosité du sol				n	unitless
Description					
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.5	0.0	0.3	0.7		
Comment					
sols sableux : 0,4 par défaut ; sols limoneux ou argileux : 0,5 par défaut					

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit				
Concentration de bruit de fond dans le sol	C _{s,bf}	mg kg ⁻¹				
Description						
A définir si la concentration totale dans le sol est calculée : Cs_tot=Cs_tot_C						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0	0.0				
Arsenic	0.0					
Cobalt	0.0					
Nickel	0.0					
Plomb	0.0	0.0				

Full Name					Symbol	Unit
Concentration de polluant (hors bruit de fond) dans la couche de sol considérée au temps t=0					$C_{s,attrib,0}$	mg kg^{-1}
Description						
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0	0.0				
Arsenic	0.0					
Cobalt	0.0					
Nickel	0.0					
Plomb	0.0	0.0				

Full Name					Symbol	Unit
Fraction de la quantité de sol ingéré par jour issue de ce sol					fraction_{Q_s}	unitless
Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0	1.0				
classe_10	0.0	1.0				
classe_2	0.0	1.0				
classe_3	0.0	1.0				
classe_4	0.0	1.0				
classe_5	0.0	1.0				
classe_6	0.0	1.0				
classe_7	0.0	1.0				
classe_8	0.0	1.0				
classe_9	0.0	1.0				

4.3. Sol superficiel

Sol superficiel		Sub-system	
Id	Sol_superficiel		
Enabled flag	Yes		
Symbol	Sol superficiel		
Description	Ce module permet de calculer la concentration dans une couche de sol en surface au cours du temps en tenant compte ou non des apports atmosphériques et par irrigation et des mécanismes de perte (dégradation, lixiviation, érosion, ruissellement). Les concentrations dans l'eau du sol peuvent être calculées en tenant compte ou la présence d'un mélange de substances dans le sol et en appliquant ou non la loi de Raoult. 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 hauteur différentes, deux modules sol seront définis. 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.		
Object	Input	Sub-system	
Q_s	Q_s	Par expo	
D_t	Depot _{total} ,Parameter	Par Envir	
Qpous	Qpous	Par expo	
B_w	B_w	Par expo	
R_f	Rf	Par Envir	
type Polluant	type Polluant	Constantes Reglages	
Object	Output	Sub-system	
Dose _{ingsol,freq,expo,classe,age}	Dose _{ingsol,freq,expo,classe,age}	Niveaux Exposition Risque	
Cs _{attrib}	Cs ₁ Cs ₁	Poule Vache	
Dose _{ingsol,freq,expo,individu}	Dose _{ingsol,freq,expo,individu}	Niveaux Exposition Risque	

Interaction Matrix

test polluant															1
	type Polluant														2
		perte Volatilisation													3
			Inguet1												4
				Source sol	Apport atmosphérique au sol Apport au sol par irrigation										5
					Masse de polluant dans la couche de sol		Masse de polluant sortant de la couche de sol par lixiviation par unité de temps Masse de polluant perdue par ruissellement par unité de temps Masse de polluant sortant du site par érosion par unité de temps Flux de transfert d'une source de polluant dans le sol vers le compartiment atmosphérique par volatilisation Masse de polluant perdue par dégradation dans le sol par unité de temps								6
						Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)									7
							Atténuation sol								8
								Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s) en moyenne annuelle							9
									Concentration totale dans le sol						10
										Concentration totale dans le sol en moyenne annuelle					11
											Concentration dans le sol (pour le calcul des doses d'exposition)				12
												Dose d'exposition par ingestion de sol et de poussières, pondérée par la fréquence annuelle d'exposition			13
													Dose d'exposition par ingestion de sol et de poussières pour un individu, pondérée par la fréquence annuelle d'exposition		14
														Output	15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	

General variable summary

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
apport_atm	apport atm	

Description

A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte un apport par dépôt atmosphérique.

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	oui	
Arsenic	oui	
Cobalt	oui	
Nickel	oui	
Plomb	oui	

Full Name	Symbol	Unit
apport_irrig	apport irrig	

Description

A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte un apport par irrigation.

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	Sol_superficiel.oui
Arsenic	non	Sol_superficiel.oui
Cobalt	non	
Nickel	non	Sol_superficiel.oui
Plomb	non	Sol_superficiel.oui

Full Name	Symbol	Unit
Concentration dans le sol (pour le calcul des doses d'exposition)	Cs	

Description

A définir pour le calcul des doses d'exposition liées à l'ingestion de sol. Sélectionner la concentration à utiliser pour le calcul des niveaux d'exposition et de risque : concentration attribuable à la ou aux source(s) étudiée(s) (Cs_attrib) ou concentration totale (Cs_tot).

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Cs_attrib	
Arsenic	Cs_attrib	
Cobalt	Cs_attrib	
Nickel	Cs_attrib	
Plomb	Cs_attrib	

Full Name	Symbol	Unit
Concentration totale dans le sol	C _{s,tot}	

Description

Sélectionner la concentration totale définie par l'utilisateur (Cs_tot_E) ou la concentration totale calculée par le modèle (Cs_tot_C)

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Cs_tot_C	
Arsenic	Cs_tot_C	
Cobalt	Cs_tot_C	
Nickel	Cs_tot_C	
Plomb	Cs_tot_C	

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cs_attrib	definition Cs attrib	

Description

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).

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Sol_superficiel.non_defini
Arsenic	valeur_calculée	Sol_superficiel.non_defini
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	Sol_superficiel.non_defini
Plomb	valeur_calculée	Sol_superficiel.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
definition_depots_atmospheriques	definition depots atmospheriques	

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
Arsenic	option_depots3	non_defini
Cobalt	option_depots3	
Nickel	option_depots3	non_defini
Plomb	option_depots3	non_defini

Full Name	Symbol	Unit
perte_Degradation	perte Degradation	

Description

A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte les pertes de polluants par dégradation dans le sol - (Ce mécanisme de transfert peut aussi être utilisé pour représenter la perte globale de polluant à partir du sol en fonction du facteur de perte kdeg défini)

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	

Nickel	non
Plomb	non

Full Name	Symbol	Unit
perte_Erosion	perte Erosion	
Description		
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de perte de polluant dans le sol. (Si à l'amont le niveau de contamination et les caractéristiques d'érosion sont identiques, les pertes par érosion seront nulles - Dans ce cas, ne pas sélectionner ce mécanisme de perte)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit
perte_Lixiviation	perte Lixiviation	
Description		
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de perte de polluant dans le sol		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	Sol_superficiel.non
Arsenic	non	Sol_superficiel.non
Cobalt	non	
Nickel	non	Sol_superficiel.non
Plomb	non	Sol_superficiel.non

Full Name	Symbol	Unit
perte_Ruissellement	perte Ruissellement	
Description		
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de perte de polluant dans le sol		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Parameter summary

Scalar parameters

Full Name				Symbol	Unit
Epaisseur de la couche de sol considérée				Z_s	m
Description					
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.01	0.0				
Comment					
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
Fraction de sol dans les poussières				f_{s_pous}	unitless
Description					
A définir en cas d'ingestion de poussières issues de ce sol					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.8	0.8	0.7	0.85		

Full Name				Symbol	Unit
Masse volumique des particules du sol				MVp_s	$kg\ m^{-3}$
Description					
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2650.0					
Comment					
Vérifié					

Full Name				Symbol	Unit
Porosité du sol				n	unitless
Description					
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.5	0.0	0.3	0.7		
Comment					
sols sableux : 0,4 par défaut ; sols limoneux ou argileux : 0,5 par défaut					

Full Name				Symbol	Unit
Surface de la zone considérée				S_s	m^2
Description					
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée et si on s'intéresse à la valeur des flux de polluants entrant (Apport_atm, Apport_irrig, Somme_apport, TF_apport) ou sortants (Flux_Degrad, Flux_Erosion, Flux_Ruissellement, Somme_flux_pertes, Somme_perte) ou à la masse de polluant dans le sol (ms)					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de bruit de fond dans le sol	C _{s,bf}	mg kg ⁻¹

A définir si la concentration totale dans le sol est calculée : $C_{s\ tot}=C_{s\ tot}\ C$

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de polluant (hors bruit de fond) dans la couche de sol considérée au temps t=0	C _{s,attrib,0}	mg kg ⁻¹

A définir si definition Cs attrib=valeur calculee

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de biodisponibilité relative du polluant dans le sol	B_s	unitless

A définir pour le calcul des doses d'exposition via l'ingestion de sol

Full Name	Symbol	Unit
Fraction de la quantité de poussières ingérées par jour issue de ce sol	fraction _{Qpous}	unitless

A définir en cas d'ingestion de poussières issues de ce site

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	1.0	0.0				
classe_10	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	0.0					

Full Name	Symbol	Unit
Fraction de la quantité de sol ingéré par jour issue de ce sol	fraction_{Qs}	unitless

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	1.0					
classe_10	1.0					
classe_2	1.0					
classe_3	1.0					
classe_4	1.0					
classe_5	1.0					
classe_6	1.0					
classe_7	1.0					
classe_8	1.0					
classe_9	1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Nombre de jour par an d'exposition de la cible à ce sol	$nb_{\text{jour,an,expo}}$	unitless

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	365.0					
classe_10	365.0					
classe_2	365.0					
classe_3	365.0					
classe_4	365.0					
classe_5	365.0					
classe_6	365.0					
classe_7	365.0					
classe_8	365.0					
classe_9	365.0					

General variable changes

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
apport_irrig	apport irrig	
Description		
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte un apport par irrigation.		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	Sol_superficiel.oui
Arsenic	non	Sol_superficiel.oui
Cobalt	non	
Nickel	non	Sol_superficiel.oui
Plomb	non	Sol_superficiel.oui

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cs_attrib	definition Cs attrib	
Description		
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).		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Sol_superficiel.non_defini
Arsenic	valeur_calculée	Sol_superficiel.non_defini
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	Sol_superficiel.non_defini
Plomb	valeur_calculée	Sol_superficiel.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
definition_depots_atmospheriques	definition depots atmospheriques	
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
Arsenic	option_depots3	non_defini
Cobalt	option_depots3	
Nickel	option_depots3	non_defini
Plomb	option_depots3	non_defini

Full Name	Symbol	Unit
perte_Lixiviation	perte Lixiviation	
Description		
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de perte de polluant dans le sol		

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	Sol_superficiel.non
Arsenic	non	Sol_superficiel.non
Cobalt	non	
Nickel	non	Sol_superficiel.non
Plomb	non	Sol_superficiel.non

Parameter changes

Scalar parameters

Full Name				Symbol	Unit
Epaisseur de la couche de sol considérée				Z _s	m
Description					
A definir si definition_Cs_attrib=valeur_calcelee					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.01	0.0				
Comment					
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
Fraction de sol dans les poussières				f _{s_pous}	unitless
Description					
A définir en cas d'ingestion de poussières issues de ce sol					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.8	0.8	0.7	0.85		

Full Name				Symbol	Unit
Porosité du sol				n	unitless
Description					
A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.5	0.0	0.3	0.7		
Comment					
sols sableux : 0,4 par défaut ; sols limoneux ou argileux : 0,5 par défaut					

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de bruit de fond dans le sol	$C_{s,bf}$	mg kg ⁻¹
Description		

A définir si la concentration totale dans le sol est calculée : Cs_tot=Cs_tot_C

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0	0.0				
Arsenic	0.0					
Cobalt	0.0					
Nickel	0.0					
Plomb	0.0	0.0				

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de polluant (hors bruit de fond) dans la couche de sol considérée au temps t=0	C _{s,attrib,0}	mg kg ⁻¹

Description

A définir si definition_Cs_attrib=valeur_calculée

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0	0.0				
Arsenic	0.0					
Cobalt	0.0					
Nickel	0.0					
Plomb	0.0	0.0				

Full Name	Symbol	Unit
Fraction de la quantité de poussières ingérées par jour issue de ce sol	fraction Qpous	unitless

Description

A définir en cas d'ingestion de poussières issues de ce site

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	1.0	0.0				
classe_10	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	0.0					

4.4. Niveaux Exposition Risque

Niveaux Exposition Risque		Sub-system
Id	Niveaux_Exposition_Risque	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Niveaux Exposition Risque	
Description	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'individu (défini par l'âge en début d'exposition et la date au début de l'exposition : cf. module Par_expo) et d'autre part les niveaux de risques chroniques pour des effets cancérigènes et non cancérigènes. 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 voie orale et respiratoire. La classe d'âge ayant les niveaux de risque non cancérigènes les plus élevés est mise en évidence.	
Object	Input	Sub-system
Dose anim1,individu	Dose anim1,individu	Poule
	Dose anim1,individu	Vache
	Dose anim1,individu	Porc
Dose anim1,classe,age	Dose anim1,classe,age	Poule
	Dose anim1,classe,age	Vache
	Dose anim1,classe,age	Porc
Dose veg,individu	Dose veg,individu	Legumes racines
	Dose veg,individu	Legumes feuilles
	Dose veg,individu	Legumes fruits
	Dose veg,individu	Fruits
	Dose veg,individu	Tubercules
Dose ingsol,freq,expo,individu	Dose ingsol,freq,expo,individu	Sol superficiel
Dose anim2,individu	Dose anim2,individu	Poule
	Dose anim2,individu	Vache
Dose veg,classe,age	Dose veg,classe,age	Legumes racines
	Dose veg,classe,age	Legumes feuilles
	Dose veg,classe,age	Legumes fruits
	Dose veg,classe,age	Fruits
	Dose veg,classe,age	Tubercules
Dose anim2,classe,age	Dose anim2,classe,age	Poule
	Dose anim2,classe,age	Vache
Dose ingsol,freq,expo,classe,age	Dose ingsol,freq,expo,classe,age	Sol superficiel

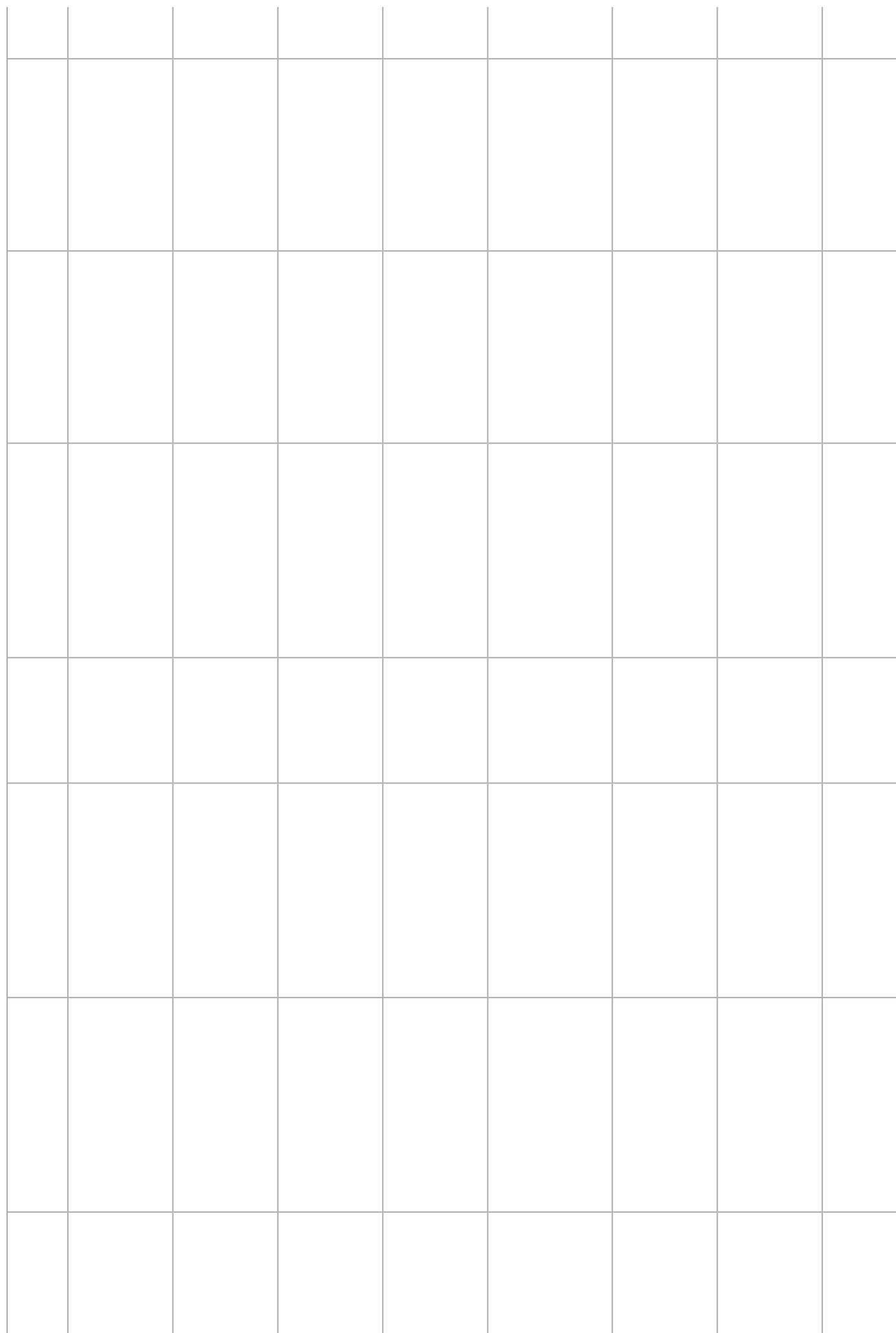
Interaction Matrix

Input1								
	Dose d'exposition liée à l'ingestion de sol en moyenne annuelle							
		Dose d'exposition vie entière liée à l'ingestion de sol, moyennée sur la durée d'exposition						
			Dose d'exposition liée à l'ingestion de végétaux en moyenne annuelle					
				Dose d'exposition vie entière liée à l'ingestion de végétaux, moyennée sur la durée d'exposition				
					Dose d'exposition par consommation d'animaux aquatiques en moyenne annuelle			
						Dose d'expo. liée à l'ingestion de produits d'origine aquatique, moyennée sur la durée d'exposition		
							Dose d'exposition	

liée à
l'ingestion

[illegible]

















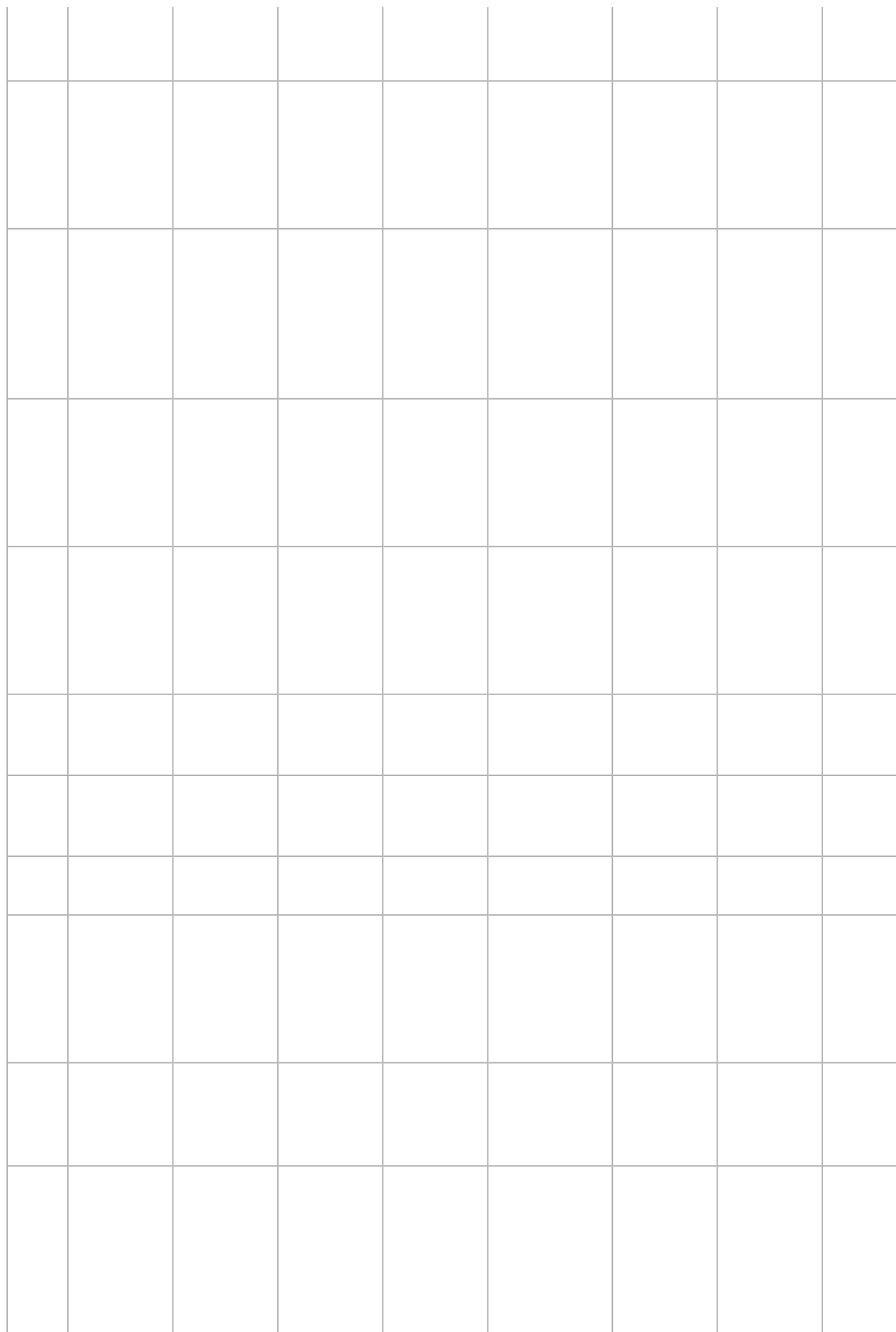












1	2	3	4	5	6	7	8	9

General variable summary

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit

risque_ap_dig_inh	risque ap dig inh	

Description

A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur l'appareil digestif par voie respiratoire

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit

risque_ap_dig_orale	risque ap dig orale	

Description

A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur l'appareil digestif par voie orale

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit

risque_coeur_inh	risque coeur inh	

Description

A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur le coeur par voie respiratoire

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit

risque_coeur_orale	risque coeur orale	

Description

A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur le coeur par voie orale

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit
risque_foie_inh	risque foie inh	

Description

A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur le foie par voie respiratoire

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit
risque_foie_orale	risque foie orale	

Description

A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur le foie par voie orale

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit
risque_os_inh	risque os inh	

Description

A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur les os par voie respiratoire

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit

risque_os_orale			risque os orale		
Description					
A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur les os par voie orale					
Materials		Value		Predefined value	
2378_Tétrachlorodibenzodioxine		non			
Arsenic		non			
Cobalt		non			
Nickel		non			
Plomb		non			
Full Name		Symbol		Unit	
risque_peau_inh		risque peau inh			
Description					
A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur la peau par voie respiratoire					
Materials		Value		Predefined value	
2378_Tétrachlorodibenzodioxine		non			
Arsenic		non			
Cobalt		non			
Nickel		non			
Plomb		non			
Full Name		Symbol		Unit	
risque_peau_orale		risque peau orale			
Description					
A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur la peau par voie orale					
Materials		Value		Predefined value	
2378_Tétrachlorodibenzodioxine		non			
Arsenic		non			
Cobalt		non			
Nickel		non			
Plomb		non			
Full Name		Symbol		Unit	
risque_perte_poids_inh		risque perte poids inh			
Description					
A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur la perte de poids par voie respiratoire					
Materials		Value		Predefined value	
2378_Tétrachlorodibenzodioxine		non			
Arsenic		non			
Cobalt		non			
Nickel		non			

Plomb	non

Full Name	Symbol	Unit

risque_perte_poids_orale	risque perte poids orale	

Description

A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur la perte de poids par voie orale

Materials	Value	Predefined value

2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	

Arsenic	non	

Cobalt	non	

Nickel	non	

Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit

risque_rein_inh	risque rein inh	

Description

A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur le rein par voie respiratoire

Materials	Value	Predefined value

2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	

Arsenic	non	

Cobalt	non	

Nickel	non	

Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit

risque_rein_orale	risque rein orale	

Description

A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur le rein par voie orale

Materials	Value	Predefined value

2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	

Arsenic	non	

Cobalt	non	

Nickel	non	

Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit

risque_sang_inh	risque sang inh	

Description

A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur le système sanguin par voie respiratoire

Materials	Value	Predefined value

2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non
Arsenic	non
Cobalt	non
Nickel	non
Plomb	non

Full Name	Symbol	Unit
risque_sang_orale	risque sang orale	
Description		
A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur le système sanguin par voie orale		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit
risque_syst_nerv_inh	risque syst nerv inh	
Description		
A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur le système nerveux par voie respiratoire		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit
risque_syst_nerv_orale	risque syst nerv orale	
Description		
A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur le système nerveux par voie orale		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit

Description

A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur le système respiratoire par voie respiratoire

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Full Name	Symbol	Unit
risque_syst_resp_orale	risque syst resp orale	

Description

A définir pour le calcul des risques par organe cible. Indiquer les substances ayant un effet à seuil sur le système respiratoire par voie orale

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	non	
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	

Parameter summary**Vector parameters**

Full Name	Symbol	Unit
Fraction annule de temps passé hors site	$f_{\text{annuelle,hors,site}}$	unitless

Description

A définir si l'exposition par inhalation hors site est à prendre en compte.

Attention pas de contrôle par MODUL'ERS sur le total des fractions de temps passés sur site à l'extérieur, à l'intérieur et hors site (la somme des fractions doit être égale à 1).

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0					
classe_10	0.0					
classe_2	0.0					
classe_3	0.0					
classe_4	0.0					
classe_5	0.0					
classe_6	0.0					
classe_7	0.0					
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

Full Name	Symbol	Unit
VTR à seuil par voie orale	VTR _{seuil,orale}	mg kg ⁻¹ d ⁻¹
Description		
Si la substance ne possède pas de VTR pour les effets à seuil par voie orale, laisser la mention "NaN"		
Materials	Value	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	NaN	NaN
Arsenic	NaN	
Cobalt	NaN	
Nickel	NaN	
Plomb	NaN	NaN

Full Name	Symbol	Unit
VTR à seuil par voie respiratoire	VTR _{seuil,inh}	mg m ⁻³
Description		
Si la substance ne possède pas de VTR pour les effets à seuil par voie respiratoire, laisser la mention "NaN"		
Materials	Value	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	NaN	NaN
Arsenic	NaN	
Cobalt	NaN	
Nickel	NaN	
Plomb	NaN	NaN

Full Name	Symbol	Unit
VTR sans seuil par voie orale	VTR _{o,ss}	mg ⁻¹ kg d
Description		
Si la substance ne possède pas de VTR pour les effets sans seuil par voie orale, laisser la mention "NaN"		
Materials	Value	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	NaN	NaN
Arsenic	NaN	
Cobalt	NaN	
Nickel	NaN	
Plomb	NaN	

Full Name	Symbol	Unit
VTR sans seuil par voie respiratoire	VTR _{inh,ss}	mg ⁻¹ m ³
Description		
Si la substance ne possède pas de VTR pour les effets sans seuil par voie respiratoire, laisser la mention "NaN"		
Materials	Value	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	NaN	
Arsenic	NaN	
Cobalt	NaN	

Nickel	NaN	
Plomb	NaN	NaN

Lookup table summary

Vector lookup tables

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration inhalée hors site	Cinh _{hors,site}	mg m ⁻³					
Description							
A définir pour le calcul de l'exposition et du risque total (hors sources liées au site étudié)							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration inhalée, moyennée sur la durée d'exposition	Cinh fraction,expo,vie,entiere	mg m ⁻³					
Description							
A définir en l'absence de connexion avec les modules de calcul des concentrations dans l'air : Conc_gaz_air_exterieur, Conc_gaz_air_interieur, Conc_part_air_exterieur ou Conc_part_air_interieur							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined	0.0:0.0	Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined	0.0:5.0E-15						
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit
Dose d'exposition liée à l'ingestion d'eau pour un individu	Dose _{ingeau,individu}	mg kg ⁻¹ d ⁻¹
Description		

A définir en l'absence de connexion avec les modules de calcul Eaux superficielles ou Eaux souterraines. Dose d'exposition par ingestion d'eau, calculée en fonction de l'âge de l'individu.

Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Dose d'exposition liée à l'ingestion de produits d'origine aquatique pour un individu	Dose _{anim,aq,individu}	mg kg ⁻¹ d ⁻¹					
Description							
A définir en l'absence de connexion avec le module de calcul Animaux_aquatiques. Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine aquatiques, calculée en fonction de l'âge de l'individu.							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Matrix lookup tables

Full Name	Symbol	Unit
Dose d'exposition non liée au site	Dose _{ing,hors,site,classe,age}	mg kg ⁻¹ d ⁻¹
Description		
A définir pour le calcul de l'exposition et du risque total (hors sources liées au site étudié). Dose d'exposition additionnelle non liée au site, pendant les années où la cible est exposée au site contaminé ou aux sources de contamination étudiées. Cette dose doit inclure l'exposition liée à l'alimentation et celle liée à l'ingestion de sol.		
Cyclic option		
No		
Interpolation		
Interpolation-Use End Values		

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_1			Time	Arsenic,classe_1		Time	Cobalt,classe_1			
Predefined				Predefined			Predefined				
0.0	0.0			0.0	0.0		0.0	0.0			
Time	Nickel,classe_1		Time	Plomb,classe_1		Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_10				
Predefined		Predefined		Predefined							
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0					
Time	Arsenic,classe_10		Time	Cobalt,classe_10		Time	Nickel,classe_10		Time	Plomb,classe_10	
Predefined		Predefined		Predefined			Predefined				
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_2			Time	Arsenic,classe_2		Time	Cobalt,classe_2			
Predefined				Predefined			Predefined				
0.0	0.0			0.0	0.0		0.0	0.0			
Time	Nickel,classe_2		Time	Plomb,classe_2		Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_3				
Predefined		Predefined		Predefined							
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0					
Time	Arsenic,classe_3		Time	Cobalt,classe_3		Time	Nickel,classe_3		Time	Plomb,classe_3	
Predefined		Predefined		Predefined			Predefined				
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_4			Time	Arsenic,classe_4		Time	Cobalt,classe_4			
Predefined				Predefined			Predefined				
0.0	0.0			0.0	0.0		0.0	0.0			
Time	Nickel,classe_4		Time	Plomb,classe_4		Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_5				
Predefined		Predefined		Predefined							
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0					
Time	Arsenic,classe_5		Time	Cobalt,classe_5		Time	Nickel,classe_5		Time	Plomb,classe_5	
Predefined		Predefined		Predefined			Predefined				
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_6			Time	Arsenic,classe_6		Time	Cobalt,classe_6			
Predefined				Predefined			Predefined				
0.0	0.0			0.0	0.0		0.0	0.0			
Time	Nickel,classe_6		Time	Plomb,classe_6		Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_7				
Predefined		Predefined		Predefined							
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0					
Time	Arsenic,classe_7		Time	Cobalt,classe_7		Time	Nickel,classe_7		Time	Plomb,classe_7	
Predefined		Predefined		Predefined			Predefined				
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_8			Time	Arsenic,classe_8		Time	Cobalt,classe_8			
Predefined				Predefined			Predefined				
0.0	0.0			0.0	0.0		0.0	0.0			
Time	Nickel,classe_8		Time	Plomb,classe_8		Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_9				
Predefined		Predefined		Predefined							
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0					
Time	Arsenic,classe_9		Time	Cobalt,classe_9		Time	Nickel,classe_9		Time	Plomb,classe_9	
Predefined		Predefined		Predefined			Predefined				

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Full Name	Symbol	Unit
Dose d'exposition liée à l'ingestion d'eau	Dose _{ingestion,classe,age}	mg kg ⁻¹ d ⁻¹

Description
A définir en l'absence de connexion avec les modules de calcul Eaux superficielles ou Eaux souterraines

Cyclic option
No

Interpolation
Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_1	Time	Arsenic,classe_1	Time	Cobalt,classe_1
Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	Nickel,classe_1	Time	Plomb,classe_1	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_10
Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	Arsenic,classe_10	Time	Cobalt,classe_10	Time	Nickel,classe_10	Time	Plomb,classe_10
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_2	Time	Arsenic,classe_2	Time	Cobalt,classe_2
Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	Nickel,classe_2	Time	Plomb,classe_2	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_3
Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	Arsenic,classe_3	Time	Cobalt,classe_3	Time	Nickel,classe_3	Time	Plomb,classe_3
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_4	Time	Arsenic,classe_4	Time	Cobalt,classe_4
Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	Nickel,classe_4	Time	Plomb,classe_4	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_5
Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	Arsenic,classe_5	Time	Cobalt,classe_5	Time	Nickel,classe_5	Time	Plomb,classe_5
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_6	Time	Arsenic,classe_6	Time	Cobalt,classe_6
Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	Nickel,classe_6	Time	Plomb,classe_6	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_7
Predefined		Predefined		Predefined	

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Arsenic,classe_7	Time	Cobalt,classe_7	Time	Nickel,classe_7	Time	Plomb,classe_7
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_8	Time	Arsenic,classe_8	Time	Cobalt,classe_8		
Predefined		Predefined		Predefined			
0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	
Time	Nickel,classe_8	Time	Plomb,classe_8	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_9		
Predefined		Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Arsenic,classe_9	Time	Cobalt,classe_9	Time	Nickel,classe_9	Time	Plomb,classe_9
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Full Name	Symbol	Unit					
Dose d'exposition par consommation d'animaux aquatiques	Dose _{anim,aq,classe,age}	mg kg ⁻¹ d ⁻¹					
Description							
A définir en l'absence de connexion avec le module de calcul Animaux_aquatiques							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_1	Time	Arsenic,classe_1	Time	Cobalt,classe_1		
Predefined		Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Nickel,classe_1	Time	Plomb,classe_1	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_10		
Predefined		Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Arsenic,classe_10	Time	Cobalt,classe_10	Time	Nickel,classe_10	Time	Plomb,classe_10
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_2	Time	Arsenic,classe_2	Time	Cobalt,classe_2		
Predefined		Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Nickel,classe_2	Time	Plomb,classe_2	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_3		
Predefined		Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Arsenic,classe_3	Time	Cobalt,classe_3	Time	Nickel,classe_3	Time	Plomb,classe_3
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_4	Time	Arsenic,classe_4	Time	Cobalt,classe_4		
Predefined		Predefined		Predefined			

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Nickel,classe_4	Time	Plomb,classe_4	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_5		
Predefined		Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Arsenic,classe_5	Time	Cobalt,classe_5	Time	Nickel,classe_5	Time	Plomb,classe_5
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_6	Time	Arsenic,classe_6	Time	Cobalt,classe_6		
Predefined		Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Nickel,classe_6	Time	Plomb,classe_6	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_7		
Predefined		Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Arsenic,classe_7	Time	Cobalt,classe_7	Time	Nickel,classe_7	Time	Plomb,classe_7
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_8	Time	Arsenic,classe_8	Time	Cobalt,classe_8		
Predefined		Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Nickel,classe_8	Time	Plomb,classe_8	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_9		
Predefined		Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Arsenic,classe_9	Time	Cobalt,classe_9	Time	Nickel,classe_9	Time	Plomb,classe_9
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Full Name	Symbol	Unit					
Moy. annuelle de la conc. inhalée, pondérée par la fraction annuelle du temps d'expo	Cinh fraction,expo,classe,age,moy,an	mg m ⁻³					
Description							
A définir en l'absence de connexion avec les modules de calcul des concentrations dans l'air : Conc_gaz_air_exterieur, Conc_gaz_air_interieur, Conc_part_air_exterieur ou Conc_part_air_interieur. Concentrations particulaires/gazeuses - extérieur/intérieur							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_1	Time	Arsenic,classe_1	Time	Cobalt,classe_1		
Predefined	0.0:5.0E-15	Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Nickel,classe_1	Time	Plomb,classe_1	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_10		
Predefined		Predefined	0.0:2.0E-4	Predefined	0.0:0.0		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Arsenic,classe_10	Time	Cobalt,classe_10	Time	Nickel,classe_10	Time	Plomb,classe_10

Predefined		Predefined		Predefined		Predefined 0.0:0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_2	Time	Arsenic,classe_2	Time	Cobalt,classe_2		
Predefined				Predefined		Predefined	
0.0	5.0E-15	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Nickel,classe_2	Time	Plomb,classe_2	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_3		
Predefined		Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	2.0E-4	0.0	5.0E-15		
Time	Arsenic,classe_3	Time	Cobalt,classe_3	Time	Nickel,classe_3	Time	Plomb,classe_3
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0E-4
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_4	Time	Arsenic,classe_4	Time	Cobalt,classe_4		
Predefined				Predefined		Predefined	
0.0	5.0E-15	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Nickel,classe_4	Time	Plomb,classe_4	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_5		
Predefined		Predefined		Predefined 0.0:0.0			
0.0	0.0	0.0	2.0E-4	0.0	0.0		
Time	Arsenic,classe_5	Time	Cobalt,classe_5	Time	Nickel,classe_5	Time	Plomb,classe_5
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined 0.0:0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_6	Time	Arsenic,classe_6	Time	Cobalt,classe_6		
Predefined 0.0:0.0		Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Nickel,classe_6	Time	Plomb,classe_6	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_7		
Predefined		Predefined 0.0:0.0		Predefined 0.0:0.0			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Arsenic,classe_7	Time	Cobalt,classe_7	Time	Nickel,classe_7	Time	Plomb,classe_7
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined 0.0:0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_8	Time	Arsenic,classe_8	Time	Cobalt,classe_8		
Predefined 0.0:0.0		Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Nickel,classe_8	Time	Plomb,classe_8	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_9		
Predefined		Predefined 0.0:0.0		Predefined 0.0:0.0			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Arsenic,classe_9	Time	Cobalt,classe_9	Time	Nickel,classe_9	Time	Plomb,classe_9
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined 0.0:0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Parameter changes

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit

VTR à seuil par voie orale

VTR_{seuil,orale} mg kg⁻¹ d⁻¹

Description						
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	NaN	NaN				
Arsenic	NaN					
Cobalt	NaN					
Nickel	NaN					
Plomb	NaN	NaN				

Full Name	Symbol	Unit
VTR à seuil par voie respiratoire	VTR _{seuil,inh}	mg m ⁻³

Description						
Si la substance ne possède pas de VTR pour les effets à seuil par voie respiratoire, laisser la mention "NaN"						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	NaN	NaN				
Arsenic	NaN					
Cobalt	NaN					
Nickel	NaN					
Plomb	NaN	NaN				

Full Name	Symbol	Unit
VTR sans seuil par voie orale	VTR _{o,ss}	mg ⁻¹ kg d

Description						
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	NaN	NaN				
Arsenic	NaN					
Cobalt	NaN					
Nickel	NaN					
Plomb	NaN					

Full Name	Symbol	Unit
VTR sans seuil par voie respiratoire	VTR _{inh,ss}	mg ⁻¹ m ³

Description						
Si la substance ne possède pas de VTR pour les effets sans seuil par voie respiratoire, laisser la mention "NaN"						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	NaN					
Arsenic	NaN					
Cobalt	NaN					
Nickel	NaN					

Lookup table changes

Vector lookup tables

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration inhalée, moyennée sur la durée d'exposition	Cinh fraction,expo,vie,entiere	mg m ⁻³					
Description							
A définir en l'absence de connexion avec les modules de calcul des concentrations dans l'air : Conc_gaz_air_exterieur, Conc_gaz_air_interieur, Conc_part_air_exterieur ou Conc_part_air_interieur							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined	0.0:0.0	Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined	0.0:5.0E-15						
0.0	0.0						

Matrix lookup tables

Full Name	Symbol	Unit					
Moy. annuelle de la conc. inhalée, pondérée par la fraction annuelle du temps d'expo	Cinh fraction,expo,classe,age,moy,an	mg m -3					
Description							
A définir en l'absence de connexion avec les modules de calcul des concentrations dans l'air : Conc_gaz_air_exterieur, Conc_gaz_air_interieur, Conc_part_air_exterieur ou Conc_part_air_interieur. Concentrations particulaires/gazeuses - extérieur/intérieur							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_1	Time	Arsenic,classe_1	Time	Cobalt,classe_1		
Predefined	0.0:5.0E-15	Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Nickel,classe_1	Time	Plomb,classe_1	Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_10		
Predefined		Predefined	0.0:2.0E-4	Predefined	0.0:0.0		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	Arsenic,classe_10	Time	Cobalt,classe_10	Time	Nickel,classe_10	Time	Plomb,classe_10
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	0.0:0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_2			Time	Arsenic,classe_2		Time	Cobalt,classe_2			
Predefined				Predefined			Predefined				
0.0	5.0E-15			0.0	0.0		0.0	0.0			
Time	Nickel,classe_2		Time	Plomb,classe_2		Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_3				
Predefined		Predefined		Predefined							
0.0	0.0	0.0	2.0E-4	0.0	5.0E-15						
Time	Arsenic,classe_3		Time	Cobalt,classe_3		Time	Nickel,classe_3		Time	Plomb,classe_3	
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined		Predefined			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0E-4		
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_4			Time	Arsenic,classe_4		Time	Cobalt,classe_4			
Predefined				Predefined			Predefined				
0.0	5.0E-15			0.0	0.0		0.0	0.0			
Time	Nickel,classe_4		Time	Plomb,classe_4		Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_5				
Predefined		Predefined		Predefined		0.0:0.0					
0.0	0.0	0.0	2.0E-4	0.0	0.0						
Time	Arsenic,classe_5		Time	Cobalt,classe_5		Time	Nickel,classe_5		Time	Plomb,classe_5	
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined		Predefined		0.0:0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_6			Time	Arsenic,classe_6		Time	Cobalt,classe_6			
Predefined	0.0:0.0			Predefined		Predefined					
0.0	0.0			0.0	0.0		0.0	0.0			
Time	Nickel,classe_6		Time	Plomb,classe_6		Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_7				
Predefined		Predefined		0.0:0.0		Predefined		0.0:0.0			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
Time	Arsenic,classe_7		Time	Cobalt,classe_7		Time	Nickel,classe_7		Time	Plomb,classe_7	
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined		Predefined		0.0:0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_8			Time	Arsenic,classe_8		Time	Cobalt,classe_8			
Predefined	0.0:0.0			Predefined		Predefined					
0.0	0.0			0.0	0.0		0.0	0.0			
Time	Nickel,classe_8		Time	Plomb,classe_8		Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine,classe_9				
Predefined		Predefined		0.0:0.0		Predefined		0.0:0.0			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
Time	Arsenic,classe_9		Time	Cobalt,classe_9		Time	Nickel,classe_9		Time	Plomb,classe_9	
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined		Predefined		0.0:0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

4.5. Par expo

Par expo		Sub-system
Id	Par_expo	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Par expo	
Description	Définir ici les valeurs des données d'entrée communes à plusieurs modules de calcul, si nécessaire. Cela permet d'utiliser les mêmes valeurs de données d'entrée pour estimer les niveaux d'exposition dans différents modules. Seules les données connectées nécessitent d'être définies par l'utilisateur.	
Object	Output	Sub-system
B _w	B _w	Sol racinaire
	B _w	Sol superficiel
	B _w	Poule
	B _w	Legumes racines
	B _w	Legumes feuilles
	B _w	Legumes fruits
	B _w	Fruits
	B _w	Tubercules
	B _w	Vache
	B _w	Porc
	B _w	Cereales
	B _w	
Q _s	Q _s	Sol racinaire
	Q _s	Sol superficiel
Qpous	Qpous	Sol racinaire
	Qpous	Sol superficiel

Interaction Matrix

Output1	1
1	

Parameter summary

Vector parameters

Full Name				Symbol	Unit
Hauteur de respiration de la cible				H _{resp}	m
Description					
sert au calcul des concentrations inhalées à l'extérieur des bâtiments (Modules Conc_gaz_air_exterieur et Conc_part_air_exterieur)					
Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF
classe_1	0.3				
classe_10	0.0				
classe_2	0.71				
classe_3	0.91				

classe_4	1.13
classe_5	1.38
classe_6	1.52
classe_7	1.55
classe_8	0.0
classe_9	0.0
Classes_d'age	Comment
classe_1	Enfant assis
classe_10	
classe_2	Estimé à partir de la taille
classe_3	Estimé à partir de la taille
classe_4	Estimé à partir de la taille
classe_5	Estimé à partir de la taille
classe_6	Estimé à partir de la taille
classe_7	Estimé à partir de la taille
classe_8	
classe_9	

Full Name	Symbol	Unit
Masse de particules de sol ingérées par jour	Q _s	mg d ⁻¹

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de sol (Module Sol).

Masse de sol ingérée par jour par la cible

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	30.0	25.0		100.0		
classe_10	0.0					
classe_2	50.0	40.0		150.0		
classe_3	50.0	40.0		150.0		
classe_4	50.0	40.0		150.0		
classe_5	20.0	0.0		150.0		
classe_6	20.0	0.0		150.0		
classe_7	20.0	0.0		150.0		
classe_8	0.0	0.0				
classe_9	0.0					

Full Name	Symbol	Unit
Masse corporelle de la cible	B _w	kg

Description

A définir pour le calcul des doses d'exposition. Définir autant de données que de classes d'âge nécessaires. Laisser à 0 pour les classes d'âge inutiles.

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	7.6	7.6	5.22	8.67		
classe_10	0.0					

classe_2	12.4	12.4	9.28	14.7
classe_3	17.8	17.8	12.9	20.8
classe_4	28.7	28.7	19.6	34.5
classe_5	47.2	47.2	32.1	58.0
classe_6	60.0	60.0	43.6	71.8
classe_7	70.4	69.8	46.7	99.5
classe_8	0.0	0.0		
classe_9	0.0			
Classes_d'age	Comment			
classe_1	Validée			
classe_10				
classe_2	Validée			
classe_3	Validée			
classe_4	Validée			
classe_5	Validée			
classe_6	Validée			
classe_7	Validée			
classe_8				
classe_9				

Full Name	Symbol	Unit
Masse de poussières ingérées par jour issues du sol	Qpous	mg d ⁻¹

Description						
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de poussières issues du sol (Module Sol). Masse de poussières ingérée par jour par la cible						
Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0	0.0				
classe_10	0.0					
classe_2	0.0	0.0				
classe_3	0.0	0.0				
classe_4	0.0	0.0				
classe_5	0.0	0.0				
classe_6	0.0	0.0				
classe_7	0.0	0.0				
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

Full Name	Symbol	Unit
Volume d'eau total ingéré par jour par la cible	Qeau	l d ⁻¹

Description						
A définir pour le calcul d'une dose d'exposition par ingestion d'eau (modules eaux_souterraines ou eaux_superficielles)						
Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.096					

classe_10	0.0	
classe_2	0.26	
classe_3	0.32	1.4
classe_4	0.32	1.4
classe_5	0.32	1.4
classe_6	0.56	2.0
classe_7	0.55	2.0
classe_8	0.0	
classe_9	0.0	
Classes_d'age	Comment	
classe_1	Validée	
classe_10		
classe_2	Validée	
classe_3	Validée. Consommation d'eau du robinet	
classe_4	Validée. Consommation d'eau du robinet	
classe_5	Validée. Consommation d'eau du robinet	
classe_6	Validée. Consommation d'eau du robinet	
classe_7	Validée. Consommation d'eau du robinet	
classe_8		
classe_9		

Parameter changes

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit				
Masse de particules de sol ingérées par jour	Q _s	mg d ⁻¹				
Description						
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de sol (Module Sol).						
Masse de sol ingérée par jour par la cible						
Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	30.0	25.0		100.0		
classe_10	0.0					
classe_2	50.0	40.0		150.0		
classe_3	50.0	40.0		150.0		
classe_4	50.0	40.0		150.0		
classe_5	20.0	0.0		150.0		
classe_6	20.0	0.0		150.0		
classe_7	20.0	0.0		150.0		
classe_8	0.0	0.0				
classe_9	0.0					

Full Name	Symbol	Unit
Masse corporelle de la cible		kg

Description						
A définir pour le calcul des doses d'exposition. Définir autant de données que de classes d'âge nécessaires. Laisser à 0 pour les classes d'âge inutiles.						
Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	7.6	7.6	5.22	8.67		
classe_10	0.0					
classe_2	12.4	12.4	9.28	14.7		
classe_3	17.8	17.8	12.9	20.8		
classe_4	28.7	28.7	19.6	34.5		
classe_5	47.2	47.2	32.1	58.0		
classe_6	60.0	60.0	43.6	71.8		
classe_7	70.4	69.8	46.7	99.5		
classe_8	0.0	0.0				
classe_9	0.0					
Classes_d'age	Comment					
classe_1	Validée					
classe_10						
classe_2	Validée					
classe_3	Validée					
classe_4	Validée					
classe_5	Validée					
classe_6	Validée					
classe_7	Validée					
classe_8						
classe_9						

Full Name	Symbol	Unit				
Masse de poussières ingérées par jour issues du sol	Qpous	mg d ⁻¹				
Description						
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de poussières issues du sol (Module Sol). Masse de poussières ingérée par jour par la cible						
Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0	0.0				
classe_10	0.0					
classe_2	0.0	0.0				
classe_3	0.0	0.0				
classe_4	0.0	0.0				
classe_5	0.0	0.0				
classe_6	0.0	0.0				
classe_7	0.0	0.0				
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

4.6. Poule

Poule		Sub-system	
Id	Poule		
Enabled flag	Yes		
Symbol	Poule		
Description	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). Ce module est paramétré pour une poule. Les concentrations peuvent être calculées à l'état stationnaire ou avec une approche dynamique. 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 . 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, les concentrations dans les tissus animaux sont estimées pour un animal en fin de vie (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. 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). 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.		
Object	Input		Sub-system
Cp ₁	Cp	Cereales	
B _w	B _w	Par expo	
Cs ₁	Cs _{attrib}	Sol superficiel	
Object	Output	Sub-system	
Dose _{anim2,classe,age}	Dose _{anim2,classe,age}	Niveaux Exposition Risque	
Dose _{anim2,individu}	Dose _{anim2,individu}	Niveaux Exposition Risque	
Dose _{anim1,individu}	Dose _{anim1,individu}	Niveaux Exposition Risque	
Dose _{anim1,classe,age}	Dose _{anim1,classe,age}	Niveaux Exposition Risque	

Interaction Matrix

Input1																1
	Src1			Dose d'exposition interne de l'animal												2
		Quantité de polluant totale ingérée par l'animal														3
			Quantité de polluant ingérée par l'animal en moyenne annuelle													4
				m anim 1 interne				Coef de transf. par dégrad et élimination (autre que par le lait et les oeufs) Coef. de transf. vers le lait ou les oeufs								5
					Masse de polluant dans l'organisme animal au temps 1											6
						Concentration dans le tissu 1										7
							Concentration dans le tissu 2									8
								Sink1								9
									Concentration dans le tissu 1 en moyenne annuelle							10
										Concentration dans le tissu 2 en moyenne annuelle						11
											Dose d'exposition liée à l'ingestion de tissu 1					12
												Dose d'exposition liée à l'ingestion de tissu 2				13
													Dose d'exposition liée à l'ingestion de tissu 1 pour un individu			14
														Dose d'exposition liée à l'ingestion de tissu 2 pour un individu		15
															Output1	16
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	

General variable summary

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
definition_Canim1	definition Canim1	

Description

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

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	approche_stationnaire	Poule.aucun
Arsenic	approche_stationnaire	
Cobalt	approche_stationnaire	
Nickel	approche_stationnaire	
Plomb	approche_stationnaire	Poule.aucun

Full Name	Symbol	Unit
definition_Canim2	definition Canim2	

Description

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

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	approche_stationnaire	Poule.aucun
Arsenic	approche_stationnaire	
Cobalt	approche_stationnaire	
Nickel	approche_stationnaire	
Plomb	approche_stationnaire	Poule.aucun

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	Poule.valeur_entree_BCFanim
Arsenic	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BCFanim
Cobalt	valeur_entree_BTanim	
Nickel	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BCFanim
Plomb	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BTanim

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	Poule.valeur_entree_BCFanim
Arsenic	valeur_entree_BTanim	
Cobalt	valeur_entree_BTanim	
Nickel	valeur_entree_BTanim	
Plomb	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BTanim

Full Name	Symbol	Unit
type_expr_Canim	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
Arsenic	poids_frais	
Cobalt	poids_frais	
Nickel	poids_frais	
Plomb	poids_frais	

Parameter summary

Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit			
Fraction consommée pour le tissu 1, exposée à la contamination du site	f _{anim1,exp}				
Description					
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de tissu 1 : viande, matières grassesFraction de la quantité de produit animal (viande) consommée et exposée à la contamination du site					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.75	1.0	0.2	0.75		
Comment					
Valeur min relative à la population générale, valeur max relative à la population agricole					

Full Name	Symbol	Unit

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
0.6	1.0	0.15	0.6		
Comment					
Valeur min relative à la population générale, valeur max relative à la population agricole					

Full Name				Symbol	Unit
Quantité d'eau 1 ingérée par l'animal				$Q_{a,eau,1}$	$l\ d^{-1}$
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.18		0.15	0.25		
Comment					
Validé					

Full Name				Symbol	Unit
Quantité d'eau 2 ingérée par l'animal				$Q_{a,eau,2}$	$l\ d^{-1}$
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau de concentration Ce_2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Full Name				Symbol	Unit
Quantité d'eau 3 ingérée par l'animal				$Q_{a,eau,3}$	$l\ d^{-1}$
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau de concentration Ce_3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Full Name				Symbol	Unit
Quantité de sol 1 ingérée par l'animal				$Q_{a,sol,1}$	kg d ⁻¹
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du sol 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0055		0.0035	0.02		

Comment					
Validé					
Full Name				Symbol	Unit
Quantité de sol 2 ingérée par l'animal				$Q_{a,sol,2}$	$kg\ d^{-1}$
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du sol de concentration Cs_2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					
Full Name				Symbol	Unit
Quantité de sol 3 ingérée par l'animal				$Q_{a,sol,3}$	$kg\ d^{-1}$
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du sol de concentration Cs_3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					
Full Name				Symbol	Unit
Quantité de végétal 1 ingérée par l'animal				$Q_{a,veg,1}$	$kg_{sec}\ d^{-1}$
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.12		0.09	0.13		
Comment					
Validé					

Full Name				Symbol	Unit
Quantité de végétal 2 ingérée par l'animal				$Q_{a,veg,2}$	$kg_{sec}d^{-1}$
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					

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					

Full Name	Symbol	Unit
Quantité de végétal 4 ingérée par l'animal	$Q_{a,veg,4}$	$kg_{sec} d^{-1}$

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal de concentration Cp_4 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Full Name	Symbol	Unit
Quantité de végétal 5 ingérée par l'animal	$Q_{a,veg,5}$	$kg_{sec} d^{-1}$

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal de concentration Cp_5 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de biodisponibilité relative du polluant pour le sol 1	$B_{s,1}$	unitless

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 1

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.65					
Arsenic	1.0					
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Valeur en cohérence avec les valeurs de facteur de biotransfert retenues
Arsenic	
Cobalt	
Nickel	
Plomb	

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de biodisponibilité relative du polluant pour le sol 2	$B_{s,2}$	unitless

Description						
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 2						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.65					
Arsenic	1.0					
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					
Materials	Comment					
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Valeur en cohérence avec les valeurs de facteur de biotransfert retenues					
Arsenic						
Cobalt						
Nickel						
Plomb						

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de biodisponibilité relative du polluant pour le sol 3	B _{s,3}	unitless

Description						
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 3						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.65					
Arsenic	1.0					
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					
Materials	Comment					
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Valeur en cohérence avec les valeurs de facteur de biotransfert retenues					
Arsenic						
Cobalt						
Nickel						
Plomb						

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	0.0192472211192319	-1.0				
Arsenic	0.02	-1.0				
Cobalt	0.0010	-1.0				
Nickel	0.0050	-1.0				

Plomb	1.2	-1.0	0.0030	2.0
Materials	Comment			
2378_Tétrachlorodibenzodioxine				
Arsenic				
Cobalt				
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			

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de biotransfert pour le tissu 2 de l'animal	BT,2	d kg ⁻¹

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	0.0109984120681325	-1.0				
Arsenic	0.2	-1.0	0.02	0.2		
Cobalt	0.0010	-1.0				
Nickel	0.4	0.0070	0.0025	0.4		
Plomb	1.2	-1.0	0.0030	2.0		

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	
Arsenic	Vérifié. Exprimé en j/kg de matières fraîches
Cobalt	
Nickel	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
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

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du tissu 1 avant consommation	f _{anim1,dec}	unitless

Description
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de tissu 1 : viande, matières grasses

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0					
Arsenic	0.65	1.0				
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du tissu 2 avant consommation	f _{anim2,dec}	unitless

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de tissu 2 : lait, oeufs

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0					
Arsenic	1.0					
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Masse de tissu 1 ingérée par jour par la cible	Q _{anim1}	kg d ⁻¹

Description

Ce paramètre sert au calcul de la dose d'exposition si les concentrations sont exprimées en poids frais. Exposée ou non à la contamination du site. Exprimée en kg frais tissu 1 : viande.

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0024	0.00238				
classe_10	0.0					
classe_2	0.011	0.0107				
classe_3	0.017	0.0169				
classe_4	0.017	0.0169				
classe_5	0.023	0.0229				
classe_6	0.025	0.0253				
classe_7	0.032	0.0319				
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

Classes_d'age	Comment
classe_1	Masse correspondant à la quantité totale de viandes de volaille et gibiers consommées (hors aliments infantiles)
classe_10	
classe_2	Masse correspondant à la quantité totale de viandes de volaille et gibiers consommées (hors aliments infantiles)
classe_3	Masse correspondant à la quantité totale de viandes de volaille et gibiers consommées
classe_4	Masse correspondant à la quantité totale de viandes de volaille et gibiers consommées
classe_5	Masse correspondant à la quantité totale de viandes de volaille et gibiers consommées
classe_6	Masse correspondant à la quantité totale de viandes de volaille et gibiers consommées
classe_7	Masse correspondant à la quantité totale de viandes de volaille et gibiers consommées
classe_8	
classe_9	

Full Name	Symbol	Unit
Masse du tissu 2 ingérée par jour par la cible	Qanim2	kg d ⁻¹

Description

Ce paramètre sert au calcul de la dose d'exposition si les concentrations sont exprimées en poids frais. Exposée ou non à la contamination du site. Exprimée en poids frais.tissu 2 : produit excrété par l'animal (lait, oeuf)

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0018	0.00178				
classe_10	0.0					
classe_2	0.011	0.0107				
classe_3	0.01	0.0104				
classe_4	0.01	0.0104				
classe_5	0.01	0.0102				
classe_6	0.011	0.0107				
classe_7	0.015	0.0153				
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

Lookup table summary

Vector lookup tables

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans l'eau 1	Ce ₁	mg m ⁻³					
Description							
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de polluant dans l'eau 2	Ce ₂	mg m ⁻³
Description		
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).		
Cyclic option		
No		

Interpolation

Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	Plomb
Predefined	
0.0	0.0

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de polluant dans l'eau 3	Ce ₃	mg m ⁻³

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).

Cyclic option

No

Interpolation

Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	Plomb
Predefined	
0.0	0.0

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de polluant dans le sol 2	Cs ₂	mg kg ⁻¹

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)

Cyclic option

No

Interpolation

Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	Plomb
Predefined	

0.0 0.0

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans le sol 3	Cs ₃	mg kg ⁻¹					
Description							
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans le végétal 2	Cp 2	mg kg _{vegsec} ⁻¹					
Description							
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de polluant dans le végétal 3	Cp ₃	mg kg _{vegsec} ⁻¹
Description		
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux		

Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans le végétal 4	Cp ₄	mg kg _{vegsec} ⁻¹					
Description							
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 4 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans le végétal 5	Cp 5	mg kg _{vegsec} ⁻¹					
Description							
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 5 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							

0.0

0.0

General variable changes

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
definition_Canim1	definition Canim1	

Description

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

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	approche_stationnaire	Poule.aucun
Arsenic	approche_stationnaire	
Cobalt	approche_stationnaire	
Nickel	approche_stationnaire	
Plomb	approche_stationnaire	Poule.aucun

Full Name	Symbol	Unit
definition_Canim2	definition Canim2	

Description

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

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	approche_stationnaire	Poule.aucun
Arsenic	approche_stationnaire	
Cobalt	approche_stationnaire	
Nickel	approche_stationnaire	
Plomb	approche_stationnaire	Poule.aucun

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	Poule.valeur_entree_BCFanim
Arsenic	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BCFanim
Cobalt	valeur_entree_BTanim	
Nickel	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BCFanim
Plomb	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BTanim

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	Poule.valeur_entree_BCFanim
Arsenic	valeur_entree_BTanim	
Cobalt	valeur_entree_BTanim	
Nickel	valeur_entree_BTanim	
Plomb	valeur_entree_BTanim	Poule.valeur_entree_BTanim

Full Name	Symbol	Unit
type_expr_Canim	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
Arsenic	poids_frais	
Cobalt	poids_frais	
Nickel	poids_frais	
Plomb	poids_frais	

Parameter changes

Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit			
Fraction consommée pour le tissu 1, exposée à la contamination du site	f _{anim1,exp}				
Description					
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de tissu 1 : viande, matières grassesFraction de la quantité de produit animal (viande) consommée et exposée à la contamination du site					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.75	1.0	0.2	0.75		
Comment					
Valeur min relative à la population générale, valeur max relative à la population agricole					

Full Name	Symbol	Unit

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
0.6	1.0	0.15	0.6		
Comment					
Valeur min relative à la population générale, valeur max relative à la population agricole					

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	0.0192472211192319	-1.0				
Arsenic	0.02	-1.0				
Cobalt	0.0010	-1.0				
Nickel	0.0050	-1.0				
Plomb	1.2	-1.0	0.0030	2.0		
Materials	Comment					
2378_Tétrachlorodibenzodioxine						
Arsenic						
Cobalt						
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					

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de biotransfert pour le tissu 2 de l'animal	BT,2	d kg ⁻¹

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	0.0109984120681325	-1.0				
Arsenic	0.2	-1.0	0.02	0.2		
Cobalt	0.0010	-1.0				
Nickel	0.4	0.0070	0.0025	0.4		
Plomb	1.2	-1.0	0.0030	2.0		

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	
Arsenic	Vérifié. Exprimé en j/kg de matières fraîches
Cobalt	
Nickel	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
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

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du tissu 1 avant consommation	$f_{anim1,dec}$	unitless

Description						
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de tissu 1 : viande, matières grasses						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0					
Arsenic	0.65	1.0				
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Masse de tissu 1 ingérée par jour par la cible	Q_{anim1}	kg d ⁻¹

Description						
Ce paramètre sert au calcul de la dose d'exposition si les concentrations sont exprimées en poids frais. Exposée ou non à la contamination du site. Exprimée en kg frais tissu 1 : viande.						
Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0024	0.00238				
classe_10	0.0					
classe_2	0.011	0.0107				
classe_3	0.017	0.0169				
classe_4	0.017	0.0169				
classe_5	0.023	0.0229				
classe_6	0.025	0.0253				
classe_7	0.032	0.0319				
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					
Classes_d'age	Comment					
classe_1	Masse correspondant à la quantité totale de viandes de volaille et gibiers consommées (hors aliments infantiles)					
classe_10						
classe_2	Masse correspondant à la quantité totale de viandes de volaille et gibiers consommées (hors aliments infantiles)					
classe_3	Masse correspondant à la quantité totale de viandes de volaille et gibiers consommées					
classe_4	Masse correspondant à la quantité totale de viandes de volaille et gibiers consommées					

classe_5	Masse correspondant à la quantité totale de viandes de volaille et gibiers consommées
classe_6	Masse correspondant à la quantité totale de viandes de volaille et gibiers consommées
classe_7	Masse correspondant à la quantité totale de viandes de volaille et gibiers consommées
classe_8	
classe_9	

Full Name	Symbol	Unit
Masse du tissu 2 ingérée par jour par la cible	Qanim2	kg d ⁻¹

Description

Ce paramètre sert au calcul de la dose d'exposition si les concentrations sont exprimées en poids frais. Exposée ou non à la contamination du site. Exprimée en poids frais.tissu 2 : produit excrété par l'animal (lait, oeuf)

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0018	0.00178				
classe_10	0.0					
classe_2	0.011	0.0107				
classe_3	0.01	0.0104				
classe_4	0.01	0.0104				
classe_5	0.01	0.0102				
classe_6	0.011	0.0107				
classe_7	0.015	0.0153				
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

4.7. Par Envir

Par Envir		Sub-system
Id	Par_Envir	
Enabled flag	Yes	
Symbol	Par Envir	
Description	Définir ici les valeurs des données d'entrée communes à plusieurs modules de calcul, si nécessaire. Cela permet d'utiliser les mêmes valeurs de données d'entrée (comme celle des dépôts atmosphériques ou de la température ambiante) pour estimer les concentrations dans différents modules. Seules les données connectées nécessitent d'être définies par l'utilisateur.	
Object	Output	Sub-system
Rf	R _f R _f	Sol racinaire Sol superficiel
Cair _{Parameter}	Cair	Fruits
Depot _{part,total,Parameter}	D _{pt}	Cereales
Ta	Ta Ta Ta Ta Ta Ta	Legumes racines Legumes feuilles Legumes fruits Fruits Fourrage Cereales
Cag _{e,Parameter}	Cag _e	Fruits
Cag _e	Cag _e Cag _e	Legumes feuilles Legumes fruits
Depot _{total,Parameter}	D _t D _t D _{pt} D _{pt} D _{pt} D _{pt} D _{pt}	Sol racinaire Sol superficiel Legumes racines Legumes feuilles Legumes fruits Fruits Fourrage
ST	S _T S _T S _T S _T S _T S _T	Legumes racines Legumes feuilles Legumes fruits Fruits Fourrage Cereales

Interaction Matrix

Output1	1
1	

Parameter summary

Scalar parameters

Full Name				Symbol	Unit
Concentration de particules en suspension dans l'eau				MES	kg m ⁻³
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0		0.0020	0.3		
Comment					
Vérifié					

Full Name				Symbol	Unit
Facteur d'érosivité des pluies				Rf	year ⁻¹
Description					
paramètre de l'équation 1.1.60					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					
Comment					
Pour le territoire français, Rf peut aller de valeurs inférieures à 30 jusqu'à des valeurs supérieures à 200 (www.geotech-fr.org/sites/default/files/revues/blpc/BLPC%20150-151%20pp%20117-129%20Henensal.pdf)					

Full Name				Symbol	Unit
Fraction de particules transférées de l'extérieur vers l'intérieur				f _{ext} _{int}	unitless
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.75		0.5	1.0		
Comment					
Vérifié. Valeur par défaut : valeur intermédiaire entre la valeur minimale et la valeur maximale					

Full Name				Symbol	Unit
Fraction de sol dans les poussières intérieures				f _s _{pous}	unitless
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.8		0.7	0.85		

Full Name				Symbol	Unit
Hauteur de la couche limite d'air au-dessus du sol				da	m
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0050					
Comment					
Non vérifié					

Full Name				Symbol	Unit
Masse volumique de l'air				masse _{vol,air}	g cm ⁻³
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined

Full Name				Symbol	Unit
masse volumique de l'eau				masse _{vol,eau}	g cm ⁻³
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
1.0					

Full Name				Symbol	Unit
Masse volumique de la phase solide de l'aquifère				MVp _{aq}	kg m ⁻³
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2650.0					

Full Name				Symbol	Unit
Masse volumique des particules sédimentaires				MVp _{sed}	kg m ⁻³
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2650.0					
Comment					
Vérifié					

Full Name				Symbol	Unit
Porosité de la couche de sédiments				θ _{sed}	unitless
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.6		0.2	0.8		
Comment					
Vérifié					

Full Name				Symbol	Unit
Rugosité au-dessus du cours d'eau				z ₀	m
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0010					

Full Name				Symbol	Unit
Surface moyenne des particules d'aérosols par volume d'air				ST	cm ² cm ⁻³
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
3.5E-6		1.5E-6	1.0E-5		

Full Name				Symbol	Unit
Teneur en carbone organique des matières en suspension				foc _{MES}	unitless
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.075		0.05	0.1		

Comment					
Vérifié					
Full Name				Symbol	Unit
V_MES_E (Vitesse de dépôt net des particules)				$V_{MES,E}$	$m\ s^{-1}$
Description					
Valeur définie par l'utilisateur. En l'absence de valeur définie par l'utilisateur pour V_sed, V_MES_E sert à calculer V_sed_E					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
-1.0					
Full Name				Symbol	Unit
V_sed_E (Vitesse d'accroissement de la hauteur de la couche de sédiments)				$V_{sed,E}$	$m\ s^{-1}$
Description					
Valeur définie par l'utilisateur					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
-1.0		0.0	1.0E-10		
Comment					
Non vérifié					
Full Name				Symbol	Unit
Viscosité de l'eau				viscosite_{eau}	$g\ cm^{-1}\ s^{-1}$
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0169					
Full Name				Symbol	Unit
Viscosité dynamique de l'air				viscosite_{air}	$g\ cm^{-1}\ s^{-1}$
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
1.81E-4					
Full Name				Symbol	Unit
Vitesse de dépôt des particules du sol remises en suspension				$V_{d,psol}$	$m\ s^{-1}$
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.01		0.0010	0.03		
Full Name				Symbol	Unit
Vitesse du vent à 10 mètres				u	$m\ s^{-1}$
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit				
Concentration dans l'air extérieur sous forme gazeuse (Parameter)	Cag _{e,Parameter}	mg m ⁻³				
Description						
Peut servir à renseigner de manière commune la concentration dans l'air sous forme gazeuse (Cag _e) du module "Vegetaux", la concentration dans l'air extérieur sous forme gazeuse (Cag _{e_E}) du module (Conc_gaz_air_exterieur) et la concentration dans l'air extérieur sous forme gazeuse attribuable au site (Cag _{e_H_attrib}) du module "Conc_gaz_air_int_Volasoil"						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0					
Arsenic	0.0					
Cobalt	0.0					
Nickel	0.0					
Plomb	0.0					

Full Name	Symbol	Unit				
Concentration dans l'air extérieur sous forme particulaire (Parameter)	Cap _{e,inh,Parameter}	mg m ⁻³				
Description						
Peut servir à renseigner de manière commune la concentration dans l'air sous forme particulaire, inhalable (Cap _{e_inh_E}) et (Cap _{e_inh_attrib}) des modules "Conc_part_air_ext" et "Conc_part_air_int : valeur d'intérêt sanitaire définie par l'utilisateur (en fonction de l'effet étudié)"						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0					
Arsenic	0.0					
Cobalt	0.0					
Nickel	0.0					
Plomb	0.0					

Full Name	Symbol	Unit				
Concentration dans la couche superficielle de sédiments liée au bruit de fond	Csed _{BF}	mg kg ⁻¹				
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0					
Arsenic	0.0					
Cobalt	0.0					
Nickel	0.0					
Plomb	0.0					

Full Name	Symbol	Unit				
Concentration de polluant dans l'air extérieur (gazeuse+particulaire), liée au bruit de fond	Ca _{e,BF}	mg m ⁻³				
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0					
Arsenic	0.0					
Cobalt	0.0					

Nickel	0.0
Plomb	0.0

Full Name	Symbol	Unit				
Concentration de polluant dans l'air extérieur sous forme gazeuse et particulaire (Parameter)	Cair Parameter	mg m ⁻³				
Description						
Peut servir à renseigner la concentration dans l'air (Cair) du module "Vegetaux"						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0					
Arsenic	0.0					
Cobalt	0.0					
Nickel	0.0					
Plomb	0.0					

Full Name	Symbol	Unit				
Concentration de polluant dans l'air extérieur sous forme gazeuse, liée au bruit de fond	Cag_e,BF,E	mg m ⁻³				
Description						
Pour tenir compte de la concentration gazeuse liée au bruit de fond, l'utilisateur doit définir Ca_e_BF ou Cag_e_BF						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0					
Arsenic	0.0					
Cobalt	0.0					
Nickel	0.0					
Plomb	0.0					

Full Name					Symbol	Unit
Concentration de polluant dans l'eau de surface liée au bruit de fond					C _{e,sup,BF}	mg m ⁻³
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0					
Arsenic	0.0					
Cobalt	0.0					
Nickel	0.0					
Plomb	0.0					

Full Name	Symbol	Unit				
Concentration de polluant sous forme gazeuse liée au bruit de fond dans l'air intérieur	Cag _{i,BF,E}	mg m ⁻³				
Description						
Valeur définie directement par l'utilisateur. Pour tenir compte de la concentration gazeuse liée au bruit de fond, l'utilisateur doit définir Ca _{i,BF} ou Cag _{i,BF,E}						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined

2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0
Arsenic	0.0
Cobalt	0.0
Nickel	0.0
Plomb	0.0

Full Name					Symbol	Unit
Concentration en phase dissoute dans l'eau de la nappe liée au bruit de fond					$C_{e,nap,BF}$	$mg\ m^{-3}$
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0					
Arsenic	0.0					
Cobalt	0.0					
Nickel	0.0					
Plomb	0.0					

Full Name					Symbol	Unit
Concentration inhalable de polluant dans l'air extérieur sous forme particulaire, liée au bruit de fond					$Cap_{e,inh,BF,E}$	$mg\ m^{-3}$
Description						
valeur d'intérêt sanitaire définie par l'utilisateur (en fonction de l'effet étudié)						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0					
Arsenic	0.0					
Cobalt	0.0					
Nickel	0.0					
Plomb	0.0					

Full Name					Symbol	Unit
Concentration inhalable sous forme particulaire liée au bruit de fond dans l'air intérieur					$Cap_{i,inh,BF,E}$	$mg\ m^{-3}$
Description						
valeur d'intérêt sanitaire définie par l'utilisateur (en fonction de l'effet étudié)						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0					
Arsenic	0.0					
Cobalt	0.0					
Nickel	0.0					
Plomb	0.0					

Full Name					Symbol	Unit
Concentration liée au bruit de fond dans l'air intérieur (gazeuse+particulaire)					$Ca_{i,BF}$	$mg\ m^{-3}$
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined

2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0
Arsenic	0.0
Cobalt	0.0
Nickel	0.0
Plomb	0.0

Full Name	Symbol	Unit
Dépôt gazeux humide (Parameter) (hors bruit de fond)	Depot gaz,humide,Parameter	mg m ⁻² s -1

Description

A définir si option_depots1 retenue. Peut servir à définir de manière commune les dépôts dans les modules sol, végétaux et eaux superficielles

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	-1.0					
Arsenic	-1.0					
Cobalt	-1.0					
Nickel	-1.0					
Plomb	-1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Dépôt gazeux sec (Parameter) (hors bruit de fond)	Depot gaz,sec,Parameter	mg m ⁻² s -1

Description

A définir si option_depots1 retenue. Peut servir à définir de manière commune les dépôts dans les modules sol, végétaux et eaux superficielles

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	-1.0					
Arsenic	-1.0					
Cobalt	-1.0					
Nickel	-1.0					
Plomb	-1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Dépôt gazeux total (Parameter) (hors bruit de fond)	Depot gaz,total,Parameter	mg m ⁻² s -1

Description

A définir si option_depots2 retenue. Peut servir à définir de manière commune les dépôts dans les modules sol, végétaux et eaux superficielles

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	-1.0					
Arsenic	-1.0					
Cobalt	-1.0					
Nickel	-1.0					
Plomb	-1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Dépôt particulaire humide (Parameter) (hors bruit de fond)	Depot part,humide,Parameter	mg m ⁻² s -1

Description

A définir si option_depots1 retenue. Peut servir à définir de manière commune les dépôts dans les modules sol, végétaux et eaux superficielles

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	-1.0					
Arsenic	-1.0					
Cobalt	-1.0					
Nickel	-1.0					
Plomb	-1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Dépôt particulaire sec (Parameter) (hors bruit de fond)	Depot part,sec,Parameter	mg m ⁻² s -1

Description

A définir si option_depots1 retenue. Peut servir à définir de manière commune les dépôts dans les modules sol, végétaux et eaux superficielles

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	-1.0					
Arsenic	-1.0					
Cobalt	-1.0					
Nickel	-1.0					
Plomb	-1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Dépôt particulaire total (Parameter) (hors bruit de fond)	Depot part,total,Parameter	mg m ⁻² s -1

Description

A définir si option_depots2 retenue. Peut servir à définir de manière commune les dépôts dans les modules sol, végétaux et eaux superficielles

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	-1.0					
Arsenic	-1.0					
Cobalt	-1.0					
Nickel	-1.0					
Plomb	-1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Dépôt total (Parameter) (hors bruit de fond)	Depot total,Parameter	mg m ⁻² s -1

Description

A définir si option_depots3 retenue. Peut servir à définir de manière commune les dépôts dans les modules sol, végétaux et eaux superficielles

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	2.6E-16	-1.0				
Arsenic	2.3E-9	-1.0				
Cobalt	4.0E-10	-1.0				
Nickel	1.9E-9	-1.0				
Plomb	4.0E-8	-1.0				

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de dégradation du polluant dans les eaux superficielles	$\lambda_{e,d}$	s ⁻¹

Description

A définir si connexion vers module aval.

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	-1.0					
Arsenic	-1.0					
Cobalt	-1.0					
Nickel	-1.0					
Plomb	-1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Fraction de particules d'intérêt sanitaire	$f_{p\text{ inh}}$	unitless

Description

En fonction de l'effet de la substance et du site de dépôt correspondant dans les voies respiratoires, la fraction des particules d'intérêt peut être différente selon les substances (fraction inhalable au sens strict, c'est-à-dire pouvant pénétrer dans les voies respiratoires, fraction thoracique ou fraction alvéolaire)

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0			1.0		
Arsenic	1.0			1.0		
Cobalt	1.0			1.0		
Nickel	1.0			1.0		
Plomb	1.0			1.0		

Full Name	Symbol	Unit
Kd_MES_E (Coefficient de partition du polluant entre les matières en suspension et l'eau)	$K_{d\text{ MES,E}}$	l kg ⁻¹

Description

Valeur définie par l'utilisateur. L'utilisateur doit définir pour chaque substance une valeur soit pour Kd_MES_E, soit pour log Kd_MES_E, soit pour Koc, soit pour log Koc

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	-1.0					
Arsenic	-1.0					

Cobalt	-1.0
Nickel	-1.0
Plomb	-1.0

Full Name	Symbol	Unit
logKd_MES_E (Log du coefficient de partition du polluant entre les particules en suspension et l'eau)	logKd_MES,E	l kg ⁻¹

Description
Valeur définie par l'utilisateur. L'utilisateur doit définir pour chaque substance une valeur soit pour Kd_E, soit pour log Kd_E, soit pour Koc, soit pour log Koc. Si pour une substance, logKd_MES_E est inférieur ou égal à -1 (la valeur par défaut) ou peut prendre ces valeurs (distribution statistique), renseigner Kd_MES_E.

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	-1.0					
Arsenic	-1.0		2.0	6.0	norm(3.9,0.5,2.0,6.0)	
Cobalt	-1.0					
Nickel	-1.0		3.5	5.7	norm(4.4,0.4,3.5,5.7)	
Plomb	-1.0		3.4	6.5	norm(5.7,0.4,3.4,6.5)	

Lookup table summary

Scalar lookup tables

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de particules en suspension dans l'air et issues du sol	Pss	kg m ⁻³

Description
Valeur par défaut : 10 ⁻⁷ kg.m ⁻³ : ECETOC (1992), USDOe (2003)

Cyclic option
No

Interpolation
Interpolation-Use End Values

Time	Values
Predefined	
0.0	1.0E-7

Full Name	Symbol	Unit
Température ambiante	Ta	K

Description
Valeur annuelle moyenne pour la France métropolitaine

Cyclic option
Yes

Interpolation
Interpolation-Extrapolation

Time	Values

Predefined

0.0 285.5

Vector lookup tables

Full Name	Symbol	Unit					
Cap_e_sol_E (Concentration dans l'air extérieur sous forme particulaire, attribuable à la contamination du sol)	Cap e,sol,E	mg m ⁻³					
Description							
Peut servir à renseigner de manière commune la concentration dans l'air sous forme particulaire issue du sol (définie par l'utilisateur) du module "Vegetaux" : "Cap_e_sol_E" et la concentration dans l'air extérieur sous forme particulaire attribuable à la contamination du sol du module "Conc_part_ext" : "Cap_e_inh_sol_E" : valeur d'intérêt sanitaire définie par l'utilisateur (en fonction de l'effet étudié)							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration dans l'air extérieur sous forme gazeuse	Cag _e	mg m ⁻³					
Description							
Peut servir à renseigner de manière commune la concentration dans l'air sous forme gazeuse (Cag_e) du module "Vegetaux", la concentration dans l'air extérieur sous forme gazeuse (Cag_e_E) du module (Conc_gaz_air_exterieur) et la concentration dans l'air extérieur sous forme gazeuse attribuable au site (Cag_e_Hb_attrib) du module "Conc_gaz_int_Volasoil"							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined	0.0:0.0	Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined	0.0:0.0						
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit
Concentration dans l'air extérieur sous forme particulaire	Cap _{e,inh}	mg m ⁻³

Description

Peut servir à renseigner de manière commune la concentration dans l'air sous forme particulaire, inhalable (Cap_e_inh_E) et (Cap_e_inh_attrib) des modules "Conc_part_air_ext" et "Conc_part_air_int" : valeur d'intérêt sanitaire définie par l'utilisateur (en fonction de l'effet étudié)

Cyclic option

No

Interpolation

Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time **Plomb**

Predefined

0.0 0.0

Full Name

Concentration dans l'eau d'irrigation

Symbol **Unit**

C_{e,irrig} mg m⁻³

Cyclic option

No

Interpolation

Interpolation-Extrapolation

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time **Plomb**

Predefined

0.0 0.0

Full Name

Concentration de polluant dans l'air extérieur sous forme gazeuse et particulaire

Symbol **Unit**

C_{air} mg m⁻³

Description

Peut servir à renseigner la concentration dans l'air (C_{air}) du module "Vegetaux"

Cyclic option

No

Interpolation

Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined	0.0:0.0	Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time **Plomb**

Predefined 0.0:0.0

0.0 0.0

Full Name	Symbol	Unit
Dépôt gazeux humide (hors bruit de fond)	D _{gh}	mg m ⁻² s ⁻¹
Description		
A définir si option_depots1 retenue.		
Cyclic option		
No		
Interpolation		
Use Input Below		
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time Arsenic Time Cobalt Time Nickel
Predefined		Predefined Predefined Predefined Predefined
0.0	-1.0	0.0 -1.0 0.0 -1.0 0.0 -1.0
Time	Plomb	
Predefined		
0.0	-1.0	

Full Name	Symbol	Unit
Dépôt gazeux sec (hors bruit de fond)	D _{gs}	mg m ⁻² s ⁻¹
Description		
A définir si option_depots1 retenue		
Cyclic option		
No		
Interpolation		
Use Input Below		
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time Arsenic Time Cobalt Time Nickel
Predefined		Predefined Predefined Predefined Predefined
0.0	-1.0	0.0 -1.0 0.0 -1.0 0.0 -1.0
Time	Plomb	
Predefined		
0.0	-1.0	

Full Name	Symbol	Unit
Dépôt gazeux total (hors bruit de fond)	D _{gt}	mg m ⁻² s ⁻¹
Description		
A définir si option_depots2 retenue		
Cyclic option		
No		
Interpolation		
Use Input Above		
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time Arsenic Time Cobalt Time Nickel

Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	-1.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Dépôt particulaire humide	D _{ph}	mg m ⁻² s ⁻¹					
Description							
A définir si option_depots1 retenue							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Use Input Above							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	-1.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Dépôt particulaire sec	D _{ps}	mg m ⁻² s ⁻¹					
Description							
A définir si option_depots1 retenue							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Use Input Below							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	-1.0						

Full Name				Symbol	Unit
Dépôt particulaire total (hors bruit de fond)				D _{pt}	mg m ⁻² s ⁻¹
Description					
A définir si option_depots2 retenue					

Cyclic option							
No							
Interpolation							
Use Input Below							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	-1.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Dépôt total (hors bruit de fond)	D _t	mg m ⁻² s ⁻¹					
Description							
A définir si option_depots3 retenue							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Use Input Below							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
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	Plomb						
Predefined	0.0:-1.0						
0.0	-1.0						

Parameter changes

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit				
Dépôt total (Parameter) (hors bruit de fond)	Depot _{total,Parameter}	mg m ⁻² s ⁻¹				
Description						
A définir si option_depots3 retenue. Peut servir à définir de manière commune les dépôts dans les modules sol, végétaux et eaux superficielles						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	2.6E-16	-1.0				
Arsenic	2.3E-9	-1.0				
Cobalt	4.0E-10	-1.0				
Nickel	1.9E-9	-1.0				
Plomb	4.0E-8	-1.0				

Lookup table changes

Vector lookup tables

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration dans l'air extérieur sous forme gazeuse	Cag _e	mg m ⁻³					
Description							
Peut servir à renseigner de manière commune la concentration dans l'air sous forme gazeuse (Cag _e) du module "Vegetaux", la concentration dans l'air extérieur sous forme gazeuse (Cag _e _E) du module (Conc_gaz_air_exterieur) et la concentration dans l'air extérieur sous forme gazeuse attribuable au site (Cag _e _Hb_attrib) du module "Conc_gaz_int_Volasoil"							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined	0.0:0.0	Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined	0.0:0.0						
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans l'air extérieur sous forme gazeuse et particulaire	Cair	mg m ⁻³					
Description							
Peut servir à renseigner la concentration dans l'air (Cair) du module "Vegetaux"							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined	0.0:0.0	Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined	0.0:0.0						
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit
Dépôt total (hors bruit de fond)	D _t	mg m ⁻² s ⁻¹
Description		
A définir si option_depots3 retenue		
Cyclic option		
No		
Interpolation		

Use Input Below

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
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	Plomb						
Predefined	0.0:-1.0						
0.0	-1.0						

4.8. Legumes racines

Legumes racines		Sub-system	
Id	Legumes_racines		
Enabled flag	Yes		
Symbol	Legumes racines		
Description	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. Ce module est paramétré pour des végétaux de type "légumes-racines". 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. 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.		
Object	Input		Sub-system
B _w	B _w	Par expo	
type Polluant	type Polluant	Constantes Reglages	
D _{pt}	Depot _{total} ,Parameter	Par Envir	
Ta	Ta	Par Envir	
S _T	ST	Par Envir	
Cs _{racinaire}	Cs _{attrib}	Sol racinaire	
Object	Output	Sub-system	
Dose _{veg,classe,age}	Dose _{veg,classe,age}	Niveaux Exposition Risque	
Dose _{veg,individu}	Dose _{veg,individu}	Niveaux Exposition Risque	

Interaction Matrix

Input																	1
	Src1	Facteur de transfert lié au dépôt atmosphérique sur les végétaux		Facteur de transfert lié au dépôt de particules minimes en suspension à partir du sol sur les vég.				Facteur de transfert lié au dépôt de l'irrigation par aspersion									2
		Masse de polluant sur les parties consom. des plantes due au dépôt atm. direct								Coef. de transf. par action de la pluie et du vent							3
				Concentration dans la plante récoltée, due au dépôt atmosphérique direct													4
																	5
																	6
																	7
																	8
																	9
																	10
																	11
																	12
																	13
																	14
																	15
																	16
																	17
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	

General variable summary

Scalar general variables

Full Name	Symbol	Unit
type_plante	type plante	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer de quel type est le végétal considéré		
Value	Predefined value	
parties_racinaires		

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cp	definition Cp	
Description		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Legumes_racines.valeur_entree
Arsenic	valeur_calculée	
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	
Plomb	valeur_calculée	Legumes_racines.valeur_entree

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de bioconcentration du sol ou de l'eau du sol vers la plante	Br	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui.Sélectionner le type de facteur de bioconcentration à prendre en compte pour estimer l'impact du prélèvement direct du sol vers les plantes : facteur de bioconcentration sol-plante défini par l'utilisateur (Br_E), facteur de bioconcentration sol-plante défini par une relation empirique (Br_QSAR) ou facteur de bioconcentration eau du sol-plante (Br_prime_QSAR). Relations Br_QSAR et Br_prime_QSAR : applicable uniquement pour les substances organiques. Pas de relation proposée pour définir Br_QSAR pour les parties racinaires et les tubercules. Attention à l'unité. Si Br=Br_QSAR ou Br_E, Br est en kg sec/kg.vegsec. Si Br=Br_prime_QSAR, Br est en m3/kg.vegfrs		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Br_E	
Arsenic	Br_E	
Cobalt	Br_E	
Nickel	Br_E	
Plomb	Br_E	

Full Name	Symbol	Unit
prelevement_direct_sol	prelevement direct sol	

Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante.		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	oui	
Arsenic	oui	
Cobalt	oui	
Nickel	oui	
Plomb	oui	

Parameter summary

Scalar parameters

Full Name				Symbol	Unit
Date de récolte annuelle des végétaux				T _{récolte}	year
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. (Définir une valeur inférieure ou égale à 0,96)					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.55					
Comment					
Vérifié					

Full Name				Symbol	Unit
Date du début du prélèvement sol				T _{dat} prél	year
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui. La valeur doit être inférieure à celle de T _{récolte} .					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.2					
Comment					
Vérifié					

Full Name				Symbol	Unit
Fraction de la quantité consommée et exposée à la contamination du site pour le végétal				f _{veg,exp}	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
0.45		0.25	0.65		
Comment					
Valeur ponctuelle, min et max correspondent respectivement à la population possédant un jardin, à la population générale, à la population agricole					

Full Name				Symbol	Unit
Teneur en matière sèche des végétaux				tsp	kg _{vegsec} kg _{vegfrais} ⁻¹
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.1		0.06	0.13		
Comment					
Validé					

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit				
Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)	Br_E	mg kg _{vegsec} ⁻¹ (mg kg ⁻¹) ⁻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	0.042	-1.0	0.00396	0.0423		
Arsenic	0.0054	-1.0	8.0E-4	0.048	logn(0.012,0.0232,4.6E-4,0.063)	
Cobalt	0.0	-1.0				
Nickel	0.06	-1.0	0.0088	1.3	logn(0.177,0.495,0.0033,1.1)	
Plomb	0.036	-1.0	0.0015	0.4	logn(0.148,0.633,0.0011,0.98)	
Materials	Comment					
2378_Tétrachlorodibenzodioxine						
Arsenic	perc.50 de la distribution : 5,38e-3 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452					
Cobalt						
Nickel	perc.50 de la distribution : 5.95e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452					
Plomb	perc.50 de la distribution : 3.35e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452					

Full Name				Symbol		Unit	
Facteur de décontamination du produit d'origine végétale avant consommation				f _{veg,dec}		unitless	
Description							
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal							
Materials		Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine		1.0					

Arsenic	0.0050 1.0
Cobalt	1.0
Nickel	1.0
Plomb	1.0

Full Name	Symbol	Unit
Masse de ce type de produit d'origine végétale ingérée par jour par la cible humaine	Q_{veg}	$kg_{veg} \text{ frais } d^{-1}$

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal.
Quelle qu'en soit l'origine.

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.015	0.0154				
classe_10	0.0					
classe_2	0.026	0.0265				
classe_3	0.0071	0.00705				
classe_4	0.0070	0.00697				
classe_5	0.0086	0.00855				
classe_6	0.0089	0.00885				
classe_7	0.012	0.0122				
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

General variable changes

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cp	definition Cp	
Description		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Legumes_racines.valeur_entree
Arsenic	valeur_calculée	
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	
Plomb	valeur_calculée	Legumes_racines.valeur_entree

Parameter changes

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit				
Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)	Br_E	mg kg _{vegsec} ⁻¹ (mg kg ⁻¹) ⁻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	0.042	-1.0	0.00396	0.0423		
Arsenic	0.0054	-1.0	8.0E-4	0.048	logn(0.012,0.0232,4.6E-4,0.063)	
Cobalt	0.0	-1.0				
Nickel	0.06	-1.0	0.0088	1.3	logn(0.177,0.495,0.0033,1.1)	
Plomb	0.036	-1.0	0.0015	0.4	logn(0.148,0.633,0.0011,0.98)	
Materials	Comment					
2378_Tétrachlorodibenzodioxine						
Arsenic	perc.50 de la distribution : 5,38e-3 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452					
Cobalt						
Nickel	perc.50 de la distribution : 5.95e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452					
Plomb	perc.50 de la distribution : 3.35e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452					

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du produit d'origine végétale avant consommation	f _{veg,dec}	unitless

Description						
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0					
Arsenic	0.0050	1.0				
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Masse de ce type de produit d'origine végétale ingérée par jour par la cible humaine	Q _{veg}	kg _{veg} frais d ⁻¹

Description						
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal. Quelle qu'en soit l'origine.						
Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.015	0.0154				
classe_10	0.0					
classe_2	0.026	0.0265				
classe_3	0.0071	0.00705				
classe_4	0.0070	0.00697				
classe_5	0.0086	0.00855				
classe_6	0.0089	0.00885				
classe_7	0.012	0.0122				
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

4.9. Legumes feuilles

Legumes feuilles		Sub-system	
Id	Legumes_feuilles		
Enabled flag	Yes		
Symbol	Legumes feuilles		
Description	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. Ce module est paramétré pour des végétaux de type "légumes-feuilles". 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. 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.		
Object	Input		Sub-system
B _w	B _w	Par expo	
Ta	Ta	Par Envir	
type Polluant	type Polluant	Constantes Reglages	
D _{pt}	Depot _{total,Parameter}	Par Envir	
Cs _{racinaire}	Cs _{attrib}	Sol racinaire	
Cag _e	Cag _e	Par Envir	
S _T	ST	Par Envir	
Object	Output	Sub-system	
Dose _{veg,classe,age}	Dose _{veg,classe,age}	Niveaux Exposition Risque	
Dose _{veg,individu}	Dose _{veg,individu}	Niveaux Exposition Risque	

Interaction Matrix

Input																	1
	Src1	Facteur de transfert lié au dépôt atmosphérique sur les végétaux		Facteur de transfert lié au dépôt de particules minérales en suspension à partir du sol sur les vég.				Facteur de transfert lié au dépôt de l'irrigation par aspersion									2
		Masse de polluant sur les parties consom. des plantes due au dépôt atm. direct								Coef. de transf. par action de la pluie et du vent							3
				Concentration dans la plante récoltée, due au dépôt atmosphérique direct													4
										Coef. de transfert par action de la pluie et du vent							5
																	6
																	7
																	8
																	9
																	10
																	11
																	12
																	13
																	14
																	15
																	16
																	17
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	

General variable summary

Scalar general variables

Full Name	Symbol	Unit
modele_interception	modele interception	
Description		
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)		
Value	Predefined value	
oui	Legumes_feuilles.non	

Full Name	Symbol	Unit
type_plante	type plante	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer de quel type est le végétal considéré		
Value	Predefined value	
autres_parties_superieures		

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
absorption_gazeuse	absorption gazeuse	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les végétaux correspondant à la partie foliaire ou autres parties supérieures des plantes en dehors du grain (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
Arsenic	non	Legumes_feuilles.oui
Cobalt	non	
Nickel	non	Legumes_feuilles.oui
Plomb	non	Legumes_feuilles.oui

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cp	definition Cp	
Description		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Legumes_feuilles.valeur_entree

Arsenic	valeur_calculée	
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	
Plomb	valeur_calculée	Legumes_feuilles.valeur_entree

Full Name	Symbol	Unit
definition_depots_atmospheriques	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
Arsenic	option_depots3	
Cobalt	option_depots3	
Nickel	option_depots3	
Plomb	option_depots3	Legumes_feuilles.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
depot_irrigation	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
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Legumes_feuilles.oui

Full Name	Symbol	Unit
depots_indirects_sol	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	non	Legumes_feuilles.non_defini
Arsenic	non	Legumes_feuilles.option_f_part_veg

Cobalt	non	
Nickel	non	Legumes_feuilles.option_f_part_veg
Plomb	non	Legumes_feuilles.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
depots_particulaires_atm	depots particulaires atm	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte le dépôt de particules atmosphériques direct pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les 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	oui	
Arsenic	oui	
Cobalt	oui	
Nickel	oui	
Plomb	oui	

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de bioconcentration du sol ou de l'eau du sol vers la plante	Br	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui. Sélectionner le type de facteur de bioconcentration à prendre en compte pour estimer l'impact du prélèvement direct du sol vers les plantes : facteur de bioconcentration sol-plante défini par l'utilisateur (Br_E), facteur de bioconcentration sol-plante défini par une relation empirique (Br_QSAR) ou facteur de bioconcentration eau du sol-plante (Br_prime_QSAR). Relations Br_QSAR et Br_prime_QSAR : applicable uniquement pour les substances organiques. Pas de relation utilisable pour calculer Br_prime_QSAR des substances avec logKow>4, dans le cas de végétaux de type autres parties supérieures.

Attention à l'unité. Si Br=Br_QSAR ou Br_E, Br est en kg sec/kg.vegsec. Si Br=Br_prime_QSAR, Br est en m3/kg.vegfrs

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Br_E	
Arsenic	Br_E	
Cobalt	Br_E	
Nickel	Br_E	
Plomb	Br_E	

Full Name	Symbol	Unit
prelevement_direct_sol	prelevement direct sol	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante.

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	oui	
Arsenic	oui	

Cobalt	oui
Nickel	oui
Plomb	oui

Parameter summary

Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit			
Date de début de la période d'exposition des végétaux aux dépôts	T _{exp_dep}	year			
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=oui, depots_indirects_sol=option_f_part_veg, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part, depot_irrigation=oui ou absorption_gazeuse=oui. (germination pour le fourrage, l'herbe ou les légumes-feuilles, fructification pour les fruits, légumes-fruits). La valeur doit être inférieure à celle de Trecolte.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.19					
Comment					
Vérifié					

Full Name	Symbol	Unit			
Date de récolte annuelle des végétaux	T _{recolte}	year			
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. (Définir une valeur inférieure ou égale à 0,96)					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.9		0.33	0.9		
Comment					
Vérifié. Valeur minimale pour la salade, valeur par défaut et maximale pour le chou					

Full Name	Symbol	Unit			
Date du début du prélèvement sol	Tdat _{prel}	year			
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui. La valeur doit être inférieure à celle de Trecolte.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.16					
Comment					
Vérifié					

Full Name	Symbol	Unit
Date à partir de laquelle l'organe végétal étudié (consommé) atteint sa taille normale	T_{crois_max}	year
Description		

A définir si modele_interception=oui

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.9					
Comment					
Vérifié					

Full Name	Symbol	Unit
Facteur d'interception maximale par les parties consommables des plantes	I_{max}	unitless
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=oui, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=oui. Valeur de I sur la période où la partie consommable a atteint sa taille normale (entre Tcrois_max et Trecolte)		

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.2		0.1	0.6		
Comment					
Vérifié					

Full Name	Symbol	Unit
Fraction de la quantité consommée et exposée à la contamination du site pour le végétal	$f_{veg,exp}$	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
0.5		0.25	0.65		
Comment					
Valeur ponctuelle, min et max correspondent respectivement à la population possédant un jardin, à la population générale, à la population agricole					

Full Name	Symbol	Unit
Productivité végétale à la récolte	P_r	$kg_{vegsec} m^{-2}$
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=oui, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=oui. Rendement cultural		

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.15		0.05	0.45		
Comment					
Vérifié					

Full Name	Symbol	Unit
Teneur en matière sèche des végétaux	tsp	$kg_{vegsec} kg_{vegfrs}^{-1}$
Description		

A définir si definition_Cp=valeur_calculée.

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.07		0.05	0.1		
Comment					
Validé					

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)	Br _E	mg kg _{vegsec} ⁻¹ (mg kg ⁻¹) ⁻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	0.00455	0.0				
Arsenic	0.023	-1.0	4.8E-4	0.34	logn(0.0938,0.373,8.5E-4,0.62)	
Cobalt	0.0	-1.0				
Nickel	0.027	-1.0	0.0032	0.41	logn(0.0461,0.0631,0.0036,0.2)	
Plomb	0.017	-1.0	3.5E-4	1.4	logn(0.114,0.594,6.1E-4,0.77)	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	
Arsenic	perc.50 de la distribution : 2,28e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Cobalt	
Nickel	perc.50 de la distribution : 2,72e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Plomb	perc.50 de la distribution : 2,17e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du produit d'origine végétale avant consommation	f _{veg,dec}	unitless

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0					
Arsenic	0.0050	1.0				
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de perte par action du vent et de la pluie (voire photodégradation)	λ_w	year ⁻¹

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=ooui, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=ooui

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	25.0		10.0	60.0		
Arsenic	25.0		10.0	60.0		
Cobalt	25.0		10.0	60.0		
Nickel	25.0		10.0	60.0		
Plomb	25.0		10.0	60.0		

Full Name	Symbol	Unit
Masse de ce type de produit d'origine végétale ingérée par jour par la cible humaine	Q_{veg}	kg _{veg} frais d ⁻¹

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal. Quelle qu'en soit l'origine.

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0066	0.0066				
classe_10	0.0					
classe_2	0.022	0.022				
classe_3	0.0076	0.00759				
classe_4	0.01	0.00995				
classe_5	0.012	0.0119				
classe_6	0.012	0.0123				
classe_7	0.024	0.0239				
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

General variable changes

Scalar general variables

Full Name	Symbol	Unit
modele_interception	modele interception	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et (si depots_particulaires_atm=ooui, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=ooui) 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)		
Value	Predefined value	
oui	Legumes_feuilles.non	

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
absorption_gazeuse	absorption gazeuse	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les végétaux correspondant à la partie foliaire ou autres parties supérieures des plantes en dehors du grain (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
Arsenic	non	Legumes_feuilles.oui
Cobalt	non	
Nickel	non	Legumes_feuilles.oui
Plomb	non	Legumes_feuilles.oui

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cp	definition Cp	
Description		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Legumes_feuilles.valeur_entree
Arsenic	valeur_calculée	
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	
Plomb	valeur_calculée	Legumes_feuilles.valeur_entree

Full Name	Symbol	Unit
definition_depots_atmospheriques	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 particuliers sec 2) dépôts gazeux totaux et/ou dépôts particuliers totaux 3) dépôts totaux

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	option_depots3	Legumes_feuilles.non_defini
Arsenic	option_depots3	
Cobalt	option_depots3	
Nickel	option_depots3	
Plomb	option_depots3	Legumes_feuilles.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
depot_irrigation	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
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Legumes_feuilles.oui

Full Name	Symbol	Unit
depots_indirects_sol	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	non	Legumes_feuilles.non_defini
Arsenic	non	Legumes_feuilles.option_f_part_veg
Cobalt	non	
Nickel	non	Legumes_feuilles.option_f_part_veg
Plomb	non	Legumes_feuilles.non_defini

Parameter changes

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)	Br _E	mg kg _{vegsec} ⁻¹ (mg kg ⁻¹) ⁻¹

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée, si prelevement_direct_sol=ooui 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	0.00455	0.0				
Arsenic	0.023	-1.0	4.8E-4	0.34	logn(0.0938,0.373,8.5E-4,0.62)	
Cobalt	0.0	-1.0				
Nickel	0.027	-1.0	0.0032	0.41	logn(0.0461,0.0631,0.0036,0.2)	
Plomb	0.017	-1.0	3.5E-4	1.4	logn(0.114,0.594,6.1E-4,0.77)	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	
Arsenic	perc.50 de la distribution : 2,28e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Cobalt	
Nickel	perc.50 de la distribution : 2,72e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Plomb	perc.50 de la distribution : 2,17e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du produit d'origine végétale avant consommation	f _{veg,dec}	unitless

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0					
Arsenic	0.0050	1.0				
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Masse de ce type de produit d'origine végétale ingérée par jour par la cible humaine	Q _{veg}	kg _{vegfrais} d ⁻¹

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal. Quelle qu'en soit l'origine.

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0066	0.0066				

classe_10	0.0	
classe_2	0.022	0.022
classe_3	0.0076	0.00759
classe_4	0.01	0.00995
classe_5	0.012	0.0119
classe_6	0.012	0.0123
classe_7	0.024	0.0239
classe_8	0.0	
classe_9	0.0	

4.10. Legumes fruits

Legumes fruits		Sub-system	
Id	Legumes_fruits		
Enabled flag	Yes		
Symbol	Legumes fruits		
Description	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. Ce module est paramétré pour des végétaux de type "légumes-fruits". 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. 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.		
Object	Input		Sub-system
D _{pt}	Depot _{total,Parameter}	Par Envir	
Cag _e	Cag _e	Par Envir	
Cs _{racinaire}	Cs _{attrib}	Sol racinaire	
Ta	Ta	Par Envir	
B _w	B _w	Par expo	
S _T	ST	Par Envir	
type Polluant	type Polluant	Constantes Reglages	
Object	Output	Sub-system	
Dose _{veg,classe,age}	Dose _{veg,classe,age}	Niveaux Exposition Risque	
Dose _{veg,individu}	Dose _{veg,individu}	Niveaux Exposition Risque	

Interaction Matrix

Input																	1
	Src1	Facteur de transfert lié au dépôt atmosphérique sur les végétaux		Facteur de transfert lié au dépôt de particules minimes en suspension à partir du sol sur les vég.				Facteur de transfert lié au dépôt de l'irrigation par aspersion									2
		Masse de polluant sur les parties consom. des plantes due au dépôt atm. direct								Coef. de transf. par action de la pluie et du vent							3
				Concentration dans la plante récoltée, due au dépôt atmosphérique direct													4
																	5
																	6
																	7
																	8
																	9
																	10
																	11
																	12
																	13
																	14
																	15
																	16
																	17
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	

General variable summary

Scalar general variables

Full Name	Symbol	Unit
modele_interception	modele interception	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et (si depots_particulaires_atm=ooui, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=ooui) 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)		
Value	Predefined value	
oui	Legumes_fruits.non	

Full Name	Symbol	Unit
type_plante	type plante	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer de quel type est le végétal considéré		
Value	Predefined value	
autres_parties_superieures		

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
absorption_gazeuse	absorption gazeuse	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les végétaux correspondant à la partie foliaire ou autres parties supérieures des plantes en dehors du grain (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
Arsenic	non	Legumes_fruits.oui
Cobalt	non	
Nickel	non	Legumes_fruits.oui
Plomb	non	Legumes_fruits.oui

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cp	definition Cp	
Description		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Legumes_fruits.valeur_entree

Arsenic	valeur_calculée	
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	
Plomb	valeur_calculée	Legumes_fruits.valeur_entree

Full Name	Symbol	Unit
definition_depots_atmospheriques	definition depots atmospheriques	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=oüi. 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 particuliers sec 2) dépôts gazeux totaux et/ou dépôts particuliers totaux 3) dépôts totaux

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	option_depots3	Legumes_fruits.non_defini
Arsenic	option_depots3	
Cobalt	option_depots3	
Nickel	option_depots3	
Plomb	option_depots3	Legumes_fruits.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
depot_irrigation	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
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Legumes_fruits.oui

Full Name	Symbol	Unit
depots_indirects_sol	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 adhérant 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	non	Legumes_fruits.non_defini
Arsenic	non	

Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Legumes_fruits.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
depots_particulaires_atm	depots particulaires atm	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte le dépôt de particules atmosphériques direct pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les 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	oui	Legumes_fruits.oui
Arsenic	oui	
Cobalt	oui	
Nickel	oui	
Plomb	oui	

Full Name	Symbol	Unit

[Facteur de bioconcentration du sol ou de l'eau du sol vers la plante](#) Br

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui. Sélectionner le type de facteur de bioconcentration à prendre en compte pour estimer l'impact du prélèvement direct du sol vers les plantes : facteur de bioconcentration sol-plante défini par l'utilisateur (Br_E), facteur de bioconcentration sol-plante défini par une relation empirique (Br_QSAR) ou facteur de bioconcentration eau du sol-plante (Br_prime_QSAR). Relations Br_QSAR et Br_prime_QSAR : applicable uniquement pour les substances organiques. Pas de relation utilisable pour calculer Br_prime_QSAR des substances avec logKow>4, dans le cas de végétaux de type autres parties supérieures.

Attention à l'unité. Si Br=Br_QSAR ou Br_E, Br est en kg sec/kg.vegsec. Si Br=Br_prime_QSAR, Br est en m3/kg.veg frais

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Br_E	
Arsenic	Br_E	
Cobalt	Br_E	
Nickel	Br_E	
Plomb	Br_E	

Full Name	Symbol	Unit
prelevement_direct_sol	prelevement direct sol	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante.

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	oui	
Arsenic	oui	

Cobalt	oui
Nickel	oui
Plomb	oui

Parameter summary

Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit			
Date de début de la période d'exposition des végétaux aux dépôts	T _{exp_dep}	year			
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=oui, depots_indirects_sol=option_f_part_veg, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part, depot_irrigation=oui ou absorption_gazeuse=oui. (germination pour le fourrage, l'herbe ou les légumes-feuilles, fructification pour les fruits, légumes-fruits). La valeur doit être inférieure à celle de Trecolte.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.5					
Comment					
Vérifié					

Full Name	Symbol	Unit			
Date de récolte annuelle des végétaux	T _{recolte}	year			
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. (Définir une valeur inférieure ou égale à 0,96)					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.6					
Comment					
Vérifié					

Full Name	Symbol	Unit			
Date du début du prélèvement sol	Tdat _{prel}	year			
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui. La valeur doit être inférieure à celle de Trecolte.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.4					
Comment					
Vérifié					

Full Name				Symbol	Unit
Date à partir de laquelle l'organe végétal étudié (consommé) atteint sa taille normale				T	year
				crois_max	
Description					
A définir si modele_interception=oui					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined

0.55

Comment

Vérifié

Full Name

Symbol

Unit

Facteur d'interception maximale par les parties consommables des plantes

I_{max}

unitless

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=oûi, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=oûi. Valeur de I sur la période où la partie consommable a atteint sa taille normale (entre Tcrois_max et Trecolte)

Value

Predefined

Min value

Max value

PDF

Predefined

0.15

0.05

0.25

Comment

Vérifié

Full Name

Symbol

Unit

Fraction de la quantité consommée et exposée à la contamination du site pour le végétal

$f_{veg,exp}$

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

0.55

0.25

0.65

Comment

Valeur ponctuelle, min et max correspondent respectivement à la population possédant un jardin, à la population générale, à la population agricole

Full Name

Symbol

Unit

Productivité végétale à la récolte

P_r

$kg_{vegsec} m^{-2}$

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=oûi, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=oûi.

Rendement cultural

Value

Predefined

Min value

Max value

PDF

Predefined

0.3

0.1

0.5

Comment

Vérifié

Full Name

Symbol

Unit

Teneur en matière sèche des végétaux

tsp

$kg_{vegsec} kg_{vegrais}^{-1}$

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée.

Value

Predefined

Min value

Max value

PDF

Predefined

0.07 0.04 0.11

Comment

Validé

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)	Br _E	mg kg _{vegsec} ⁻¹ (mg kg ⁻¹) ⁻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	0.267	-1.0	0.0	0.267		
Arsenic	0.014	-1.0	1.2E-4	0.82	logn(0.301,6.56,1.1E-4,1.8)	
Cobalt	0.0	-1.0				
Nickel	0.13	-1.0	0.015	1.0	logn(0.321,0.732,0.0092,1.8)	
Plomb	0.013	-1.0	4.7E-4	1.8	logn(0.306,3.6,3.3E-4,2.0)	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	la valeur Min correspond à la valeur minimale pour les légumes-fruits en général (hors Cucurbita), la valeur Max correspond à la valeur maximale pour les légumes du genre Cucurbita (cf. référence pour plus d'informations)
Arsenic	perc.50 de la distribution : 1,38e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Cobalt	
Nickel	perc.50 de la distribution : 1,29e-1 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Plomb	perc.50 de la distribution : 2,60e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du produit d'origine végétale avant consommation	f _{veg,dec}	unitless

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0					
Arsenic	0.1	1.0				
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					

Full Name					Symbol	Unit
Facteur de perte par action du vent et de la pluie (voire photodégradation)					λ_w	year ⁻¹
Description						
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=où, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=où						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	25.0		10.0	60.0		
Arsenic	25.0		10.0	60.0		
Cobalt	25.0		10.0	60.0		
Nickel	25.0		10.0	60.0		
Plomb	25.0		10.0	60.0		

Full Name					Symbol	Unit
Masse de ce type de produit d'origine végétale ingérée par jour par la cible humaine					Q_{veg}	kg _{veg} frais d ⁻¹
Description						
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal. Quelle qu'en soit l'origine.						
Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.011	0.0106				
classe_10	0.0					
classe_2	0.04	0.0405				
classe_3	0.066	0.0665				
classe_4	0.064	0.0642				
classe_5	0.07	0.07				
classe_6	0.072	0.0724				
classe_7	0.11	0.113				
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

General variable changes

Scalar general variables

Full Name	Symbol	Unit
modele_interception	modele interception	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et (si depots_particulaires_atm=ooui, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=ooui) 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)		
Value	Predefined value	
oui	Legumes_fruits.non	

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
absorption_gazeuse	absorption gazeuse	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les végétaux correspondant à la partie foliaire ou autres parties supérieures des plantes en dehors du grain (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
Arsenic	non	Legumes_fruits.oui
Cobalt	non	
Nickel	non	Legumes_fruits.oui
Plomb	non	Legumes_fruits.oui

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cp	definition Cp	
Description		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Legumes_fruits.valeur_entree
Arsenic	valeur_calculée	
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	
Plomb	valeur_calculée	Legumes_fruits.valeur_entree

Full Name	Symbol	Unit
definition_depots_atmospheriques	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 particuliers sec 2) dépôts gazeux totaux et/ou dépôts particuliers totaux 3) dépôts totaux		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	option_depots3	Legumes_fruits.non_defini
Arsenic	option_depots3	
Cobalt	option_depots3	
Nickel	option_depots3	
Plomb	option_depots3	Legumes_fruits.non_defini
Full Name	Symbol	Unit
depot_irrigation	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
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Legumes_fruits.oui
Full Name	Symbol	Unit
depots_indirects_sol	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 adhérant 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	non	Legumes_fruits.non_defini
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Legumes_fruits.non_defini
Full Name	Symbol	Unit
depots_particulaires_atm	depots particuliers atm	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte le dépôt de particules atmosphériques		

direct pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les 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	oui	Legumes_fruits.oui
Arsenic	oui	
Cobalt	oui	
Nickel	oui	
Plomb	oui	

Parameter changes

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)	Br_E	mg kg _{vegsec} ⁻¹ (mg kg ⁻¹) ⁻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	0.267	-1.0	0.0	0.267		
Arsenic	0.014	-1.0	1.2E-4	0.82	logn(0.301,6.56,1.1E-4,1.8)	
Cobalt	0.0	-1.0				
Nickel	0.13	-1.0	0.015	1.0	logn(0.321,0.732,0.0092,1.8)	
Plomb	0.013	-1.0	4.7E-4	1.8	logn(0.306,3.6,3.3E-4,2.0)	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	la valeur Min correspond à la valeur minimale pour les légumes-fruits en général (hors Cucurbita), la valeur Max correspond à la valeur maximale pour les légumes du genre Cucurbita (cf. référence pour plus d'informations)
Arsenic	perc.50 de la distribution : 1,38e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Cobalt	
Nickel	perc.50 de la distribution : 1,29e-1 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Plomb	perc.50 de la distribution : 2,60e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du produit d'origine végétale avant consommation	f _{veg,dec}	unitless

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal

Materials	Value	Predefined	Min	Max	PDF	Predefined

	value	value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0	
Arsenic	0.1	1.0
Cobalt	1.0	
Nickel	1.0	
Plomb	1.0	

Full Name	Symbol	Unit
Masse de ce type de produit d'origine végétale ingérée par jour par la cible humaine	Q_{veg}	$kg_{veg} \text{ frais } d^{-1}$

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal.
Quelle qu'en soit l'origine.

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.011	0.0106				
classe_10	0.0					
classe_2	0.04	0.0405				
classe_3	0.066	0.0665				
classe_4	0.064	0.0642				
classe_5	0.07	0.07				
classe_6	0.072	0.0724				
classe_7	0.11	0.113				
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

4.11. Fruits

Fruits		Sub-system	
Id	Fruits		
Enabled flag	Yes		
Symbol	Fruits		
Description	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. Ce module est paramétré pour des végétaux de type "fruits". 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. 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.		
Object	Input		Sub-system
S _T	ST	Par Envir	
B _w	B _w	Par expo	
type Polluant	type Polluant	Constantes Reglages	
Cs _{racinaire}	Cs _{attrib}	Sol racinaire	
Ta	Ta	Par Envir	
Cag _e	Cag _{e,Parameter}	Par Envir	
D _{pt}	Depot _{total,Parameter}	Par Envir	
Cair	Cair _{Parameter}	Par Envir	
Object	Output	Sub-system	
Dose _{veg,classe,age}	Dose _{veg,classe,age}	Niveaux Exposition Risque	
Dose _{veg,individu}	Dose _{veg,individu}	Niveaux Exposition Risque	

Interaction Matrix

Input																	1
	Src1	Facteur de transfert lié au dépôt atmosphérique sur les végétaux		Facteur de transfert lié au dépôt de particules minimes en suspension à partir du sol sur les vég.				Facteur de transfert lié au dépôt de l'irrigation par aspersion									2
		Masse de polluant sur les parties consom. des plantes due au dépôt atm. direct								Coef. de transf. par action de la pluie et du vent							3
				Concentration dans la plante récoltée, due au dépôt atmosphérique direct													4
										Coef. de transfert par action de la pluie et du vent							5
																	6
																	7
																	8
																	9
																	10
																	11
																	12
																	13
																	14
																	15
																	16
																	17
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	

General variable summary

Scalar general variables

Full Name	Symbol	Unit
modele_interception	modele interception	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et (si depots_particulaires_atm=ooui, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=ooui) 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)		
Value	Predefined value	
oui	Fruits.non	

Full Name	Symbol	Unit
type_plante	type plante	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer de quel type est le végétal considéré		
Value	Predefined value	
autres_parties_superieures		

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
absorption_gazeuse	absorption gazeuse	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les végétaux correspondant à la partie foliaire ou autres parties supérieures des plantes en dehors du grain (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
Arsenic	non	Fruits.oui
Cobalt	non	
Nickel	non	Fruits.oui
Plomb	non	Fruits.oui

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cp	definition Cp	
Description		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Fruits.valeur_entree

Arsenic	valeur_calculée	
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	
Plomb	valeur_calculée	Fruits.valeur_entree

Full Name	Symbol	Unit
definition_depots_atmospheriques	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
Arsenic	option_depots3	
Cobalt	option_depots3	
Nickel	option_depots3	
Plomb	option_depots3	Fruits.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
depot_irrigation	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
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Fruits.oui

Full Name	Symbol	Unit
depots_indirects_sol	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	non	Fruits.non_defini
Arsenic	non	

Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Fruits.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
depots_particulaires_atm	depots particulaires atm	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte le dépôt de particules atmosphériques direct pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les 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	oui	
Arsenic	oui	
Cobalt	oui	
Nickel	oui	
Plomb	oui	

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de bioconcentration du sol ou de l'eau du sol vers la plante	Br	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui. Sélectionner le type de facteur de bioconcentration à prendre en compte pour estimer l'impact du prélèvement direct du sol vers les plantes : facteur de bioconcentration sol-plante défini par l'utilisateur (Br_E), facteur de bioconcentration sol-plante défini par une relation empirique (Br_QSAR) ou facteur de bioconcentration eau du sol-plante (Br_prime_QSAR). Relations Br_QSAR et Br_prime_QSAR : applicable uniquement pour les substances organiques. Pas de relation utilisable pour calculer Br_prime_QSAR des substances avec logKow>4, dans le cas de végétaux de type autres parties supérieures.

Attention à l'unité. Si Br=Br_QSAR ou Br_E, Br est en kg sec/kg.vegsec. Si Br=Br_prime_QSAR, Br est en m3/kg.veg frais

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Br_E	
Arsenic	Br_E	
Cobalt	Br_E	
Nickel	Br_E	
Plomb	Br_E	

Full Name	Symbol	Unit
prelevement_direct_sol	prelevement direct sol	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante.

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	oui	
Arsenic	oui	

Cobalt	oui
Nickel	oui
Plomb	oui

Parameter summary

Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit			
Date de début de la période d'exposition des végétaux aux dépôts	T _{exp_dep}	year			
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=oui, depots_indirects_sol=option_f_part_veg, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part, depot_irrigation=oui ou absorption_gazeuse=oui. (germination pour le fourrage, l'herbe ou les légumes-feuilles, fructification pour les fruits, légumes-fruits). La valeur doit être inférieure à celle de Trecolte.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.5					
Comment					
Vérifié. Cas de la pomme : nouaison					

Full Name	Symbol	Unit			
Date de récolte annuelle des végétaux	T _{recolte}	year			
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. (Définir une valeur inférieure ou égale à 0,96)					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.75					
Comment					
Vérifié. Cas de la pomme					

Full Name	Symbol	Unit			
Date du début du prélèvement sol	Tdat _{prel}	year			
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui. La valeur doit être inférieure à celle de Trecolte.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.33					
Comment					
Vérifié. Cas de la pomme : formation des feuilles					

Full Name				Symbol	Unit
Date à partir de laquelle l'organe végétal étudié (consommé) atteint sa taille normale				T	year
				crois_max	
Description					
A définir si modele_interception=oui					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined

Comment

Vérifié. Cas de la pomme

Full Name				Symbol	Unit
Facteur d'interception maximale par les parties consommables des plantes				I _{max}	unitless
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=où, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=où. Valeur de I sur la période où la partie consommable a atteint sa taille normale (entre Tcrois_max et Trecolte)					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.1		0.05	0.15		
Comment					
Vérifié					

Full Name				Symbol	Unit
Fraction de la quantité consommée et exposée à la contamination du site pour le végétal				$f_{veg,exp}$	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
0.2		0.1	0.3		
Comment					
Valeur ponctuelle, min et max correspondent respectivement à la population possédant un jardin, à la population générale, à la population agricole					

Full Name				Symbol	Unit
Productivité végétale à la récolte				P _r	kg _{vegsec} m ⁻²
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=où, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=où. Rendement cultural					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.55		0.15	0.75		
Comment					
Vérifié					

Full Name				Symbol	Unit
Teneur en matière sèche des végétaux				tsp	kg _{vegsec} kg _{vegfrais} ⁻¹
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined

0.15 0.1 0.2

Comment

Validé

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)	Br _E	mg kg _{vegsec} ⁻¹ (mg kg ⁻¹) ⁻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	0.0408	-1.0	0.0	0.0408		
Arsenic	0.014	-1.0	1.2E-4	0.82	logn(0.301,6.56,1.1E-4,1.8)	
Cobalt	0.0	-1.0				
Nickel	0.13	-1.0	0.015	1.0	logn(0.321,0.732,0.0092,1.8)	
Plomb	0.013	-1.0	4.7E-4	1.8	logn(0.306,3.6,3.3E-4,2.0)	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	
Arsenic	perc.50 de la distribution : 1,38e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Cobalt	
Nickel	perc.50 de la distribution : 1,29e-1 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Plomb	perc.50 de la distribution : 2,60e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du produit d'origine végétale avant consommation	f _{veg,dec}	unitless

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0					
Arsenic	0.1	1.0				
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					

Full Name	Symbol	Unit

Facteur de perte par action du vent et de la pluie (voire photodégradation)

$$\lambda_w$$

$$\text{year}^{-1}$$

Description						
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=ooui, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=ooui						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	25.0		10.0	60.0		
Arsenic	25.0		10.0	60.0		
Cobalt	25.0		10.0	60.0		
Nickel	25.0		10.0	60.0		
Plomb	25.0		10.0	60.0		

Full Name	Symbol	Unit
Masse de ce type de produit d'origine végétale ingérée par jour par la cible humaine	Q_{veg}	$\text{kg}_{veg} \text{ frais } d^{-1}$

Description						
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal. Quelle qu'en soit l'origine.						
Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.016	0.0161				
classe_10	0.0					
classe_2	0.053	0.0527				
classe_3	0.09	0.0897				
classe_4	0.09	0.0897				
classe_5	0.083	0.0832				
classe_6	0.082	0.0821				
classe_7	0.16	0.16				
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

General variable changes

Scalar general variables

Full Name	Symbol	Unit
modele_interception	modele interception	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et (si depots_particulaires_atm=ooui, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=ooui) 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)		
Value	Predefined value	
oui	Fruits.non	

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
absorption_gazeuse	absorption gazeuse	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les végétaux correspondant à la partie foliaire ou autres parties supérieures des plantes en dehors du grain (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
Arsenic	non	Fruits.oui
Cobalt	non	
Nickel	non	Fruits.oui
Plomb	non	Fruits.oui

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cp	definition Cp	
Description		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Fruits.valeur_entree
Arsenic	valeur_calculée	
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	
Plomb	valeur_calculée	Fruits.valeur_entree

Full Name	Symbol	Unit
definition_depots_atmospheriques	definition depots atmospheriques	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=oûi. 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 particuliers sec 2) dépôts gazeux totaux et/ou dépôts particuliers totaux 3) dépôts totaux

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	option_depots3	Fruits.non_defini
Arsenic	option_depots3	
Cobalt	option_depots3	
Nickel	option_depots3	
Plomb	option_depots3	Fruits.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
depot_irrigation	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
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Fruits.oui

Full Name	Symbol	Unit
depots_indirects_sol	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 adhérant 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	non	Fruits.non_defini
Arsenic	non	
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Fruits.non_defini

Parameter changes

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)	Br _E	mg kg _{vegsec} ⁻¹ (mg kg ⁻¹) ⁻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	0.0408	-1.0	0.0	0.0408		
Arsenic	0.014	-1.0	1.2E-4	0.82	logn(0.301,6.56,1.1E-4,1.8)	
Cobalt	0.0	-1.0				
Nickel	0.13	-1.0	0.015	1.0	logn(0.321,0.732,0.0092,1.8)	
Plomb	0.013	-1.0	4.7E-4	1.8	logn(0.306,3.6,3.3E-4,2.0)	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	
Arsenic	perc.50 de la distribution : 1,38e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Cobalt	
Nickel	perc.50 de la distribution : 1,29e-1 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Plomb	perc.50 de la distribution : 2,60e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du produit d'origine végétale avant consommation	f _{veg,dec}	unitless

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0					
Arsenic	0.1	1.0				
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Masse de ce type de produit d'origine végétale ingérée par jour par la cible humaine	Q _{veg}	kg _{vegfrais} d ⁻¹

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal. Quelle qu'en soit l'origine.

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.016	0.0161				

classe_10	0.0	
classe_2	0.053	0.0527
classe_3	0.09	0.0897
classe_4	0.09	0.0897
classe_5	0.083	0.0832
classe_6	0.082	0.0821
classe_7	0.16	0.16
classe_8	0.0	
classe_9	0.0	

4.12. Tubercules

Tubercules		Sub-system	
Id	Tubercules		
Enabled flag	Yes		
Symbol	Tubercules		
Description	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. Ce module est paramétré pour des végétaux de type "tubercule". 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. 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.		
Object	Input		Sub-system
type Polluant	type Polluant	Constantes Reglages	
B _w	B _w	Par expo	
Cs _{racinaire}	Cs _{attrib}	Sol racinaire	
Object	Output	Sub-system	
Dose _{veg,classe,age}	Dose _{veg,classe,age}	Niveaux Exposition Risque	
Dose _{veg,individu}	Dose _{veg,individu}	Niveaux Exposition Risque	

Interaction Matrix

Input																	1
	Src1	Facteur de transfert lié au dépôt atmosphérique sur les végétaux		Facteur de transfert lié au dépôt de particules minimes en suspension à partir du sol sur les vég.				Facteur de transfert lié au dépôt de l'irrigation par aspersion									2
		Masse de polluant sur les parties consom. des plantes due au dépôt atm. direct								Coef. de transf. par action de la pluie et du vent							3
				Concentration dans la plante récoltée, due au dépôt atmosphérique direct													4
																	5
																	6
																	7
																	8
																	9
																	10
																	11
																	12
																	13
																	14
																	15
																	16
																	17
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	

General variable summary

Scalar general variables

Full Name	Symbol	Unit
type_plante	type plante	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer de quel type est le végétal considéré		
Value	Predefined value	
tubercules		

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cp	definition Cp	
Description		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Tubercules.valeur_entree
Arsenic	valeur_calculée	
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	
Plomb	valeur_calculée	Tubercules.valeur_entree

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de bioconcentration du sol ou de l'eau du sol vers la plante	Br	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui.Sélectionner le type de facteur de bioconcentration à prendre en compte pour estimer l'impact du prélèvement direct du sol vers les plantes : facteur de bioconcentration sol-plante défini par l'utilisateur (Br_E), facteur de bioconcentration sol-plante défini par une relation empirique (Br_QSAR) ou facteur de bioconcentration eau du sol-plante (Br_prime_QSAR). Relations Br_QSAR et Br_prime_QSAR : applicable uniquement pour les substances organiques.Pas de relation proposée pour définir Br_QSAR pour les tubercules. Attention à l'unité. Si Br=Br_QSAR ou Br_E, Br est en kg sec/kg.vegsec. Si Br=Br_prime_QSAR, Br est en m3/kg.vegfrs		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Br_E	Tubercules.Br_E
Arsenic	Br_E	
Cobalt	Br_E	
Nickel	Br_E	
Plomb	Br_E	

Full Name	Symbol	Unit
prelevement_direct_sol	prelevement direct sol	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette		

catégorie de plante.

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	oui	
Arsenic	oui	
Cobalt	oui	
Nickel	oui	
Plomb	oui	

Parameter summary

Scalar parameters

Full Name				Symbol	Unit
Date de récolte annuelle des végétaux				T _{récolte}	year
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. (Définir une valeur inférieure ou égale à 0,96)					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.63		0.49	0.75		
Comment					
Vérifié					

Full Name	Symbol	Unit
Date du début du prélèvement sol	T _{dat}	year
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui. La valeur doit être inférieure à celle de T _{récolte} .		
0.25		
Comment		
Vérifié		

Full Name				Symbol	Unit
Fraction de la quantité consommée et exposée à la contamination du site pour le végétal				f	unitless
				veg,exp	
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
0.45		0.25	0.75		
Comment					
Valeur ponctuelle, min et max correspondent respectivement à la population possédant un jardin, à la population générale, à la population agricole					

Full Name	Symbol	Unit

Teneur en matière sèche des végétaux

tsp kg vegsec kg vegfrais
-1

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée.

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.23					
Comment					
Validé					

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)	Br _E	mg kg ⁻¹ vegsec (mg kg ⁻¹) -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	0.023	0.0087	0.0111	0.0227		
Arsenic	0.0013	-1.0	8.6E-4	0.0055	logn(0.00152,8.51E-4,4.8E-4,0.0037)	
Cobalt	0.0	-1.0				
Nickel	0.04	-1.0	0.0086	0.73	logn(0.12,0.338,0.0022,0.73)	
Plomb	0.024	-1.0	6.0E-4	0.21	logn(0.0346,0.113,4.7E-4,0.22)	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	
Arsenic	perc.50 de la distribution : 1,33e-3 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Cobalt	
Nickel	perc.50 de la distribution : 4,04e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Plomb	perc.50 de la distribution : 1,02e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du produit d'origine végétale avant consommation	f _{veg,dec}	unitless

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0					

Arsenic	0.0050 1.0
Cobalt	1.0
Nickel	1.0
Plomb	1.0

Full Name	Symbol	Unit
Masse de ce type de produit d'origine végétale ingérée par jour par la cible humaine	Q_{veg}	kg _{veg} frais ^d -1

Description
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal. Quelle qu'en soit l'origine.

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0184					
classe_10	0.0					
classe_2	0.0519					
classe_3	0.0461					
classe_4	0.0461					
classe_5	0.0583					
classe_6	0.06					
classe_7	0.0583					
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

General variable changes

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cp	definition Cp	
Description		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Tubercules.valeur_entree
Arsenic	valeur_calculée	
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	
Plomb	valeur_calculée	Tubercules.valeur_entree

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de bioconcentration du sol ou de l'eau du sol vers la plante	Br	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui.Sélectionner le type de facteur de bioconcentration à prendre en compte pour estimer l'impact du prélèvement direct du sol vers les plantes : facteur de bioconcentration sol-plante défini par l'utilisateur (Br_E), facteur de bioconcentration sol-plante défini par une relation empirique (Br_QSAR) ou facteur de bioconcentration eau du sol-plante (Br_prime_QSAR). Relations Br_QSAR et Br_prime_QSAR : applicable uniquement pour les substances organiques.Pas de relation proposée pour définir Br_QSAR pour les tubercules. Attention à l'unité. Si Br=Br_QSAR ou Br_E, Br est en kg sec/kg.vegsec. Si Br=Br_prime_QSAR, Br est en m3/kg.vegfraies		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Br_E	Tubercules.Br_E
Arsenic	Br_E	
Cobalt	Br_E	
Nickel	Br_E	
Plomb	Br_E	

Parameter changes

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit				
Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)	Br_E	mg kg _{vegsec} ⁻¹ (mg kg ⁻¹) -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	0.023	0.0087	0.0111	0.0227		
Arsenic	0.0013	-1.0	8.6E-4	0.0055	logn(0.00152,8.51E-4,4.8E-4,0.0037)	

Cobalt	0.0	-1.0			
Nickel	0.04	-1.0	0.0086	0.73	logn(0.12,0.338,0.0022,0.73)
Plomb	0.024	-1.0	6.0E-4	0.21	logn(0.0346,0.113,4.7E-4,0.22)
Materials	Comment				
2378_Tétrachlorodibenzodioxine					
Arsenic	perc.50 de la distribution : 1,33e-3 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452				
Cobalt					
Nickel	perc.50 de la distribution : 4,04e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452				
Plomb	perc.50 de la distribution : 1,02e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452				

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du produit d'origine végétale avant consommation	$f_{veg,dec}$	unitless
Description		
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal		
Materials	Value	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0	
Arsenic	0.0050	1.0
Cobalt	1.0	
Nickel	1.0	
Plomb	1.0	

4.13. Vache

Vache		Sub-system	
Id	Vache		
Enabled flag	Yes		
Symbol	Vache		
Description	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 : lait ou matières grasses de ce produit). Ce module est paramétré pour une vache. Les concentrations peuvent être calculées à l'état stationnaire ou avec une approche dynamique. 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 . 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, les concentrations dans les tissus animaux sont estimées pour un animal en fin de vie (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. 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). 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.		
Object	Input		Sub-system
Cp ₁	Cp	Fourrage	
Cs ₁	Cs _{attrib}	Sol superficiel	
B _w	B _w	Par expo	
Object	Output	Sub-system	
Dose _{anim2,individu}	Dose _{anim2,individu}	Niveaux Exposition Risque	
Dose _{anim1,individu}	Dose _{anim1,individu}	Niveaux Exposition Risque	
Dose _{anim2,classe,age}	Dose _{anim2,classe,age}	Niveaux Exposition Risque	
Dose _{anim1,classe,age}	Dose _{anim1,classe,age}	Niveaux Exposition Risque	

Interaction Matrix

Input1																1
	Src1			Dose d'exposition interne de l'animal												2
		Quantité de polluant totale ingérée par l'animal														3
			Quantité de polluant ingérée par l'animal en moyenne annuelle													4
				m anim 1 interne				Coef de transf. par dégrad et élimination (autre que par le lait et les oeufs) Coef. de transf. vers le lait ou les oeufs								5
					Masse de polluant dans l'organisme animal au temps t											6
						Concentration dans le tissu 1										7
							Concentration dans le tissu 2									8
								Sink1								9
									Concentration dans le tissu 1 en moyenne annuelle							10
										Concentration dans le tissu 2 en moyenne annuelle						11
											Dose d'exposition liée à l'ingestion de tissu 1					12
												Dose d'exposition liée à l'ingestion de tissu 2				13
													Dose d'exposition liée à l'ingestion de tissu 1 pour un individu			14
														Dose d'exposition liée à l'ingestion de tissu 2 pour un individu		15
															Output1	16
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	

General variable summary

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
definition_Canim1	definition Canim1	

Description

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

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	approche_stationnaire	Vache.aucun
Arsenic	approche_stationnaire	Vache.aucun
Cobalt	approche_stationnaire	
Nickel	approche_stationnaire	
Plomb	approche_stationnaire	Vache.aucun

Full Name	Symbol	Unit
definition_Canim2	definition Canim2	

Description

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

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	approche_stationnaire	Vache.aucun
Arsenic	approche_stationnaire	Vache.aucun
Cobalt	approche_stationnaire	
Nickel	approche_stationnaire	
Plomb	approche_stationnaire	Vache.aucun

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	Vache.valeur_entree_BCFanim
Arsenic	valeur_entree_BTanim	
Cobalt	valeur_entree_BTanim	Vache.non_defini
Nickel	valeur_entree_BTanim	Vache.valeur_entree_BCFanim
Plomb	valeur_entree_BTanim	

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	Vache.valeur_entree_BCFanim
Arsenic	valeur_entree_BTanim	
Cobalt	valeur_entree_BTanim	Vache.non_defini
Nickel	valeur_entree_BTanim	
Plomb	valeur_entree_BTanim	

Full Name	Symbol	Unit
type_expr_Canim	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	Vache.poids_mat_grasse
Arsenic	poids_frais	
Cobalt	poids_frais	Vache.non_defini
Nickel	poids_frais	
Plomb	poids_frais	

Parameter summary

Scalar parameters

Full Name				Symbol	Unit
Fraction consommée pour le tissu 1, exposée à la contamination du site				f _{anim1,exp}	
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
0.35	1.0	0.03	0.35		
Comment					
Valeurs se rapportant à la matière fraîche. La valeur minimale se rapportant à la matière grasse est égale à 0,04 (valeur max inchangée). Les valeurs min et max se rapportent respectivement à la population générale et à la population agricole.					

Full Name				Symbol	Unit
Fraction consommée pour le tissu 2, exposée à la contamination du site				$f_{\text{anim2,exp}}$	
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
0.3	1.0	0.04	0.3		
Comment					
Valeurs relatives au poids frais de produits. Les valeurs min relatives au poids de mat. grasse sont égales à 0,02 (min) et 0,10 (max). Valeurs min relatives à la population générale, valeurs max relatives à la population agricole					

Full Name				Symbol	Unit
Quantité d'eau 1 ingérée par l'animal				$Q_{\text{a,eau},1}$	l d^{-1}
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau de concentration Ce_1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
75.0		25.0	135.0		
Comment					
Validé.					

Full Name				Symbol	Unit
Quantité d'eau 2 ingérée par l'animal				$Q_{\text{a,eau},2}$	l d^{-1}
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau de concentration Ce_2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Full Name				Symbol	Unit
Quantité d'eau 3 ingérée par l'animal				$Q_{\text{a,eau},3}$	l d^{-1}
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau de concentration Ce_3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Full Name				Symbol	Unit
Quantité de sol 1 ingérée par l'animal				$Q_{\text{a,sol},1}$	kg d^{-1}
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du sol de concentration Cs_1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.5		0.4	1.0		
Comment					
Validé.					

Full Name	Symbol	Unit
Quantité de sol 2 ingérée par l'animal	$Q_{a,sol,2}$	kg d ⁻¹
Description		

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du sol de concentration Cs_2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Full Name	Symbol	Unit
Quantité de sol 3 ingérée par l'animal	$Q_{a,sol,3}$	kg d ⁻¹
Description		

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du sol de concentration Cs_3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Full Name	Symbol	Unit
Quantité de végétal 1 ingérée par l'animal	$Q_{a,veg,1}$	kg _{sec} d ⁻¹
Description		

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal de concentration Cp_1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree.

Remarque : la valeur proposée par défaut correspond à la quantité d'herbes consommées par une vache en production (voir Qa_veg2 et Qa_veg3)

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
7.8					
Comment					
Validé. Quantité d'herbe - intervalle de variation : voir référence					

Full Name	Symbol	Unit
Quantité de végétal 2 ingérée par l'animal	$Q_{a,veg,2}$	kg _{sec} d ⁻¹
Description		

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal de concentration Cp_2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree.

Remarque : la valeur proposée par défaut correspond à la quantité de foin et d'ensilage consommé par une vache en production

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
5.2					

Comment
Validé. Quantité de foin et ensilage - intervalle de variation : voir référence

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 de concentration Cp_3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree.

Remarque : la valeur proposée par défaut correspond à la quantité de concentrés (céréales, protéagineux, oléagineux) consommés par une vache en production

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2.7		1.4	4.1		

Comment

Validé. Quantité de concentrés (céréales, protéagineux, oléagineux) : valeurs pour une vache laitière hors période de finition - autres données : voir document

Full Name	Symbol	Unit
Quantité de végétal 4 ingérée par l'animal	$Q_{a,veg,4}$	$kg_{sec} d^{-1}$

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal de concentration Cp_4 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Full Name	Symbol	Unit
Quantité de végétal 5 ingérée par l'animal	$Q_{a,veg,5}$	$kg_{sec} d^{-1}$

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal de concentration Cp_5 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree

Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de biodisponibilité relative du polluant pour le sol 1	$B_{s,1}$	unitless

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique.

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined

2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0	0.5	0.8
Arsenic	1.0		
Cobalt	1.0		
Nickel	1.0		
Plomb	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		
Arsenic			
Cobalt			
Nickel			
Plomb			

Full Name	Symbol	Unit				
Facteur de biodisponibilité relative du polluant pour le sol 2	B _{s,2}	unitless				
Description						
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique.						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predef
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0		0.5	0.8		
Arsenic	1.0					
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	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					
Arsenic						
Cobalt						
Nickel						
Plomb						

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de biodisponibilité relative du polluant pour le sol 3	B _{s,3}	unitless
Description		
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique.		
Materials	Value	Predefined Min valueMax valuePDFPredefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0	0.50.8
Arsenic	1.0	
Cobalt	1.0	
Nickel	1.0	

Plomb 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
Arsenic	
Cobalt	
Nickel	
Plomb	

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). Valeur à indiquer en j/kgfrais ou en j/kgmg selon le choix indiqué dans l'option type_polluant pour la substance considérée.tissu 1 : viande, matières grasses (selon le tissu de stockage)

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predef
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0261212286618147	-1.0				
Arsenic	9.0E-4	6.7E-4	5.0E-4	9.0E-4		
Cobalt	0.0010	-1.0				
Nickel	0.0050	-1.0				
Plomb	0.019	-1.0	1.1E-6	0.019	logn(8.4E-4,0.0050,1.1E-6,0.019)	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	
Arsenic	Validé. Exprimé en j/kg de matières fraîches.
Cobalt	
Nickel	
Plomb	Validé. Exprimé en j/kg frais. moy. géo = 1,4.10 ⁻⁴

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de biotransfert pour le tissu 2 de l'animal	BT,2	d kg ⁻¹

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). Valeur à indiquer en j/kgfrais ou en j/kgmg selon le choix indiqué dans l'option type_polluant pour la substance considérée.
tissu 2 : lait, oeufs ou matières grasses de ces produits

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predef
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.00549920603406625	-1.0				
Arsenic	2.0E-4	5.0E-5	3.0E-5	2.0E-4		
Cobalt	0.0020	-1.0				
Nickel	0.01	-1.0	0.0	0.01		
Plomb	6.2E-4	-1.0	4.1E-6	6.2E-4	logn(8.1E-5,1.0E-4,4.1E-6,6.2E-4)	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	

Arsenic	Validé. Exprimé en j/kg de matières fraîches
Cobalt	
Nickel	Vérifié. Exprimé en j/kg de matières fraîches. Valeurs préférentielles entre 10-5 et 10-3
Plomb	Validé. Exprimé en j/kg frais. moyenne géométrique =5.10-5

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du tissu 1 avant consommation	$f_{anim1,dec}$	unitless
Description		
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de tissu 1 : viande, matières grasses		
Materials	Value	Predefined Min value Max value PDF Predef
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0	
Arsenic	0.75	1.0
Cobalt	1.0	
Nickel	1.0	
Plomb	1.0	

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du tissu 2 avant consommation	$f_{anim2,dec}$	unitless
Description		
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de tissu 2 : lait, oeufs		
Materials	Value	Predefined Min value Max value PDF Predef
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0	
Arsenic	0.75	1.0
Cobalt	1.0	
Nickel	1.0	
Plomb	1.0	

Full Name	Symbol	Unit
Masse de tissu 1 ingérée par jour par la cible	Q_{anim1}	kg d ⁻¹
Description		
Ce paramètre sert au calcul de la dose d'exposition si les concentrations sont exprimées en poids frais. Exposée ou non à la contamination du site. Exprimée en kg frais tissu 1 : viande.		
Classes_d'age	Value	Predefined Min value Max value PDF Predef
classe_1	0.0089	0.0089
classe_10	0.0	
classe_2	0.031	0.0313
classe_3	0.032	0.0319
classe_4	0.032	0.0319
classe_5	0.039	0.039
classe_6	0.039	0.0388

classe_7	0.047	0.0466
classe_8	0.0	
classe_9	0.0	
Classes_d'age	Comment	
classe_1	Masse correspondant à la quantité totale de viandes bovine, chevaline, ovine et abats consommés (hors aliments infantiles)	
classe_10		
classe_2	Masse correspondant à la quantité totale de viandes bovine, chevaline, ovine et abats consommés (hors aliments infantiles)	
classe_3	Masse correspondant à la quantité totale de viandes bovine, chevaline, ovine et abats consommés	
classe_4	Masse correspondant à la quantité totale de viandes bovine, chevaline, ovine et abats consommés	
classe_5	Masse correspondant à la quantité totale de viandes bovine, chevaline, ovine et abats consommés	
classe_6	Masse correspondant à la quantité totale de viandes bovine, chevaline, ovine et abats consommés	
classe_7	Masse correspondant à la quantité totale de viandes bovine, chevaline, ovine et abats consommés	
classe_8		
classe_9		

Full Name	Symbol	Unit
Masse du tissu 2 ingérée par jour par la cible	Qanim2	kg d ⁻¹

Description
Ce paramètre sert au calcul de la dose d'exposition si les concentrations sont exprimées en poids frais. Exposée ou non à la contamination du site. Exprimée en poids frais.tissu 2 : produit excrété par l'animal (lait, oeuf)

Classes_d'age	Value	Predefined Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.12	0.12			
classe_10	0.0				
classe_2	0.4	0.395			
classe_3	0.31	0.31			
classe_4	0.31	0.31			
classe_5	0.26	0.258			
classe_6	0.23	0.228			
classe_7	0.21	0.212			
classe_8	0.0				
classe_9	0.0				
Classes_d'age	Comment				
classe_1	Masse correspondant à la quantité totale de lait, ultra-frais laitiers, fromages et beurre consommés (hors aliments infantiles)				
classe_10					
classe_2	Masse correspondant à la quantité totale de lait, ultra-frais laitiers, fromages et beurre consommés (hors aliments infantiles)				
classe_3	Masse correspondant à la quantité totale de lait, ultra-frais laitiers, fromages et beurre consommés				
classe_4	Masse correspondant à la quantité totale de lait, ultra-frais laitiers, fromages et beurre consommés				
classe_5	Masse correspondant à la quantité totale de lait, ultra-frais laitiers, fromages et beurre consommés				
classe_6	Masse correspondant à la quantité totale de lait, ultra-frais laitiers, fromages et beurre consommés				
classe_7	Masse correspondant à la quantité totale de lait, ultra-frais laitiers, fromages et beurre consommés				

Lookup table summary

Vector lookup tables

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans l'eau 1	Ce ₁	mg m ⁻³					
Description							
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans l'eau 2	Ce 2	mg m -3					
Description							
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans l'eau 3	Ce ₃	mg m ⁻³					
Description							
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans le sol 2	Cs ₂	mg kg ⁻¹					
Description							
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de polluant dans le sol 3	Cs ₃	mg kg ⁻¹
Description A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)		
Cyclic option		

No

Interpolation

Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name

Concentration de polluant dans le végétal 2

Symbol

Cp₂

Unit

mg kg_{vegsec}⁻¹

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux

Cyclic option

No

Interpolation

Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name

Concentration de polluant dans le végétal 3

Symbol

Cp₃

Unit

mg kg_{vegsec}⁻¹

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux

Cyclic option

No

Interpolation

Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de polluant dans le végétal 4	Cp 4	mg kg _{vegsec} ⁻¹

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 4 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux

Cyclic option

No

Interpolation

Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de polluant dans le végétal 5	Cp 5	mg kg _{vegsec} ⁻¹

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 5 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux

Cyclic option

No

Interpolation

Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

General variable changes

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
definition_Canim1	definition Canim1	

Description

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

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	approche_stationnaire	Vache.aucun
Arsenic	approche_stationnaire	Vache.aucun
Cobalt	approche_stationnaire	
Nickel	approche_stationnaire	
Plomb	approche_stationnaire	Vache.aucun

Full Name	Symbol	Unit
definition_Canim2	definition Canim2	

Description

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

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	approche_stationnaire	Vache.aucun
Arsenic	approche_stationnaire	Vache.aucun
Cobalt	approche_stationnaire	
Nickel	approche_stationnaire	
Plomb	approche_stationnaire	Vache.aucun

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	Vache.valeur_entree_BCFanim
Arsenic	valeur_entree_BTanim	
Cobalt	valeur_entree_BTanim	Vache.non_defini
Nickel	valeur_entree_BTanim	Vache.valeur_entree_BCFanim
Plomb	valeur_entree_BTanim	

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	Vache.valeur_entree_BCFanim
Arsenic	valeur_entree_BTanim	
Cobalt	valeur_entree_BTanim	Vache.non_defini
Nickel	valeur_entree_BTanim	
Plomb	valeur_entree_BTanim	

Full Name	Symbol	Unit
type_expr_Canim	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	Vache.poids_mat_grasse
Arsenic	poids_frais	
Cobalt	poids_frais	Vache.non_defini
Nickel	poids_frais	
Plomb	poids_frais	

Parameter changes

Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit			
Fraction consommée pour le tissu 1, exposée à la contamination du site	f _{anim1,exp}				
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
0.35	1.0	0.03	0.35		
Comment					
Valeurs se rapportant à la matière fraîche. La valeur minimale se rapportant à la matière grasse est égale à 0,04 (valeur max inchangée). Les valeurs min et max se rapportent respectivement à la population générale et à la population agricole.					

Full Name				Symbol	Unit
Fraction consommée pour le tissu 2, exposée à la contamination du site				f _{anim2,exp}	
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
0.3	1.0	0.04	0.3		
Comment					
Valeurs relatives au poids frais de produits. Les valeurs min relatives au poids de mat. grasse sont égales à 0,02 (min) et 0,10 (max). Valeurs min relatives à la population générale, valeurs max relatives à la population agricole					

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). Valeur à indiquer en j/kgfrais ou en j/kgmg selon le choix indiqué dans l'option type_polluant pour la substance considérée.tissu 1 : viande, matières grasses (selon le tissu de stockage)					
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.0261212286618147	-1.0			
Arsenic	9.0E-4	6.7E-4	5.0E-4	9.0E-4	
Cobalt	0.0010	-1.0			
Nickel	0.0050	-1.0			
Plomb	0.019	-1.0	1.1E-6	0.019	logn(8.4E-4,0.0050,1.1E-6,0.019)
Materials	Comment				
2378_Tétrachlorodibenzodioxine					
Arsenic	Validé. Exprimé en j/kg de matières fraîches.				
Cobalt					
Nickel					
Plomb	Validé. Exprimé en j/kg frais. moy. géo = 1,4.10-4				

Full Name				Symbol	Unit
Facteur de biotransfert pour le tissu 2 de l'animal				BT,2	d kg ⁻¹
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). Valeur à indiquer en j/kgfrais ou en j/kgmg selon le choix indiqué dans l'option type_polluant pour la substance considérée. tissu 2 : lait, oeufs ou matières grasses de ces produits					
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.00549920603406625	-1.0			
Arsenic	2.0E-4	5.0E-5	3.0E-5	2.0E-4	

Cobalt	0.0020	-1.0		
Nickel	0.01	-1.0	0.0	0.01
Plomb	6.2E-4	-1.0	4.1E-6	6.2E-4 logn(8.1E-5,1.0E-4,4.1E-6,6.2E-4)
Materials	Comment			
2378_Tétrachlorodibenzodioxine				
Arsenic	Validé. Exprimé en j/kg de matières fraîches			
Cobalt				
Nickel	Vérifié. Exprimé en j/kg de matières fraîches. Valeurs préférentielles entre 10-5 et 10-3			
Plomb	Validé. Exprimé en j/kg frais. moyenne géométrique =5.10-5			

Full Name	Symbol	Unit			
Facteur de décontamination du tissu 1 avant consommation	$f_{anim1,dec}$	unitless			
Description					
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de tissu 1 : viande, matières grasses					
Materials	Value	Predefined Min value	Max value	PDF	Predef
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0				
Arsenic	0.75	1.0			
Cobalt	1.0				
Nickel	1.0				
Plomb	1.0				

Full Name	Symbol	Unit			
Facteur de décontamination du tissu 2 avant consommation	f _{anim2,dec}	unitless			
Description					
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de tissu 2 : lait, oeufs					
Materials	Value	Predefined Min value	Max value	PDF	Predef
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0				
Arsenic	0.75	1.0			
Cobalt	1.0				
Nickel	1.0				
Plomb	1.0				

Full Name	Symbol	Unit			
Masse de tissu 1 ingérée par jour par la cible	Q _{anim1}	kg d ⁻¹			
Description					
Ce paramètre sert au calcul de la dose d'exposition si les concentrations sont exprimées en poids frais. Exposée ou non à la contamination du site. Exprimée en kg frais tissu 1 : viande.					
Classes_d'age	Value	Predefined Min value	Max value	PDF	Predef
classe_1	0.0089	0.0089			
classe_10	0.0				

classe_2	0.031	0.0313
classe_3	0.032	0.0319
classe_4	0.032	0.0319
classe_5	0.039	0.039
classe_6	0.039	0.0388
classe_7	0.047	0.0466
classe_8	0.0	
classe_9	0.0	
Classes_d'age	Comment	
classe_1	Masse correspondant à la quantité totale de viandes bovine, chevaline, ovine et abats consommés (hors aliments infantiles)	
classe_10		
classe_2	Masse correspondant à la quantité totale de viandes bovine, chevaline, ovine et abats consommés (hors aliments infantiles)	
classe_3	Masse correspondant à la quantité totale de viandes bovine, chevaline, ovine et abats consommés	
classe_4	Masse correspondant à la quantité totale de viandes bovine, chevaline, ovine et abats consommés	
classe_5	Masse correspondant à la quantité totale de viandes bovine, chevaline, ovine et abats consommés	
classe_6	Masse correspondant à la quantité totale de viandes bovine, chevaline, ovine et abats consommés	
classe_7	Masse correspondant à la quantité totale de viandes bovine, chevaline, ovine et abats consommés	
classe_8		
classe_9		

Full Name	Symbol	Unit
Masse du tissu 2 ingérée par jour par la cible	Qanim2	kg d ⁻¹

Description

Ce paramètre sert au calcul de la dose d'exposition si les concentrations sont exprimées en poids frais. Exposée ou non à la contamination du site. Exprimée en poids frais.tissu 2 : produit excrété par l'animal (lait, oeuf)

Classes_d'age	Value	Predefined Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.12	0.12			
classe_10	0.0				
classe_2	0.4	0.395			
classe_3	0.31	0.31			
classe_4	0.31	0.31			
classe_5	0.26	0.258			
classe_6	0.23	0.228			
classe_7	0.21	0.212			
classe_8	0.0				
classe_9	0.0				
Classes_d'age	Comment				
classe_1	Masse correspondant à la quantité totale de lait, ultra-frais laitiers, fromages et beurre consommés (hors aliments infantiles)				
classe_10					
classe_2	Masse correspondant à la quantité totale de lait, ultra-frais laitiers, fromages et beurre consommés (hors aliments infantiles)				

classe_3	Masse correspondant à la quantité totale de lait, ultra-frais laitiers, fromages et beurre consommé
classe_4	Masse correspondant à la quantité totale de lait, ultra-frais laitiers, fromages et beurre consommé
classe_5	Masse correspondant à la quantité totale de lait, ultra-frais laitiers, fromages et beurre consommé
classe_6	Masse correspondant à la quantité totale de lait, ultra-frais laitiers, fromages et beurre consommé
classe_7	Masse correspondant à la quantité totale de lait, ultra-frais laitiers, fromages et beurre consommé
classe_8	
classe_9	

4.14. Fourrage

Fourrage		Sub-system	
Id	Fourrage		
Enabled flag	Yes		
Symbol	Fourrage		
Description	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. Ce module est dédié au végétaux de type "fourrage". Des valeurs différentes de paramètres sont proposées pour l'herbe et le foin, qui sont exposés aux retombées atmosphériques et aux dépôts indirects de particules de sol pendant des durées différentes. 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. 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.		
Object	Input		Sub-system
S _T	ST	Par Envir	
D _{pt}	Depot _{total} ,Parameter	Par Envir	
Ta	Ta	Par Envir	
type Polluant	type Polluant	Constantes Reglages	
Object	Output	Sub-system	
Cp	Cp ₁	Vache	

Interaction Matrix

Input																	1
	Src1	Facteur de transfert lié au dépôt atmosphérique sur les végétaux		Facteur de transfert lié au dépôt de particules minimes en suspension à partir du sol sur les vég.				Facteur de transfert lié au dépôt de l'irrigation par aspersion									2
		Masse de polluant sur les parties consom. des plantes due au dépôt atm. direct								Coef. de transf. par action de la pluie et du vent							3
				Concentration dans la plante récoltée, due au dépôt atmosphérique direct													4
																	5
																	6
																	7
																	8
																	9
																	10
																	11
																	12
																	13
																	14
																	15
																	16
																	17
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	

General variable summary

Scalar general variables

Full Name	Symbol	Unit
modele_interception	modele interception	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et (si depots_particulaires_atm=ooui, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=ooui) 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)		
Value	Predefined value	
oui	Fourrage.non	

Full Name	Symbol	Unit
type_plante	type plante	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer de quel type est le végétal considéré		
Value	Predefined value	
fourrage		

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
absorption_gazeuse	absorption gazeuse	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les végétaux correspondant à la partie foliaire ou autres parties supérieures des plantes en dehors du grain (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	Fourrage.oui
Arsenic	non	Fourrage.oui
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Fourrage.oui

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cp	definition Cp	
Description		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Fourrage.valeur_entree

Arsenic	valeur_calculée	Fourrage.valeur_entree
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	
Plomb	valeur_calculée	Fourrage.valeur_entree

Full Name	Symbol	Unit
definition_depots_atmospheriques	definition depots atmospheriques	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=oüi. 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 particuliers sec 2) dépôts gazeux totaux et/ou dépôts particuliers totaux 3) dépôts totaux

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	option_depots3	Fourrage.non_defini
Arsenic	option_depots3	Fourrage.non_defini
Cobalt	option_depots3	
Nickel	option_depots3	
Plomb	option_depots3	Fourrage.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
depot_irrigation	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	Fourrage.oui
Arsenic	non	Fourrage.oui
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Fourrage.oui

Full Name	Symbol	Unit
depots_indirects_sol	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 adhérant 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	non	Fourrage.non_defini
Arsenic	non	Fourrage.non_defini

Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Fourrage.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
depots_particulaires_atm	depots particulaires atm	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte le dépôt de particules atmosphériques direct pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les 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	oui	Fourrage.oui
Arsenic	oui	Fourrage.oui
Cobalt	oui	
Nickel	oui	
Plomb	oui	Fourrage.oui

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de bioconcentration du sol ou de l'eau du sol vers la plante	Br	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui. Sélectionner le type de facteur de bioconcentration à prendre en compte pour estimer l'impact du prélèvement direct du sol vers les plantes : facteur de bioconcentration sol-plante défini par l'utilisateur (Br_E), facteur de bioconcentration sol-plante défini par une relation empirique (Br_QSAR) ou facteur de bioconcentration eau du sol-plante (Br_prime_QSAR). Relations Br_QSAR et Br_prime_QSAR : applicable uniquement pour les substances organiques. Pas de relation utilisable pour calculer Br_prime_QSAR des substances avec logKow>4, dans le cas de végétaux de type fourrage. **Attention à l'unité. Si Br=Br_QSAR ou Br_E, Br est en kg sec/kg.vegsec. Si Br=Br_prime_QSAR, Br est en m3/kg.vegfrs**

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Br_E	
Arsenic	Br_E	
Cobalt	Br_E	
Nickel	Br_E	
Plomb	Br_E	

Full Name	Symbol	Unit
prelevement_direct_sol	prelevement direct sol	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante.

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	oui	
Arsenic	oui	
Cobalt	oui	

Nickel	oui
Plomb	oui

Parameter summary

Scalar parameters

Full Name		Symbol	Unit		
Date de début de la période d'exposition des végétaux aux dépôts		T _{exp_dep}	year		
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=oui, depots_indirects_sol=option_f_part_veg, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part, depot_irrigation=oui ou absorption_gazeuse=oui. (germination pour le fourrage, l'herbe ou les légumes-feuilles, fructification pour les fruits, légumes-fruits). La valeur doit être inférieure à celle de Trecolte.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.88					
Comment					
Valeur définie pour une durée d'exposition de l'herbe de 0,08 an (Trecolte-Texp_veg). Pour le foin : Texp_veg = 0					

Full Name				Symbol	Unit
Date de récolte annuelle des végétaux				T _{recolte}	year
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. (Définir une valeur inférieure ou égale à 0,96)					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.96					
Comment					
Valeur maximale pouvant être affectée à ce paramètre pour un fonctionnement correct du mode de calcul					

Full Name				Symbol	Unit
Date du début du prélèvement sol				Tdat _{prel}	year
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui. La valeur doit être inférieure à celle de Trecolte.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					
Comment					
Vérifié					

Full Name				Symbol	Unit
Date à partir de laquelle l'organe végétal étudié (consommé) atteint sa taille normale				T	year
				crois_max	
Description					
A définir si modele_interception=oui					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined

Comment

Vérifié

Full Name				Symbol	Unit
Facteur d'interception maximale par les parties consommables des plantes				I _{max}	unitless
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=où, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=où. Valeur de I sur la période où la partie consommable a atteint sa taille normale (entre Tcrois_max et Trecolte)					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.35		0.25	0.7		
Comment					
Vérifié. Valeur pour l'herbe. Pour le foin, valeur par défaut =0,75; valeur min=0,45; valeur max=1					

Full Name				Symbol	Unit
Fraction de la quantité consommée et exposée à la contamination du site pour le végétal				$f_{veg,exp}$	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
1.0					

Full Name	Symbol	Unit			
Productivité végétale à la récolte	P _r	kg _{vegsec} m ⁻²			
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=où, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=où. Rendement cultural					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.15		0.1	0.2		
Comment					
Vérifié. Valeur pour l'herbe. Pour le foin, valeur par défaut =0,5; valeur min=0,2; valeur max=2					

Full Name	Symbol	Unit			
Teneur en matière sèche des végétaux	tsp	kg _{vegsec} kg _{vegfrais} ⁻¹			
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.18		0.13	0.23		
Comment					
Validé					

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)	Br _E	mg kg ⁻¹ vegsec (mg kg ⁻¹) ⁻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	0.079	0.0				
Arsenic	0.023	-1.0	4.8E-4	0.34	logn(0.0938,0.373,8.5E-4,0.62)	
Cobalt	0.0	-1.0				
Nickel	0.025	-1.0	0.0056	0.28	logn(0.0431,0.0587,0.0034,0.19)	
Plomb	0.01	-1.0	0.0033	0.017	logistic(0.00902,0.00176,0.0026,0.015)	
Materials	Comment					
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur maximale <0,079					
Arsenic	perc.50 de la distribution : 2,28e-2					
Cobalt						
Nickel	perc.50 de la distribution : 2,5e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452					
Plomb	perc.50 de la distribution : 9,0e-3 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452					

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du produit d'origine végétale avant consommation	f _{veg,dec}	unitless

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0					
Arsenic	1.0					
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de perte par action du vent et de la pluie (voire photodégradation)	λ _w	year ⁻¹

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=où, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=où

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	25.0		10.0	60.0		
Arsenic	25.0		10.0	60.0		
Cobalt	25.0		10.0	60.0		
Nickel	25.0		10.0	60.0		
Plomb	25.0		10.0	60.0		

Full Name	Symbol	Unit
Masse corporelle de la cible	B _w	kg

Description

A définir pour le calcul des doses d'exposition. Définir autant de données que de classes d'âge nécessaires.

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	7.6		4.9	8.2		
classe_10	0.0					
classe_2	12.4		9.1	14.4		
classe_3	17.8		12.7	20.5		
classe_4	28.7		19.4	34.2		
classe_5	47.2		31.7	57.4		
classe_6	60.0		43.1	71.0		
classe_7	70.4		51.2	97.0		
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

Full Name	Symbol	Unit
Masse de ce type de produit d'origine végétale ingérée par jour par la cible humaine	Q _{veg}	kg _{veg} frais d ⁻¹

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal. Quelle qu'en soit l'origine.

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0					
classe_10	0.0					
classe_2	0.0					
classe_3	0.0					
classe_4	0.0					
classe_5	0.0					
classe_6	0.0					
classe_7	0.0					
classe_8	0.0					

Lookup table summary

Vector lookup tables

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration dans le sol de culture (couche racinaire)	Cs _{racinaire}	mg kg ⁻¹					
Description							
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui ou bien si definition_Cp=valeur_calculée et Cs_part_susp=Cs_racinaire avec depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depots_indirects_sol=option_f_part_veg. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)							
Cyclic option							
Yes							
Interpolation							
Interpolation-Extrapolation							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

General variable changes

Scalar general variables

Full Name	Symbol	Unit
modele_interception	modele interception	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et (si depots_particulaires_atm=ooui, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depot_irrigation=ooui) 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)		
Value	Predefined value	
oui	Fourrage.non	

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
absorption_gazeuse	absorption gazeuse	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les végétaux correspondant à la partie foliaire ou autres parties supérieures des plantes en dehors du grain (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	Fourrage.oui
Arsenic	non	Fourrage.oui
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Fourrage.oui

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cp	definition Cp	
Description		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Fourrage.valeur_entree
Arsenic	valeur_calculée	Fourrage.valeur_entree
Cobalt	valeur_calculée	
Nickel	valeur_calculée	
Plomb	valeur_calculée	Fourrage.valeur_entree

Full Name	Symbol	Unit
definition_depots_atmospheriques	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 particuliers sec 2) dépôts gazeux totaux et/ou dépôts particuliers totaux 3) dépôts totaux

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	option_depots3	Fourrage.non_defini
Arsenic	option_depots3	Fourrage.non_defini
Cobalt	option_depots3	
Nickel	option_depots3	
Plomb	option_depots3	Fourrage.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
depot_irrigation	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	Fourrage.oui
Arsenic	non	Fourrage.oui
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Fourrage.oui

Full Name	Symbol	Unit
depots_indirects_sol	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	non	Fourrage.non_defini
Arsenic	non	Fourrage.non_defini
Cobalt	non	
Nickel	non	
Plomb	non	Fourrage.non_defini

Full Name	Symbol	Unit
depots_particulaires_atm	depots particuliers atm	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte le dépôt de particules atmosphériques

direct pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les 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	oui	Fourrage.oui
Arsenic	oui	Fourrage.oui
Cobalt	oui	
Nickel	oui	
Plomb	oui	Fourrage.oui

Parameter changes

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)	Br_E	mg kg _{vegsec} ⁻¹ (mg kg ⁻¹) ⁻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	0.079	0.0				
Arsenic	0.023	-1.0	4.8E-4	0.34	logn(0.0938,0.373,8.5E-4,0.62)	
Cobalt	0.0	-1.0				
Nickel	0.025	-1.0	0.0056	0.28	logn(0.0431,0.0587,0.0034,0.19)	
Plomb	0.01	-1.0	0.0033	0.017	logistic(0.00902,0.00176,0.0026,0.015)	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur maximale <0,079
Arsenic	perc.50 de la distribution : 2,28e-2
Cobalt	
Nickel	perc.50 de la distribution :2,5e-2 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Plomb	perc.50 de la distribution : 9,0e-3 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452

4.15. Porc

Porc		Sub-system	
Id	Porc		
Enabled flag	Yes		
Symbol	Porc		
Description	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 : lait, oeuf ou matières grasses de ce produit). Ce module est paramétré pour un porc. Les concentrations peuvent être calculées à l'état stationnaire ou avec une approche dynamique. 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 . 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, les concentrations dans les tissus animaux sont estimées pour un animal en fin de vie (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. 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). 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.		
Object	Input		Sub-system
B _w	B _w	Par expo	
Cp ₁	Cp	Cereales	
Object	Output	Sub-system	
Dose _{anim1,classe,age}	Dose _{anim1,classe,age}	Niveaux Exposition Risque	
Dose _{anim1,individu}	Dose _{anim1,individu}	Niveaux Exposition Risque	

Interaction Matrix

Input1																1
	Src1			Dose d'exposition interne de l'animal												2
		Quantité de polluant totale ingérée par l'animal														3
			Quantité de polluant ingérée par l'animal en moyenne annuelle													4
				m anim 1 interne				Coef de transf. par dégrad et élimination (autre que par le lait et les oeufs) Coef. de transf. vers le lait ou les oeufs								5
					Masse de polluant dans l'organisme animal au temps t											6
						Concentration dans le tissu 1										7
							Concentration dans le tissu 2									8
								Sink1								9
									Concentration dans le tissu 1 en moyenne annuelle							10
										Concentration dans le tissu 2 en moyenne annuelle						11
											Dose d'exposition liée à l'ingestion de tissu 1					12
												Dose d'exposition liée à l'ingestion de tissu 2				13
													Dose d'exposition liée à l'ingestion de tissu 1 pour un individu			14
														Dose d'exposition liée à l'ingestion de tissu 2 pour un individu		15
															Output1	16
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	

General variable summary

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
definition_Canim1	definition Canim1	

Description

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

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	approche_stationnaire	Porc.aucun
Arsenic	approche_stationnaire	Porc.aucun
Cobalt	approche_stationnaire	Porc.aucun
Nickel	approche_stationnaire	Porc.aucun
Plomb	approche_stationnaire	Porc.aucun

Full Name	Symbol	Unit
definition_Canim2	definition Canim2	

Description

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

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	aucun	Porc.aucun
Arsenic	aucun	Porc.aucun
Cobalt	aucun	Porc.aucun
Nickel	aucun	Porc.aucun
Plomb	aucun	Porc.aucun

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	Porc.valeur_entree_BCFanim
Arsenic	valeur_entree_BTanim	Porc.valeur_entree_BCFanim
Cobalt	valeur_entree_BTanim	Porc.non_defini
Nickel	valeur_entree_BTanim	Porc.valeur_entree_BCFanim
Plomb	valeur_entree_BTanim	Porc.valeur_entree_BCFanim

Full Name	Symbol	Unit
type_expr_Canim	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	Porc.poids_mat_grasse
Arsenic	poids_frais	
Cobalt	poids_frais	Porc.non_defini
Nickel	poids_frais	
Plomb	poids_frais	

Parameter summary

Scalar parameters

Full Name	Symbol	Unit			
Fraction consommée pour le tissu 1, exposée à la contamination du site	$f_{\text{anim1,exp}}$	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
1.0		0.04	0.3		
Comment					
Valeur min relative à la population générale, valeur max relative à la population agricole					

Full Name	Symbol	Unit			
Quantité d'eau 1 ingérée par l'animal	$Q_{a,eau,1}$	$l\ d^{-1}$			
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau de concentration Ce_1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
8.0		5.0	10.0		
Comment					
Validé. Valeurs relatives à la phase d'engraissement. Pour une approche dynamique, voir référence					

Full Name	Symbol	Unit
Quantité d'eau 2 ingérée par l'animal	$Q_{\text{a,eau},2}$	l d^{-1}

Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau de concentration Ce_2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					
Full Name				Symbol	Unit
Quantité d'eau 3 ingérée par l'animal				$Q_{a,eau,3}$	$l\ d^{-1}$
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau de concentration Ce_3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					
Full Name				Symbol	Unit
Quantité de sol 1 ingérée par l'animal				$Q_{a,sol,1}$	$kg\ d^{-1}$
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du sol de concentration Cs_1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.035	0.0	0.0	0.035		
Comment					
Validé. Valeurs relatives à la phase d'engraissement. Valeur ponctuelle se rapportant à des animaux élevés en bâtiment. Pour une approche dynamique ou pour d'autres types d'élevage, voir référence					
Full Name				Symbol	Unit
Quantité de sol 2 ingérée par l'animal				$Q_{a,sol,2}$	$kg\ d^{-1}$
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du sol de concentration Cs_2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					
Full Name				Symbol	Unit
Quantité de sol 3 ingérée par l'animal				$Q_{a,sol,3}$	$kg\ d^{-1}$
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du sol de concentration Cs_3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					
Full Name				Symbol	Unit
Quantité de végétal 1 ingérée par l'animal					

$$Q_{a,veg,1} \quad \text{kg}_{\text{sec}} \text{d}^{-1}$$

Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal de concentration Cp_1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2.3		2.3	2.4		
Comment					
Validé. Valeurs relatives à la phase d'engraissement. Pour une approche dynamique, voir référence					

Full Name			Symbol	Unit	
Quantité de végétal 2 ingérée par l'animal			$Q_{a,veg,2}$	$\text{kg}_{\text{sec}} \text{d}^{-1}$	
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal de concentration Cp_2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Full Name				Symbol	Unit
Quantité de végétal 3 ingérée par l'animal				$Q_{a,veg,3}$	$\text{kg}_{\text{sec}} \text{d}^{-1}$
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal de concentration Cp_3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Full Name				Symbol	Unit
Quantité de végétal 4 ingérée par l'animal				$Q_{a,veg,4}$	$\text{kg}_{\text{sec}} \text{d}^{-1}$
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal de concentration Cp_4 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Full Name				Symbol	Unit
Quantité de végétal 5 ingérée par l'animal				$Q_{a,veg,5}$	$\text{kg}_{\text{sec}} \text{d}^{-1}$
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal de concentration Cp_5 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.0					

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de biodisponibilité relative du polluant pour le sol 1	B _{s,1}	unitless

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique.

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0		0.5	0.8		
Arsenic	1.0					
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	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
Arsenic	
Cobalt	
Nickel	
Plomb	

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de biodisponibilité relative du polluant pour le sol 2	B _{s,2}	unitless

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique.

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0		0.5	0.8		
Arsenic	1.0					
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	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
Arsenic	
Cobalt	
Nickel	
Plomb	

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de biodisponibilité relative du polluant pour le sol 3	B _{s,3}	unitless

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique.

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0		0.5	0.8		
Arsenic	1.0					
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	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					
Arsenic						
Cobalt						
Nickel						
Plomb						

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). Valeur à indiquer en j/kgfrais ou en j/kgmg selon le choix indiqué dans l'option type_polluant pour la substance considérée.tissu 1 : viande, matières grasses (selon le tissu de stockage)

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.031620434695881	-1.0				
Arsenic	0.02	-1.0				
Cobalt	0.2	-1.0				
Nickel	0.02	-1.0				
Plomb	0.031	-1.0				

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du tissu 1 avant consommation	f _{anim1,dec}	unitless

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de tissu 1 : viande, matières grasses

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0					
Arsenic	1.0					
Cobalt	1.0					
Nickel	1.0					
Plomb	1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Masse de tissu 1 ingérée par jour par la cible	Q _{anim1}	kg d ⁻¹

Description

Ce paramètre sert au calcul de la dose d'exposition si les concentrations sont exprimées en poids frais. Exposée ou non à la contamination du site. Exprimée en kg frais tissu 1 : viande.

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	3.0E-4					
classe_10	0.0					
classe_2	0.0216					
classe_3	0.0254					
classe_4	0.0254					
classe_5	0.0322					
classe_6	0.0337					
classe_7	0.0403					
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					
Classes_d'age	Comment					
classe_1	(hors aliments infantiles)					
classe_10						
classe_2	(hors aliments infantiles)					
classe_3						
classe_4						
classe_5						
classe_6						
classe_7						
classe_8						
classe_9						

Lookup table summary

Vector lookup tables

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans l'eau 1	Ce ₁	mg m ⁻³					
Description							
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						

Predefined
0.0 0.0

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de polluant dans l'eau 2	Ce ₂	mg m ⁻³

Description
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).

Cyclic option
No

Interpolation
Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	Plomb
Predefined	
0.0	0.0

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de polluant dans l'eau 3	Ce ₃	mg m ⁻³

Description
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).

Cyclic option
No

Interpolation
Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time	Plomb
Predefined	
0.0	0.0

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de polluant dans le sol 1	Cs ₁	mg kg ⁻¹

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)

Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans le sol 2	Cs ₂	mg kg ⁻¹					
Description							
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans le sol 3	Cs ₃	mg kg ⁻¹					
Description							
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel

Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans le végétal 2	Cp 2	mg kg _{vegsec} ⁻¹					
Description							
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit					
Concentration de polluant dans le végétal 3	Cp 3	mg kg _{vegsec} ⁻¹					
Description							
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux							
Cyclic option							
No							
Interpolation							
Interpolation-Use End Values							
Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Time	Plomb						
Predefined							
0.0	0.0						

Full Name	Symbol	Unit
Concentration de polluant dans le végétal 4	Cp 4	mg kg _{vegsec} ⁻¹

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 4 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux

Cyclic option

No

Interpolation

Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time **Plomb**

Predefined

0.0 0.0

Full Name

Concentration de polluant dans le végétal 5

Symbol

Cp₅

Unit

mg kg_{vegsec}⁻¹

Description

A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 5 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux

Cyclic option

No

Interpolation

Interpolation-Use End Values

Time	2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Time	Arsenic	Time	Cobalt	Time	Nickel
Predefined		Predefined		Predefined		Predefined	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Time **Plomb**

Predefined

0.0 0.0

General variable changes

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
definition_Canim1	definition Canim1	

Description

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

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	approche_stationnaire	Porc.aucun
Arsenic	approche_stationnaire	Porc.aucun
Cobalt	approche_stationnaire	Porc.aucun
Nickel	approche_stationnaire	Porc.aucun
Plomb	approche_stationnaire	Porc.aucun

Full Name	Symbol	Unit
definition_Canim2	definition Canim2	

Description

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

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	aucun	Porc.aucun
Arsenic	aucun	Porc.aucun
Cobalt	aucun	Porc.aucun
Nickel	aucun	Porc.aucun
Plomb	aucun	Porc.aucun

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	Porc.valeur_entree_BCFanim
Arsenic	valeur_entree_BTanim	Porc.valeur_entree_BCFanim
Cobalt	valeur_entree_BTanim	Porc.non_defini
Nickel	valeur_entree_BTanim	Porc.valeur_entree_BCFanim
Plomb	valeur_entree_BTanim	Porc.valeur_entree_BCFanim

Full Name	Symbol	Unit
type_expr_Canim	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	Porc.poids_mat_grasse
Arsenic	poids_frais	
Cobalt	poids_frais	Porc.non_defini
Nickel	poids_frais	
Plomb	poids_frais	

Parameter changes

Scalar parameters

Full Name				Symbol	Unit
Quantité de sol 1 ingérée par l'animal				$Q_{a,sol,1}$	kg d ⁻¹
Description					
A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du sol de concentration Cs_1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est différent de valeur_entree					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.035	0.0	0.0	0.035		
Comment					
Validé. Valeurs relatives à la phase d'engraissement. Valeur ponctuelle se rapportant à des animaux élevés en bâtiment. Pour une approche dynamique ou pour d'autres types d'élevage, 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). Valeur à indiquer en j/kgfrais ou en j/kgmg selon le choix indiqué dans l'option type_polluant pour la substance considérée.tissu 1 : viande, matières grasses (selon le tissu de stockage)						
Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	0.031620434695881	-1.0				
Arsenic	0.02	-1.0				
Cobalt	0.2	-1.0				

Nickel	0.02	-1.0
Plomb	0.031	-1.0

4.16. Cereales

Cereales		Sub-system	
Id	Cereales		
Enabled flag	Yes		
Symbol	Cereales		
Description	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. Ce module est dédié aux végétaux de type "cereales". 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. 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.		
Object	Input		Sub-system
Ta	Ta	Par Envir	
type Polluant	type Polluant	Constantes Reglages	
S _T	ST	Par Envir	
Cs _{racinaire}	Cs _{attrib}	Sol racinaire	
B _w	B _w	Par expo	
D _{pt}	Depot _{part,total,Parameter}	Par Envir	
Object	Output	Sub-system	
Cp	Cp ₁	Poule	
	Cp ₁	Porc	

Interaction Matrix

Input																	1
	Src1	Facteur de transfert lié au dépôt atmosphérique sur les végétaux		Facteur de transfert lié au dépôt de particules minimes en suspension à partir du sol sur les vég.				Facteur de transfert lié au dépôt de l'irrigation par aspersion									2
		Masse de polluant sur les parties consom. des plantes due au dépôt atm. direct								Coef. de transf. par action de la pluie et du vent							3
				Concentration dans la plante récoltée, due au dépôt atmosphérique direct													4
																	5
																	6
																	7
																	8
																	9
																	10
																	11
																	12
																	13
																	14
																	15
																	16
																	17
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	

General variable summary

Scalar general variables

Full Name	Symbol	Unit
type_plante	type plante	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer de quel type est le végétal considéré		
Value	Predefined value	
grains		

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cp	definition Cp	
Description		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Cereales.valeur_entree
Arsenic	valeur_calculée	Cereales.valeur_entree
Cobalt	valeur_calculée	Cereales.valeur_entree
Nickel	valeur_calculée	Cereales.valeur_entree
Plomb	valeur_calculée	Cereales.valeur_entree

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de bioconcentration du sol ou de l'eau du sol vers la plante	Br	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui.Sélectionner le type de facteur de bioconcentration à prendre en compte pour estimer l'impact du prélèvement direct du sol vers les plantes : facteur de bioconcentration sol-plante défini par l'utilisateur (Br_E), facteur de bioconcentration sol-plante défini par une relation empirique (Br_QSAR) ou facteur de bioconcentration eau du sol-plante (Br_prime_QSAR). Relations Br_QSAR et Br_prime_QSAR : applicable uniquement pour les substances organiques.Pas de relation utilisable pour calculer Br_prime_QSAR des substances avec logKow>4, dans le cas de végétaux de type grains. Attention à l'unité. Si Br=Br_QSAR ou Br_E, Br est en kg sec/kg.vegsec. Si Br=Br_prime_QSAR, Br est en m3/kg.vegfrs		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	Br_E	
Arsenic	Br_E	
Cobalt	Br_E	
Nickel	Br_E	
Plomb	Br_E	

Full Name	Symbol	Unit
prelevement_direct_sol	prelevement direct sol	

Description

A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante.

Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	oui	Cereales.oui
Arsenic	oui	Cereales.oui
Cobalt	oui	Cereales.oui
Nickel	oui	Cereales.oui
Plomb	oui	Cereales.oui

Parameter summary

Scalar parameters

Full Name				Symbol	Unit
Date de récolte annuelle des végétaux				T _{récolte}	year
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. (Définir une valeur inférieure ou égale à 0,96)					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.85					
Comment					
Valeur correspond à une durée d'exposition de 0,8 an (Trecolte-Tdat_prel) et correspondant au blé d'hiver					

Full Name				Symbol	Unit
Date du début du prélèvement sol				Tdat prel	year
Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui. La valeur doit être inférieure à celle de Trecolte.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.05					
Comment					
Par défaut : certaines céréales sont plantées l'année précédente de leur récolte mais MODULERS ne permet pas de représenter ce type de situation					

Full Name				Symbol	Unit
Fraction de la quantité consommée et exposée à la contamination du site pour le végétal				f	unitless
				veg,exp	
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
1.0					

Full Name	Symbol	Unit
Teneur en matière sèche des végétaux	tsp	

kg vegsec kg vegfrais
-1

Description					
A définir si definition_Cp=valeur_calculée.					
Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
0.85					
Comment					
Vérifié					

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit
Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)	Br_E	mg kg ⁻¹ vegsec (mg kg ⁻¹) ⁻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					
Arsenic	0.82	-1.0	1.2E-4	0.82	logn(0.301,6.56,1.1E-4,1.8)	
Cobalt	0.0032	-1.0				
Nickel	0.014	-1.0	0.0018	0.014	logn(0.00521,0.0028,0.0017,0.012)	
Plomb	0.0047	-1.0	3.3E-4	0.0047	logn(0.00153,0.00111,3.5E-4,0.0044)	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	
Arsenic	perc.50 de la distribution : 1,38e-2
Cobalt	
Nickel	perc.50 de la distribution : 4,59e-3 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Plomb	perc.50 de la distribution : 1,24e-3 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452

Full Name	Symbol	Unit
Facteur de décontamination du produit d'origine végétale avant consommation	f _{veg,dec}	unitless

Description
A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal

Materials	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	1.0					
Arsenic	1.0					

Cobalt	1.0
Nickel	1.0
Plomb	1.0

Full Name	Symbol	Unit
Masse de ce type de produit d'origine végétale ingérée par jour par la cible humaine	Q_{veg}	$kg_{veg} \text{ frais } d^{-1}$

Description

A définir pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de ce type de végétal.
Quelle qu'en soit l'origine.

Classes_d'age	Value	Predefined	Min value	Max value	PDF	Predefined
classe_1	0.0					
classe_10	0.0					
classe_2	0.0					
classe_3	0.0					
classe_4	0.0					
classe_5	0.0					
classe_6	0.0					
classe_7	0.0					
classe_8	0.0					
classe_9	0.0					

General variable changes

Vector general variables

Full Name	Symbol	Unit
definition_Cp	definition Cp	
Description		
Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	valeur_calculée	Cereales.valeur_entree
Arsenic	valeur_calculée	Cereales.valeur_entree
Cobalt	valeur_calculée	Cereales.valeur_entree
Nickel	valeur_calculée	Cereales.valeur_entree
Plomb	valeur_calculée	Cereales.valeur_entree

Full Name	Symbol	Unit
prelevement_direct_sol	prelevement direct sol	
Description		
A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante.		
Materials	Value	Predefined value
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	oui	Cereales.oui
Arsenic	oui	Cereales.oui
Cobalt	oui	Cereales.oui
Nickel	oui	Cereales.oui
Plomb	oui	Cereales.oui

Parameter changes

Vector parameters

Full Name	Symbol	Unit				
Br_E (Facteur de bioconcentration sol-plante)	Br _E	mg kg _{vegsec} ⁻¹ (mg kg ⁻¹) ⁻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					
Arsenic	0.82	-1.0	1.2E-4	0.82	logn(0.301,6.56,1.1E-4,1.8)	
Cobalt	0.0032	-1.0				
Nickel	0.014	-1.0	0.0018	0.014	logn(0.00521,0.0028,0.0017,0.012)	
Plomb	0.0047	-1.0	3.3E-4	0.0047	logn(0.00153,0.00111,3.5E-4,0.0044)	

Materials	Comment
2378_Tétrachlorodibenzodioxine	
Arsenic	perc.50 de la distribution : 1,38e-2
Cobalt	
Nickel	perc.50 de la distribution : 4,59e-3 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452
Plomb	perc.50 de la distribution : 1,24e-3 - Informations complémentaires dans INERIS-DRC-17-163615-01452

5. 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)
	Custom:20.9
	Custom:20.99
	Custom:20.96
Solver	DOPRI45
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

6. Simulation outputs

Output	Description
C_{s,tot,C}	Concentration totale dans le sol calculée comme la somme de la concentration attribuable à la (aux) source(s) de contamination locale étudiée(s) et du bruit de fond
Dose_{ingsol,classe,age}	
Dose_{ingsol,freq,expo,classe,age}	
Dose_{ingsol,freq,expo,individu}	Dose d'exposition liée à l'ingestion de sol et de poussières, calculée en fonction de l'âge de l'individu
C_{s,tot,C}	Concentration totale dans le sol calculée comme la somme de la concentration attribuable à la (aux) source(s) de contamination locale étudiée(s) et du bruit de fond
Dose_{ingsol,classe,age}	
Cs	A définir pour le calcul des doses d'exposition liées à l'ingestion de sol. Sélectionner la concentration à utiliser pour le calcul des niveaux d'exposition et de risque : concentration attribuable à la ou aux source(s) étudiée(s) (Cs_attrib) ou concentration totale (Cs_tot).
Dose_{ingsol,freq,expo,classe,age}	
Dose_{ingsol,freq,expo,individu}	Dose d'exposition liée à l'ingestion de sol et de poussières, calculée en fonction de l'âge de l'individu
Dose_{ing,cum,classe,age}	
Dose_{anim1,classe,age}	A définir en l'absence de connexion avec le module de calcul Animaux_terrestres ou Vache. Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine animale (viande).
Dose_{anim2,classe,age}	A définir en l'absence de connexion avec le module de calcul Animaux_terrestres ou Vache. Dose d'exposition par ingestion de produits excrétés par l'animal (lait ou oeufs)
Dose_{ingsol,freq,expo,classe,age}	A définir en l'absence de connexion avec un module de calcul Sol
Dose_{veg,classe,age}	A définir en l'absence de connexion avec un module de calcul Vegetaux
	Quel que soit le type de végétal ingéré par la cible
Dose_{ing,individu}	
Dose_{anim2,classe,age}	Dose d'exposition par ingestion de produits excrétés par l'animal (lait ou oeufs)
Dose_{anim1,classe,age}	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine animale (viande)
Canim2 moy an interm	Calcul intermédiaire de la concentration dans le tissu 2 en moyenne annuelle
Canim1 moy an interm	Calcul intermédiaire de la concentration dans le tissu 1 en moyenne annuelle
Dose_{anim1,individu}	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine animale (viande), calculée en fonction de l'âge de l'individu
Dose_{anim2,individu}	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine animale (produits excrétés par l'animal : lait, oeufs), calculée en fonction de l'âge de l'individu
Canim1	tissu 1 : viande, matières grasses
Canim2	tissu 2 : lait, oeufs ou matières grasses de ces produits
C_{p,C}	Concentration dans la plante à la récolte calculée par le modèle
Dose_{veg,classe,age}	
Dose_{veg,individu}	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine végétale, calculée en fonction de l'âge de

	l'individu
$C_{p,C}$	Concentration dans la plante à la récolte calculée par le modèle
$Dose_{veg,classe,age}$	
$Dose_{veg,individu}$	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine végétale, calculée en fonction de l'âge de l'individu
$C_{p,C}$	Concentration dans la plante à la récolte calculée par le modèle
$Dose_{veg,classe,age}$	
$Dose_{veg,individu}$	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine végétale, calculée en fonction de l'âge de l'individu
$C_{p,C}$	Concentration dans la plante à la récolte calculée par le modèle
$Dose_{veg,classe,age}$	
$Dose_{veg,individu}$	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine végétale, calculée en fonction de l'âge de l'individu
$C_{p,C}$	Concentration dans la plante à la récolte calculée par le modèle
$Dose_{veg,classe,age}$	
$Dose_{veg,individu}$	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine végétale, calculée en fonction de l'âge de l'individu
$D_{a,sol,1}$	
$D_{a,veg,1}$	
$Canim1_{C1}$	La concentration est calculée à partir du facteur de biotransfert BT_1 ou à partir du facteur de bioconcentration BCF si BT_1 est inférieur ou égal à 0. Attention : ce calcul 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
$Canim2_{C1}$	La concentration est calculée à partir du facteur de biotransfert BT_2 ou à partir du facteur de bioconcentration BCF si BT_2 est inférieur ou égal à 0. Attention : ce calcul n'a de sens que si les conditions d'exposition (prise en compte dans le calcul des conditions d'exposition de l'animal en période de lactation) 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, oeufs ou matières grasses de ces produits
$m_{anim\ 1\ interm}$	Calcul intermédiaire de la masse de polluant dans l'organisme animal au temps t
$Canim1_{C2}$	La concentration est calculée par une approche dynamique à la fin de la vie de l'animal tissu 1 : viande, matières grasses
$Canim2_{C2}$	Calcul de la concentration par approche dynamique. tissu 2 : lait, oeufs ou matières grasses de ces produits.
$Dose_{anim2,classe,age}$	Dose d'exposition par ingestion de produits excrétés par l'animal (lait ou oeufs)
$Dose_{anim1,classe,age}$	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine animale (viande)
$Canim2_{moy\ an\ interm}$	Calcul intermédiaire de la concentration dans le tissu 2 en moyenne annuelle
$Canim1_{moy\ an\ interm}$	Calcul intermédiaire de la concentration dans le tissu 1 en moyenne annuelle
$Dose_{a,ext}$	
$D_{a,sol,2}$	
$D_{a,sol,3}$	
$D_{a,veg,2}$	

D_{a,veg,4}	
D_{a,veg,3}	
D_{a,veg,5}	
D_{a,eau,1}	
D_{a,eau,2}	
D_{a,eau,3}	
Cs₁	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)
Cs₂	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)
Cs₃	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)
Cp₁	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux
Cp₂	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux
Cp₃	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux
Cp₄	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 4 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux
Cp₅	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 5 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux
Ce₁	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).
Ce₃	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).
Ce₂	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction

dissoute ou fraction dissoute et particulière selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).

Dose a ext moy an interm	Calcul intermédiaire de la quantité de polluant ingérée par l'animal en moyenne annuelle
Canim1 moy an	tissu 1 : viande, matières grasses
Canim2 moy an	tissu 2 : laits, oeufs ou matières grasses de ces produits.
m anim decalage	Calcul intermédiaire de la masse de polluant dans l'organisme animal
m_{anim,1}	Calcul à la fin de la vie de l'animal
Dose a ext moy an	
Canim1_E	A définir si definition_Canim1=valeur_entree. tissu 1 : viande, matières grasses
Canim2_E	A définir si definition_Canim2=valeur_entree. tissu 2 : laits, oeufs ou matières grasses de ces produits.
Dose_{anim1,individu}	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine animale (viande), calculée en fonction de l'âge de l'individu
Dose_{anim2,individu}	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine animale (produits excrétés par l'animal : lait, oeufs), calculée en fonction de l'âge de l'individu
type expr Canim	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
test_{expr,Canim}	Cette fonction_test bloque la simulation, si l'utilisateur n'indique pas sous quelle forme sont ou doivent être estimées les concentrations dans les tissus 1 et 2 : concentrations rapportées au poids frais ou au poids de matière grasse, ou s'il utilise pour une même substance la fonction BCF_fat_QSAR donnant un BCF exprimé en kg/kg mg et que type_expr_Canim=poids_frais.
definition Canim1	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
definition Canim2	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
Canim1	tissu 1 : viande, matières grasses
Canim2	tissu 2 : lait, oeufs ou matières grasses de ces produits
BCFanim_{fat,QSAR}	Valeur calculée en fonction du Kow de la substance étudiée. La valeur calculée est donnée en kg.kg⁻¹ de matières grasses
K_{ow}	La valeur de Kow_E est utilisée de manière prioritaire par rapport à logKow_E
definition Coefficient_{anim1}	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

definition Coefficient anim2

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

Dose a int

m_{dap}	Masse de polluant sur les parties consommables des plantes due au dépôt atm. direct : équation 1.6.8. (valeur numérique donnée pour une surface de 500 m2)
$\theta_{exp,veg}$	Période d'exposition des végétaux aux dépôts
f_l	Fonction du stade de développement des parties consommables des plantes
$C_{p,C}$	Concentration dans la plante à la récolte calculée par le modèle
F_g	équation 1.1.34 - Valeur mise à -1 si les paramètres nécessaires pour estimer F_g n'ont pas été renseignés. Approche applicable pour les substances organiques (hors mercure organique)
Ta	A définir si definition_Cp=valeur_calculée, absorption_gazeuse=oui et Cag_e n'est pas définie (y compris par un module amont, par connexion) ou bien si definition_Cp=valeur_calculée, absorption_gazeuse=oui et Bf=Bf_QSAR
C_{ag}	
$Cap_{e,sol,C}$	Concentration de polluant dans l'air sous forme particulaire et issue du sol: valeur calculée par l'équation 1.2.1
Cap e sol	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)
m_{dsp}	Masse de polluant pour les parties consommables des plantes due au dépôt de particules remises en suspension à partir du sol. (valeur numérique donnée pour une surface de 500 m2)
$Cs_{racinaire}$	A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui ou bien si definition_Cp=valeur_calculée et Cs_part_susp=Cs_racinaire avec depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depots_indirects_sol=option_f_part_veg. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)
$D_{p,sol,p}$	Equation 1.6.36
D_{ph}	A définir si option_depots1 retenue pour definition_depot_atmospheriques
D_{pt}	A définir si option_depots2 ou option_depots3 retenue pour definition_depot_atmospheriques
$D_{p,somme}$	Si la simulation est bloquée et que le modèle indique que cette variable a une valeur infinie, vérifier la valeur attribuée à "definition_depots_atmospheriques"
D_{ps}	A définir si option_depots1 retenue pour definition_depot_atmospheriques
Bf_QSAR	Facteur de bioconcentration air-plante : valeur calculée à partir de la relation de Bacci (1992)
Br_prime,QSAR	Valeur estimée par des relations empiriques du type QSAR (relations établies par Briggs, 1982, 1983 et Ryan, 1988). Pour les fourrages, grains et autres parties supérieures de végétaux, l'équation proposée n'est pas utilisable pour les substances ayant un log Kow supérieur à 4.
Pvap_L,Ta	Valeur mise à -1 si les paramètres nécessaires pour estimer F_g n'ont pas été renseignés
$Cs_{part,susp}$	A définir si definition_Cp=valeur_calculée, Cap_e_sol=Cap_e_sol_C et depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou si definition_Cp=valeur_calculée et depots_indirects_sol=option_f_part_veg. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot(Concentration totale dans le sol)

Cair	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.
Br	A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui. Sélectionner le type de facteur de bioconcentration à prendre en compte pour estimer l'impact du prélèvement direct du sol vers les plantes : facteur de bioconcentration sol-plante défini par l'utilisateur (Br_E), facteur de bioconcentration sol-plante défini par une relation empirique (Br_QSAR) ou facteur de bioconcentration eau du sol-plante (Br_prime_QSAR). Relations Br_QSAR et Br_prime_QSAR : applicable uniquement pour les substances organiques. Pas de relation utilisable pour calculer Br_prime_QSAR des substances avec logKow>4, dans le cas de végétaux de type fourrage. Attention à l'unité. Si Br=Br_QSAR ou Br_E, Br est en kg sec/kg.vegsec. Si Br=Br_prime_QSAR, Br est en m3/kg.vegfrais
Cs racinaire moy interm	Calcul de la concentration moyenne dans le sol pendant la période de culture
definition depots atmospheriques	A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=oui. 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
Bf	A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si absorption_gazeuse=oui. Sélectionner le facteur de bioconcentration à utiliser pour le transfert par absorption gazeuse : valeur définie par l'utilisateur (Bf_E) ou estimée par une QSAR (Bf_QSAR : applicable que pour les substances organiques)
C_{rp}	
Ces racinaire moy interm	Calcul de la concentration moyenne dans l'eau du sol pendant la période de culture
Cag moy interm	Calcul de la concentration moyenne de polluant en phase gazeuse dans l'air pendant la période de culture
Cs part susp moy interm	Calcul de la concentration moyenne dans le sol pendant la période de culture (concentration prise en compte pour calculer l'impact du rainsplash sur les plantes)
C_{dap}	
Cdsp vit dep recolte	Concentration dans la plante récoltée, attribuable au dépôt indirect à partir des particules du sol mises en suspension puis déposées sur la plante
C_{gp}	
Cdsp rainsplash recolte	Concentration dans la plante récoltée, attribuable au dépôt indirect, à partir des particules du sol déposées sur la plante par rainsplash (fraction de particules adhérent à la plante)
prelevement direct sol	A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante.
depots particulaires atm	A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte le dépôt de particules atmosphériques direct pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les 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".
absorption gazeuse	A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les végétaux correspondant à la partie foliaire ou autres parties supérieures des plantes en dehors du grain (cf. type_plante). Sélectionner "non" si type_plante est différent de autres_parties_superieures ou si type_plante est différent de fourrage.
C_{dsp}	
xj	sert au calcul de la concentration dans l'eau du sol et donc de la concentration dans la plante liée au prélèvement direct à partir du facteur de bioconcentration eau du sol-plante (Br_prime).
xj IndexOp	Calcul intermédiaire de la fraction molaire

x_j calcul,inter1	Calcul intermédiaire de la fraction molaire
K_d	La valeur est estimée par de ordre de priorité à partir de : K_d_E puis $\log K_d\_E$ puis K_d_QSAR . Si aucune valeur n'est définie pour K_d_E , $\log K_d\_E$, Koc et $\log Koc$, la simulation est stoppée car une valeur infinie est calculée pour K_d .
K_d_QSAR	Coefficient de partition du polluant entre les particules du sol et l'eau du sol : valeur estimée. K_dQSAR est estimée en priorité à partir de : Koc puis de $\log Koc$
T_s	A définir si definition_Cp=valeur_calculée, si prelevement_direct_sol=oui et si Br=Br_prime_QSAR.
	Valeur pour des sols de surface définie comme égale à la valeur moyenne de la température atmosphérique en France métropolitaine
α	
θ	A définir si definition_Cp=valeur_calculée, si prelevement_direct_sol=oui et si Br=Br_prime_QSAR.
	A définir en fonction du bilan hydrique, sables : de 0,04 à 0,28, limons : de 0,10 à 0,34, argile : 0,15 à 0,39 (Bruand, 2004 ; Cornell University ; EPFL, 2006)
$C_{e,irrig}$	A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depot_irrigation=oui. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : $Cd\_e\_sup\_attrib$, Ce_sup_attrib , $Cd\_e\_sup\_tot$, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).
Irrigation	A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depot_irrigation=oui Peut être défini à partir du fichier bilan hydrique
m_{dip}	Masse de polluant sur les parties consommables des plantes due à l'irrigation par aspersion. (valeur numérique donnée pour une surface de 500 m2)
C_{ip}	
x_j calcul,inter2	Calcul intermédiaire de la fraction molaire
I	
modele interception	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)
Dose veg,classe,age	
depot irrigation	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".
Ces racinaire	
Event Trecolte	
Event Texp veg	
Event Tdat prel	
Event Tcrois max	
Dose veg,individu	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine végétale, calculée en fonction de l'âge de

	l'individu
Cp_E	A définir si definition_Cp=valeur_entree. Valeur définie par l'utilisateur
Cap_{e,sol,E}	A définir si definition_Cp=valeur_calculée, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part et si Cap_e_sol=Cap_e_sol_E. Valeur définie par l'utilisateur (attention concentration en mg/m3).
Br_{QSAR}	Facteur de bioconcentration sol-plante pour les parties supérieures des plantes et le fourrage : valeur estimée par une relation empirique QSAR (relation de Travis et Arms, 1988) - Relation utilisée ici par extension pour les grains. Pas de relation QSAR proposée pour les parties racinaires et les tubercules
type plante	A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer de quel type est le végétal considéré
melange	A définir si definition_Cp=valeur_calculée, prelevement_direct_sol=oui et Br= Br_prime_QSAR. Indiquer si la substance doit être considérée en mélange dans le sol. Dans ce cas, la fraction molaire de la substance dans le mélange est calculée, ainsi que les concentrations dans l'eau du sol en présence d'une phase résiduaire.
test_{plante}	Cette fonction_test bloque la simulation, si le type de plante n'est pas défini et si la concentration dans la plante doit être calculée
MVs	
depots indirects sol	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 adhérant 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".
definition Cp	Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)
Cp	
Event post recolte	
Cag_e	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_e (Concentration de polluant dans l'air sous forme gazeuse). Cag_e peut être définie par un module amont (par connexion à partir de Cag_e dans le module "Par_envir", à partir de Cag_e_Hb_attrib ou à partir de Cag_e_Hb_tot dans le module "Conc_gaz_ext"). Si Cag_e et Cair sont renseignés, Cag_e est utilisée prioritairement. Si l'on veut utiliser Cair, laisser la valeur -1 par défaut pour Cag,e
K_{ow}	La valeur de Kow_E est utilisée de manière prioritaire par rapport à logKow_E
test_{polluant}	Cette fonction-test bloque la simulation, si le type de la substance n'est pas défini
type Polluant	Indiquer s'il s'agit d'un polluant organique ou inorganique
Pss	A définir si definition_Cp=valeur_calculée, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part et Cap_e_sol=Cap_e_sol_C.
	Valeur par défaut : 10 ⁻⁷ kg.m ⁻³ : ECETOC (1992), USD0e (2003)
S_L	Pour les substances dont la température de fusion est supérieure à la température du milieu, la solubilité en phase liquide est calculée
D_{a,sol,1}	
D_{a,veg,1}	
Canim1_{C1}	La concentration est calculée à partir du facteur de biotransfert BT_1 ou à partir du facteur de bioconcentration BCF si BT_1 est inférieur ou égal à 0. Attention : ce calcul 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

Canim2_{C1}	La concentration est calculée à partir du facteur de biotransfert BT_2 ou à partir du facteur de bioconcentration BCF si BT_2 est inférieur ou égal à 0. Attention : ce calcul n'a de sens que si les conditions d'exposition (prise en compte dans le calcul des conditions d'exposition de l'animal en période de lactation) 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, oeufs ou matières grasses de ces produits
m anim 1 interm	Calcul intermédiaire de la masse de polluant dans l'organisme animal au temps t
Canim1_{C2}	La concentration est calculée par une approche dynamique à la fin de la vie de l'animal tissu 1 : viande, matières grasses
Canim2_{C2}	Calcul de la concentration par approche dynamique. tissu 2 : lait, oeufs ou matières grasses de ces produits.
Dose_{anim2,classe,age}	Dose d'exposition par ingestion de produits excrétés par l'animal (lait ou oeufs)
Dose_{anim1,classe,age}	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine animale (viande)
Canim2 moy an interm	Calcul intermédiaire de la concentration dans le tissu 2 en moyenne annuelle
Canim1 moy an interm	Calcul intermédiaire de la concentration dans le tissu 1 en moyenne annuelle
Dose_{a,ext}	
D_{a,sol,2}	
D_{a,sol,3}	
D_{a,veg,2}	
D_{a,veg,4}	
D_{a,veg,3}	
D_{a,veg,5}	
D_{a,eau,1}	
D_{a,eau,2}	
D_{a,eau,3}	
Cs₁	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)
Cs₂	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)
Cs₃	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de sol 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)
Cp₁	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux
Cp₂	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 2 et si definition_Canim1 ou

	definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux
Cp 3	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux
Cp 4	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 4 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux
Cp 5	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion du végétal 5 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut-être connectée à Cp (Concentration dans la plante à la récolte) calculée par le module Végétaux
Ce 1	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 1 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).
Ce 3	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 3 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).
Ce 2	A définir en cas d'exposition de l'animal par ingestion de l'eau 2 et si definition_Canim1 ou definition_Canim2 est égale à approche_stationnaire ou approche_dynamique. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).
Dose a ext moy an interm	Calcul intermédiaire de la quantité de polluant ingérée par l'animal en moyenne annuelle
Canim1 moy an	tissu 1 : viande, matières grasses
Canim2 moy an	tissu 2 : laits, oeufs ou matières grasses de ces produits.
m anim decalage	Calcul intermédiaire de la masse de polluant dans l'organisme animal
m_{anim,1}	Calcul à la fin de la vie de l'animal
Dose a ext moy an	
Canim1_E	A définir si definition_Canim1=valeur_entree. tissu 1 : viande, matières grasses
Canim2_E	A définir si definition_Canim2=valeur_entree. tissu 2 : laits, oeufs ou matières grasses de ces produits.
Dose_{anim1,individu}	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine animale (viande), calculée en fonction de l'âge de l'individu
Dose_{anim2,individu}	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine animale (produits excrétés par l'animal : lait, oeufs), calculée en fonction de l'âge de l'individu
type expr Canim	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

test expr,Canim	Cette fonction_test bloque la simulation, si l'utilisateur n'indique pas sous quelle forme sont ou doivent être estimées les concentrations dans les tissus 1 et 2 : concentrations rapportées au poids frais ou au poids de matière grasse, ou s'il utilise pour une même substance la fonction BCF_fat_QSAR donnant un BCF exprimé en kg/kg mg et que type_expr_Canim=poids_frais.
definition Canim1	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
definition Canim2	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
Canim1	tissu 1 : viande, matières grasses
Canim2	tissu 2 : lait, oeufs ou matières grasses de ces produits
BCFanim fat,QSAR	Valeur calculée en fonction du Kow de la substance étudiée. La valeur calculée est donnée en kg.kg⁻¹ de matières grasses (relation de USEPA, 2005, calcul du BCF avec une hypothèse sur les consommations alimentaires de 10 kg sec/jour pour les données ayant servi à définir la relation)
K_{ow}	La valeur de Kow_E est utilisée de manière prioritaire par rapport à logKow_E
definition Coefficient anim1	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
definition Coefficient anim2	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
Dose a int	
m_{dap}	Masse de polluant sur les parties consommables des plantes due au dépôt atm. direct : équation 1.6.8. (valeur numérique donnée pour une surface de 500 m2)
θ_{exp,veg}	Période d'exposition des végétaux aux dépôts
f_l	Fonction du stade de développement des parties consommables des plantes
C_{p,C}	Concentration dans la plante à la récolte calculée par le modèle
F_g	équation 1.1.34 - Valeur mise à -1 si les paramètres nécessaires pour estimer Fg n'ont pas été renseignés. Approche applicable pour les substances organiques (hors mercure organique)
Ta	A définir si definition_Cp=valeur_calculée, absorption_gazeuse=oui et Cag_e n'est pas définie (y compris par un module amont, par connexion) ou bien si definition_Cp=valeur_calculée, absorption_gazeuse=oui et Bf=Bf_QSAR
C_{ag}	
Cap_{e,sol,C}	Concentration de polluant dans l'air sous forme particulaire et issue du sol: valeur calculée par l'équation 1.2.1
Cap e sol	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)

m_{dsp}	Masse de polluant pour les parties consommables des plantes due au dépôt de particules remises en suspension à partir du sol. (valeur numérique donnée pour une surface de 500 m2)
Cs_{racinaire}	A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui ou bien si definition_Cp=valeur_calculée et Cs_part_susp=Cs_racinaire avec depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou depots_indirects_sol=option_f_part_veg. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot (Concentration totale dans le sol)
D_{p,sol,p}	Equation 1.6.36
D_{ph}	A définir si option_depots1 retenue pour definition_depot_atmospheriques
D_{pt}	A définir si option_depots2 ou option_depots3 retenue pour definition_depot_atmospheriques
D_{p,somme}	Si la simulation est bloquée et que le modèle indique que cette variable a une valeur infinie, vérifier la valeur attribuée à "definition_depots_atmospheriques"
D_{ps}	A définir si option_depots1 retenue pour definition_depot_atmospheriques
Bf_{QSAR}	Facteur de bioconcentration air-plante : valeur calculée à partir de la relation de Bacci (1992)
Br_{prime, QSAR}	Valeur estimée par des relations empiriques du type QSAR (relations établies par Briggs, 1982, 1983 et Ryan, 1988). Pour les fourrages, grains et autres parties supérieures de végétaux, l'équation proposée n'est pas utilisable pour les substances ayant un log Kow supérieur à 4.
Pvap_{L,Ta}	Valeur mise à -1 si les paramètres nécessaires pour estimer Fg n'ont pas été renseignés
Cs_{part,susp}	A définir si definition_Cp=valeur_calculée, Cap_e_sol=Cap_e_sol_C et depots_indirects_sol=option_vit_depot_part ou si definition_Cp=valeur_calculée et depots_indirects_sol=option_f_part_veg. Peut être connectée à la concentration dans le sol calculée par le module Sol : Cs_attrib (Concentration dans le sol attribuable à ou aux source(s) de contamination étudiée(s)) ou Cs_tot(Concentration totale dans le sol)
Cair	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.
Br	A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si prelevement_direct_sol=oui. Sélectionner le type de facteur de bioconcentration à prendre en compte pour estimer l'impact du prélèvement direct du sol vers les plantes : facteur de bioconcentration sol-plante défini par l'utilisateur (Br_E), facteur de bioconcentration sol-plante défini par une relation empirique (Br_QSAR) ou facteur de bioconcentration eau du sol-plante (Br_prime_QSAR). Relations Br_QSAR et Br_prime_QSAR : applicable uniquement pour les substances organiques. Pas de relation utilisable pour calculer Br_prime_QSAR des substances avec logKow>4, dans le cas de végétaux de type grains. Attention à l'unité. Si Br=Br_QSAR ou Br_E, Br est en kg sec/kg.vegsec. Si Br=Br_prime_QSAR, Br est en m3/kg.vegsec
Cs_{racinaire moy interm}	Calcul de la concentration moyenne dans le sol pendant la période de culture
definition depots atmospheriques	A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depots_particulaires_atm=oui. 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 particuliers sec 2) dépôts gazeux totaux et/ou dépôts particuliers totaux 3) dépôts totaux
Bf	A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si absorption_gazeuse=oui. Sélectionner le facteur de bioconcentration à utiliser pour le transfert par absorption gazeuse : valeur définie par l'utilisateur (Bf_E) ou estimée par une QSAR (Bf_QSAR : applicable que pour les substances organiques)
C_{rp}	
Ces_{racinaire moy interm}	Calcul de la concentration moyenne dans l'eau du sol pendant la période de culture

C_{ag} moy interm	Calcul de la concentration moyenne de polluant en phase gazeuse dans l'air pendant la période de culture
C_s part susp moy interm	Calcul de la concentration moyenne dans le sol pendant la période de culture (concentration prise en compte pour calculer l'impact du rainsplash sur les plantes)
C_{dap}	
C_{dsp} vit dep recolte	Concentration dans la plante récoltée, attribuable au dépôt indirect à partir des particules du sol mises en suspension puis déposées sur la plante
C_{gp}	
C_{dsp} rainsplash recolte	Concentration dans la plante récoltée, attribuable au dépôt indirect, à partir des particules du sol déposées sur la plante par rainsplash (fraction de particules adhérent à la plante)
prelevement direct sol	A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante.
depots particulaires atm	A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte le dépôt de particules atmosphériques direct pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les 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".
absorption gazeuse	A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer si vous souhaitez prendre en compte ce mécanisme de transfert pour cette catégorie de plante. Ce mécanisme de transfert n'est pris en compte par le modèle que pour les végétaux correspondant à la partie foliaire ou autres parties supérieures des plantes en dehors du grain (cf. type_plante). Sélectionner "non" si type_plante est différent de autres_parties_superieures ou si type_plante est différent de fourrage.
C_{dsp}	
x_j	sert au calcul de la concentration dans l'eau du sol et donc de la concentration dans la plante liée au prélèvement direct à partir du facteur de bioconcentration eau du sol-plante (Br_prime).
x_j IndexOp	Calcul intermédiaire de la fraction molaire
x_j calcul,inter1	Calcul intermédiaire de la fraction molaire
K_d	La valeur est estimée par de ordre de priorité à partir de : Kd_E puis logKd_E puis Kd_QSAR. Si aucune valeur n'est définie pour Kd_E, logKd_E, Koc et logKoc, la simulation est stoppée car une valeur infinie est calculée pour Kd.
K_d QSAR	Coefficient de partition du polluant entre les particules du sol et l'eau du sol : valeur estimée. KdQSAR est estimée en priorité à partir de : Koc puis de logKoc
T_s	A définir si definition_Cp=valeur_calculée, si prelevement_direct_sol=oui et si Br=Br_prime_QSAR.
	Valeur pour des sols de surface définie comme égale à la valeur moyenne de la température atmosphérique en France métropolitaine
α	
Θ	A définir si definition_Cp=valeur_calculée, si prelevement_direct_sol=oui et si Br=Br_prime_QSAR.
	A définir en fonction du bilan hydrique, sables : de 0,04 à 0,28, limons : de 0,10 à 0,34, argile : 0,15 à 0,39 (Bruand, 2004 ; Cornell University ; EPFL, 2006)
C_{e,irrig}	A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depot_irrigation=oui. Peut être connectée à la concentration dans l'eau calculée dans le module Eaux_superficielles (fraction dissoute ou fraction dissoute et particulaire selon le contexte) : Cd_e_sup_attrib, Ce_sup_attrib, Cd_e_sup_tot, Ce_sup_tot ou à la concentration calculée dans le module Eaux_souterraines : Ce_nap_attrib ou Ce_nap_tot (Concentration de polluant en phase dissoute dans l'eau souterraine).

Irrigation	A définir si definition_Cp=valeur_calculée et si depot_irrigation=oui Peut être défini à partir du fichier bilan hydrique
m_{dip}	Masse de polluant sur les parties consommables des plantes due à l'irrigation par aspersion. (valeur numérique donnée pour une surface de 500 m ²)
C_{ip}	
x_{j calcul,inter2}	Calcul intermédiaire de la fraction molaire
I	
modele interception	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)
Dose_{veg,classe,age}	
depot irrigation	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".
Ces_{racinaire}	
Event Trecolte	
Event Texp veg	
Event Tdat prel	
Event Tcrois max	
Dose_{veg,individu}	Dose d'exposition par ingestion de produits d'origine végétale, calculée en fonction de l'âge de l'individu
Cp_E	A définir si definition_Cp=valeur_entree. Valeur définie par l'utilisateur
Cap_{e,sol,E}	A définir si definition_Cp=valeur_calculée, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part et si Cap_e_sol=Cap_e_sol_E. Valeur définie par l'utilisateur (attention concentration en mg/m ³).
Br_{QSAR}	Facteur de bioconcentration sol-plante pour les parties supérieures des plantes et le fourrage : valeur estimée par une relation empirique QSAR (relation de Travis et Arms, 1988) - Relation utilisée ici par extension pour les grains. Pas de relation QSAR proposée pour les parties racinaires et les tubercules
type plante	A définir si definition_Cp=valeur_calculée. Indiquer de quel type est le végétal considéré
melange	A définir si definition_Cp=valeur_calculée, prelevement_direct_sol=oui et Br= Br_prime_QSAR. Indiquer si la substance doit être considérée en mélange dans le sol. Dans ce cas, la fraction molaire de la substance dans le mélange est calculée, ainsi que les concentrations dans l'eau du sol en présence d'une phase résiduaire.
test_{plante}	Cette fonction_test bloque la simulation, si le type de plante n'est pas défini et si la concentration dans la plante doit être calculée
MVs	
depots indirects sol	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".

definition Cp	Sélectionner le mode d'estimation de la concentration dans les végétaux : valeur calculée (Cp_C) ou valeur définie par l'utilisateur (Cp_E)
Cp	
Event post recolte	
Cag_e	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 _e (Concentration de polluant dans l'air sous forme gazeuse). Cag _e peut être définie par un module amont (par connexion à partir de Cag _e dans le module "Par_envir", à partir de Cag _e _Hb_attrib ou à partir de Cag _e _Hb_tot dans le module "Conc_gaz_ext"). Si Cag_e et Cair sont renseignés, Cag_e est utilisée prioritairement. Si l'on veut utiliser Cair, laisser la valeur -1 par défaut pour Cag_e
K_{ow}	La valeur de Kow_E est utilisée de manière prioritaire par rapport à logKow_E
test_{polluant}	Cette fonction-test bloque la simulation, si le type de la substance n'est pas défini
type Polluant	Indiquer s'il s'agit d'un polluant organique ou inorganique
Pss	A définir si definition_Cp=valeur_calculée, depots_indirects_sol=option_vit_depot_part et Cap _e _sol=Cap _e _sol_C.
	Valeur par défaut : 10 ⁻⁷ kg.m ⁻³ : ECETOC (1992), USDOe (2003)
S_L	Pour les substances dont la température de fusion est supérieure à la température du milieu, la solubilité en phase liquide est calculée