

ANNEXES



RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 79

- Annexe 1 - Présentation du logiciel de modélisation ADMS4

Cette annexe contient 4 pages



RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 80

Le modèle mathématique de dispersion qui a été utilisé pour cette étude, ADMS 4.2, est un modèle de trajectoire 3D à dispersion gaussienne, spécialement développé pour évaluer l'impact des rejets atmosphériques d'une grande variété de sources industrielles.

Le modèle permet principalement de déterminer la trajectoire précise des panaches industriels et de quantifier avec précision la redistribution des effluents autour des sites industriels. Les sources d'émission prises en compte peuvent être ponctuelles (des cheminées par exemple), mais aussi surfaciques et volumiques (sources diffuses, ateliers émetteurs, stockage), linéiques (trafic routier) et/ou provenant de « jets ». Ces émissions peuvent bien sûr être variables dans le temps.

Ce logiciel est particulièrement adapté à la problématique étudiée, car il permet de répondre aux 3 questions essentielles qui se posent lors de cette étude :

- **une bonne restitution des concentrations en micro-organismes ;**
- **la prise en compte de phénomènes souvent « pointés du doigt » par le public, les associations et l'administration : présence d'un relief, de bâtiments importants, météorologie spécifique, ...**
- **la reconnaissance et la validation du modèle.**

ADMS fait partie de la nouvelle génération des modèles gaussiens. Ses principales caractéristiques techniques sont les suivantes :

○ ***Description verticale de la couche atmosphérique (entre la surface et 2000 mètres d'altitude)***

L'un des points forts du modèle ADMS est de ne plus décrire la stabilité de l'atmosphère par les classes de Pasquill-Gifford (utilisées depuis les années 60), mais grâce à des paramètres physiques qui varient de façon continue (analyse d'échelle permettant notamment de caractériser le niveau de **turbulence atmosphérique dans les 3 dimensions**). Cette nouvelle approche présente deux avantages majeurs :

- une description continue de l'atmosphère, et non plus sous forme de classes limitant le nombre de situations météorologiques ;
- une description verticale de l'atmosphère, prenant en compte la turbulence atmosphérique générée par le frottement du vent au sol et le réchauffement de la surface par le rayonnement solaire. La couche atmosphérique n'est donc plus considérée comme une couche homogène et les paramètres de dispersion varient dans les 3 dimensions.

○ ***Pré-processeur météorologique***

ADMS intègre un pré-processeur météorologique, qui **recalcule les profils verticaux des paramètres météorologiques** (vent, température, turbulence), à partir des données de surface fournies par une station sur site ou du réseau de Météo France et des paramètres du site (occupation des sols et topographie). Une fois les profils verticaux établis, ADMS peut simuler la dispersion des panaches.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 81

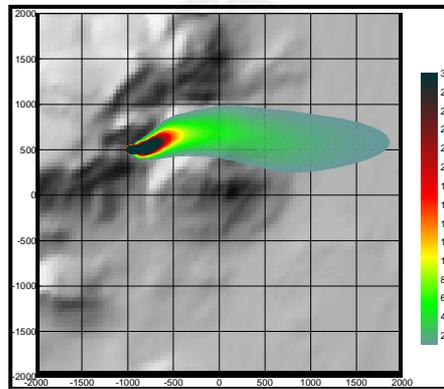
- **ADMS travaille en mode séquentiel horaire**

Contrairement à de nombreux logiciels gaussiens qui travaillent à partir d'une rose des vents, ADMS 4 intègre des **fichiers météorologiques réels**. Il effectue un calcul de dispersion pour chaque donnée météorologique horaire (de façon automatique et transparente pour l'utilisateur), et cela sur du long terme (jusqu'à 5 années). De plus, le pré-processeur intégré à ADMS tient compte des conditions météorologiques passées, ce qui permet **de prendre en compte l'évolution diurne de la couche atmosphérique** (situation convective par exemple), ce qui n'est pas le cas des gaussiens classiques.

- **Prise en compte du relief et de l'occupation des sols**

ADMS intègre un modèle fluide diagnostique, FLOWSTAR, qui **calcule les champs de vent et de turbulence en 3D** (résolution horizontale de l'ordre de 100 mètres, sur 10 niveaux verticaux) et pour chaque situation météorologique horaire. Il utilise les données topographiques directement disponibles auprès de l'IGN, et les données d'occupation des sols issues de la base CORINE Land Cover de l'IFEN.

Les modèles gaussiens « classiques » ne prennent généralement en compte le relief que de façon très grossière, en ré-évaluant de façon approximative la hauteur des panaches par rapport au sol. Le vent reste néanmoins constant sur tout le domaine d'étude. La modification de la trajectoire d'un panache liée à la présence d'une colline n'est pas envisageable, contrairement à ce qui est calculé par ADMS (exemple de résultat ci-dessous).

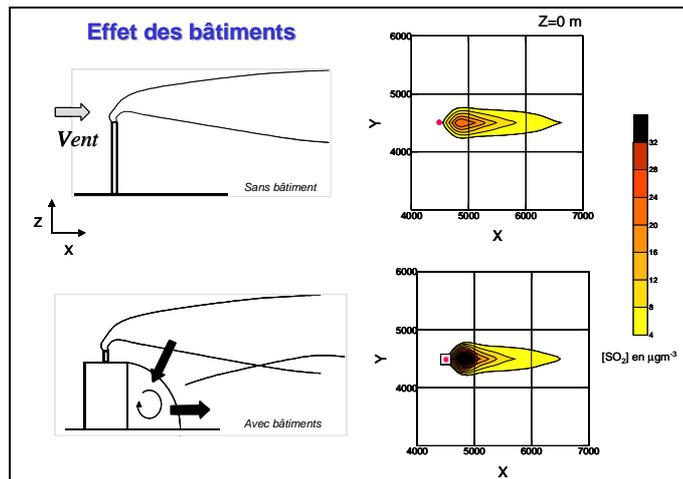


Dispersion d'un panache par ADMS sur un relief complexe.

- **Un module de bâtiment**

Un module de bâtiment (« Buildings Option ») permet de prendre en compte l'influence des bâtiments d'un site industriel sur la dispersion des panaches. A titre d'exemple, un exutoire situé en toiture d'un bâtiment industriel de 30 mètres, sera considéré comme une cheminée de 30 mètres de hauteur placée sur un terrain plat par les modèles gaussiens « classiques ». Au contraire, ADMS peut prendre en compte l'influence des bâtiments susceptibles de fortement perturber la dispersion (rabattement de panache, zones de recirculation...).

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 82



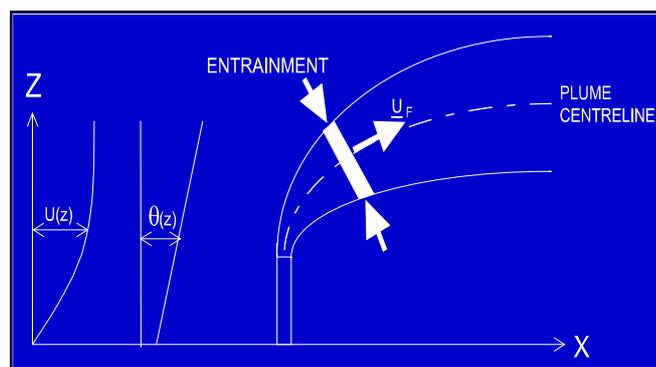
Effet d'un bâtiment industriel sur la dispersion d'un panache

o **Un modèle intégral de trajectoire de panache**

Afin de tenir compte des effets de vitesse et de température en sortie de cheminée sur l'élévation des panaches, beaucoup de modèles utilisent une simple « sur-hauteur » estimée empiriquement (formules de Holland, Briggs...).

ADMS utilise un **modèle lagrangien** qui calcule précisément la trajectoire des panaches en sortie de cheminée, en fonction des paramètres d'émission (vitesse et température) et des conditions atmosphériques (profils de vent et de température). **Ce modèle améliore nettement la précision des concentrations calculées.** Il prend également en compte les effets de sillage des cheminées (turbulence), lorsque celles-ci ont un diamètre important.

Remarque : ce sont principalement ces phénomènes turbulents induits par les bâtiments, la turbulence en sortie de cheminée et les effets de sillage qui font que les modèles gaussiens « classiques » ne sont pas valides dans un rayon inférieur à 100 mètres de la source, ce qui n'est pas le cas de ADMS dont le module bâtiment a par exemple été complètement validé par des tests en soufflerie.



Modèle intégral de trajectoire utilisé dans ADMS

Grâce à ses performances techniques, le modèle ADMS est considéré par l'INERIS¹ et l'US EPA comme la nouvelle génération (Advanced model) des modèles gaussiens de dispersion atmosphérique.

¹ Guide méthodologique « Évaluation des Risques Sanitaires dans les Études d'impact des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement », INERIS 2003

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 83

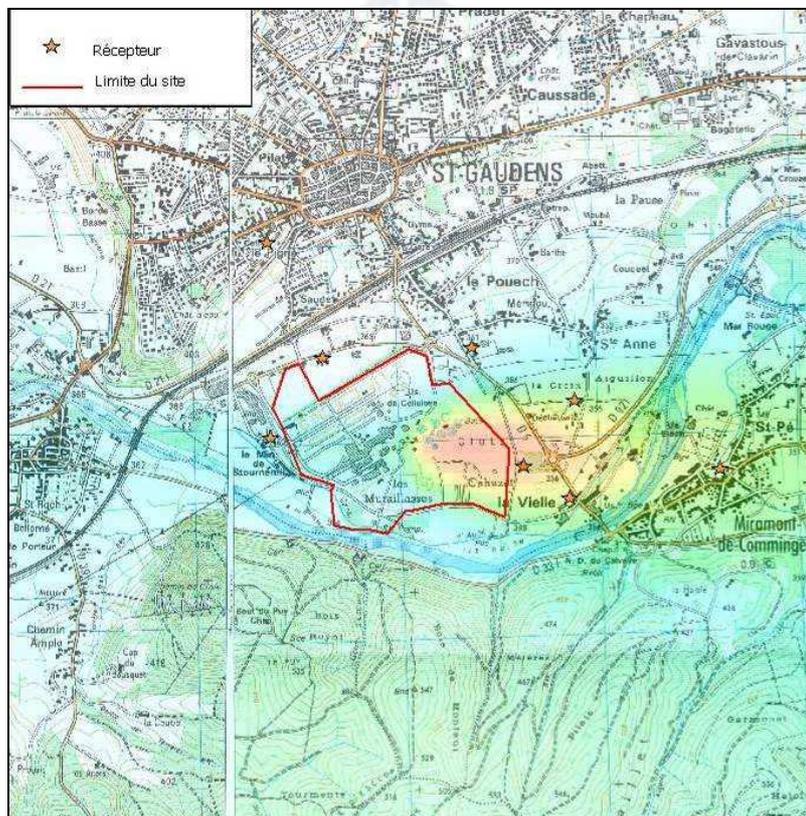
o **Les autres modules intégrés au logiciel**

Outre ses avantages techniques, ADMS intègre dans sa version de base de nombreux modules permettant de faire des calculs spécifiques, qui ne sont souvent pas proposés par les autres modèles de sa catégorie.

- Un module de côte, permettant de prendre en compte **l'interface terre/mer** lorsque les sites sont situés en bordure de mer ;
- Un module permettant d'entrer des **profils temporaires d'émission** (exemple : arrêt des installation la nuit ou le week-end), mais également des données horaires d'émission ;
- Un module permettant de calculer les **nuisances visuelles** des panaches (condensation des panaches en fonction des conditions météorologiques) ;
- La dispersion de **micro-organismes** pouvant constituer un risque sanitaire pour les populations (comme dans le cas des légionnelles), en prenant en compte les conditions de température et d'humidité dans le panache

o **Le rendu des résultats**

A titre d'exemple, nous vous présentons ci-dessous le type de cartes de résultats qu'il est possible d'obtenir.



o **Validations de l'outil ADMS 4**

ADMS a été validé internationalement : comparaison modèle/mesures, publication dans des revues scientifiques internationales, présentation régulière aux conférences internationales d'harmonisation, validation grâce à l'outil européen d'évaluation « Model Validation Kit »¹, ...

¹ 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 L, St. NW, Washington, DC 20005-4070, 1999.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 84

- Annexe 2 - Argumentaire santé

Cette annexe contient 60 pages



RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 85

Aluminium (Al)

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

L'aluminium (Al, n° CAS 7429-90-5) est l'élément métallique naturel le plus abondant de l'écorce terrestre dont il représente environ 8 %. Il n'y est présent que combiné avec l'oxygène, le silicium, le fluor ou d'autres éléments. On le trouve sous forme d'alumine Al_2O_3 (corindon, émeri, rubis, saphir, émeraude, etc...) ou hydratée (hydrargillite, boehmite, diaspore). La bauxite qui constitue le principal minerai contient de 40 à 60 % d'alumine (oxyde d'aluminium).

C'est un métal argenté et malléable. Il est remarquable pour sa résistance à l'oxydation et sa faible densité.

L'émission par les sols ou les roches de particules contenant de l'aluminium ainsi que l'activité volcanique, constituent les principales sources naturelles d'exposition à l'aluminium.

La production d'aluminium et de ses composés ainsi que les industries liées aux multiples utilisations sont les principales sources anthropiques de pollution. L'industrie minière, l'agriculture, la combustion du charbon, les fonderies et les échappements des automobiles contribuent également à la contamination de l'environnement par l'aluminium.

Voies d'exposition et absorption et Métabolisation

L'aluminium élémentaire est insoluble dans l'eau froide ou chaude (HSDB, 2002). Le comportement de l'aluminium dans les sols est très similaire à celui dans l'eau. Cependant, dans les sols, l'aluminium entre dans la composition de nombreux minéraux (Habs et al. 1997). L'apport journalier normal d'aluminium provient à 95 % de l'alimentation et de l'eau.

Dans l'air, l'aluminium est transporté dans l'atmosphère sous forme de particules. Dans ces particules, il est présent sous forme de silicates, d'oxydes et d'hydroxydes (ATSDR, 1999). Ces composés ne peuvent pas être oxydés, ce qui exclut toute transformation chimique lors de leur transport atmosphérique. La majorité de l'aluminium est associée à des particules de diamètre supérieur à 2 μm , et est donc déposée au sol à proximité de la source d'émission (ATSDR, 1999 ; Habs et al. 1997). Une partie des particules contenant de l'aluminium arrivant au niveau du tractus respiratoire est éliminée par une action mucociliaire et entre dans le tractus digestif (OMS IPCS, 1997). L'absorption de l'aluminium peut aussi s'effectuer par les voies respiratoires supérieures. Des études ont ainsi démontré que l'aluminium peut passer l'épithélium nasal et atteindre le cerveau via le transport axonal (ATSDR, 1999).

B) Valeurs guides

Valeurs guides

La réglementation française (Décret n° 2001 – 1220 du 20 décembre 2001) et européenne (Directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998) donne une valeur indicative pour **les eaux de boissons de 200 $\mu g/L$** . L'OMS définit la même valeur guide pour les eaux de boisson (Guidelines for drinking-water quality, 2004).

Dans les sols et dans l'air on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

C) Profil toxicologique

Classement

A l'état pulvérulent, l'aluminium est facilement inflammable. Ses phrases de risque sont :

- R11 : facilement inflammable
- R15 : Au contact de l'eau, dégage des gaz extrêmement inflammables,

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 86

- R17 : Spontanément inflammable à l'air

Ses conseils de prudence sont ainsi :

- S2 : Conserver hors de portée des enfants
- S7/8 : Conserver le récipient bien fermé et à l'abri de l'humidité
- S43 En cas d'incendie utiliser... (moyens d'extinction à préciser par le fabricant. Si l'eau augmente les risques, ajouter : Ne jamais utiliser d'eau)

Effets cancérigènes

L'aluminium (JOCE, 1993), sont non classés cancérigènes par l'Union Européenne et l'IARC.

L'aluminium ne fait pas l'objet d'une classification par l'US EPA.

La production d'aluminium est classée dans le groupe 1 (l'agent ou le mélange) est cancérigène pour l'homme (1987). Les données épidémiologiques disponibles fournissent des preuves limitées que certaines expositions dans les industries de production d'aluminium sont cancérigènes pour l'homme, entraînant une augmentation des cancers du poumon et de la vessie (IARC, 1987).

Il est important de souligner que le risque de cancer dans les industries de production d'aluminium serait dû à la présence de cancérigènes connus (comme les HAPs) et non à la présence d'aluminium ou de ses composés (ATSDR, 1999).

Effets sur la reproduction et le développement

Chez l'homme, les seules données disponibles concernent des enfants insuffisants rénaux qui ont été traités par plus de 100 mg d'aluminium/kg/jour (sous forme d'hydroxyde d'aluminium) dans les six premiers mois de leur vie. De l'ostéomalacie et une augmentation des taux osseux et sériques d'aluminium sont signalées (Andreoli et al., 1984 ; Griswold et al., 1983). Il n'existe pas d'autres données de toxicité sur la reproduction et le développement chez l'homme pour des expositions à l'aluminium par inhalation, voie orale ou voie cutanée (ATSDR, 1999 ; OMS IPCS, 1997).

Autres effets toxiques

De nombreuses études du potentiel neurotoxique de l'aluminium ont été effectuées chez des travailleurs exposés. Bien qu'aucun symptôme de neurotoxicité n'ait été observé, des effets subcliniques ont été signalés dans certaines études (ATSDR, 1999). Des travailleurs d'une fonderie exposés pendant au moins 6 ans à des concentrations de 4,6 à 11,5 mg/m³ d'aluminium montrent, par rapport à un groupe témoin, une altération significative des tests de performance évaluant le temps de réaction et la coordination oculomotrice (Hosovski et al., 1990). Cependant parmi les nombreuses études disponibles, le manque d'un suivi adéquat de l'exposition et les différents types d'expositions possibles à l'aluminium rendent difficile la comparaison et la conclusion quant au potentiel neurotoxique de l'aluminium inhalé chez les travailleurs (ATSDR, 1999).

Une enquête cas-témoin de Salib et Hillier (1996) ne montre pas de relation significative entre l'exposition professionnelle à des poussières ou fumées d'aluminium et le risque de maladie d'Alzheimer.

Parmi les treize études épidémiologiques recensées par Flaten (2001) examinant l'association potentielle entre l'exposition orale à l'aluminium via l'eau de boisson et la maladie d'Alzheimer, neuf ont montré une association statistiquement significative.

D'autres pathologies neurologiques sévères comme la sclérose latérale amyotrophique, la démence parkinsonienne et le syndrome de l'île de Guam ont été reliées à l'accumulation d'aluminium dans le cerveau (OMS IPCS, 1997). Cependant le rôle de l'aluminium dans ces pathologies est encore sujet à débat.

Des données obtenues chez des patients insuffisants rénaux chroniques dialysés au long cours montrent que l'aluminium peut être responsable d'encéphalopathies. Les symptômes principaux sont des problèmes d'élocution, le développement d'une démence, de convulsions, de myoclonie (ATSDR, 1999 ; OMS IPCS, 1997). Des taux élevés d'aluminium sont trouvés dans le cerveau, les muscles et le tissu osseux. De nombreux cas d'encéphalopathies ont été décrits en association avec des concentrations d'aluminium dans le liquide de dialyse supérieures à 200 .g/L (OMS IPCS, 1997). Des études épidémiologiques montrent que les cas d'encéphalopathies sont presque inexistantes dans les centres de dialyse qui utilisent une eau contenant moins de 50 .g/L d'aluminium pour préparer le liquide de dialyse (OMS IPCS, 1997).

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 87

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, USEPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires existantes.

Aluminium						
Exposition	Voie d'exposition	Effet ou organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Ingestion	Système nerveux	Souris	30	MRL = 1 mg/kg/j	ATSDR (2008)
			Chien	-	DJT = 1 mg/kg/j	OMS (1989)



Antimoine (Sb)

Les informations présentées ci-après sont tirées pour l'essentiel du rapport de l'AFSSA : Evaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement des limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine de sept.2004.

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

L'antimoine (Sb) est un métal blanc argenté à la dureté moyenne qui se casse facilement, il se situe à la frontière entre les métaux et les non-métaux. Les principales formes rencontrées dans l'environnement sont l'antimoine métal (Sb Cas n°7440-36-0), le trioxyde d'antimoine (Sb₂O₃, cas n° 1309-64-4), le tartrate d'antimoine et de potassium (cas n°28300-74-5) et le tartrate d'antimoine et de sodium (cas n°34521-09-0).

L'antimoine est peu abondant dans l'écorce terrestre, le minéral le plus important est la stibine (Sb₂S₃) qui est associé à d'autres minéraux sulfurés dont la galène et la pyrite. Dans l'industrie, l'antimoine peut être utilisé avec d'autres métaux pour accroître leurs duretés (alliages de plomb, d'étain, de zinc...), pour la fabrication de semi-conducteurs et peut être présent dans les plastiques et les produits chimiques.

En milieu aqueux, l'antimoine est présent sous forme d'ions et de complexes solubles, la forme prédominante semble être pentavalente (AFSSA, 2004).

Du point de vue chimique, l'antimoine est très stable au contact de l'air et n'est attaqué ni par les acides, ni par les bases. En présence d'hydrogène, cependant, le trioxyde d'antimoine peut être réduit en trihydrure d'antimoine (SbH₃), gaz toxique.

L'oxyde d'antimoine est une poudre blanche qui ne s'évapore pas. Seule une petite part peut se dissoudre dans l'eau. La plupart de l'oxyde d'antimoine produit est ajouté aux textiles et aux plastiques pour empêcher leur prise au feu.

Voies d'exposition et absorption

Pour la population générale, l'alimentation est la principale voie d'exposition à l'antimoine.

Lors d'exposition professionnelle (métallurgie, mines, industries chimiques), la voie respiratoire est la voie principale d'exposition, l'antimoine est alors essentiellement sous forme de trioxyde d'antimoine.

Métabolisation

L'importance de l'absorption par le tractus digestif dépend de la forme chimique de l'antimoine et de sa solubilité. L'absorption intestinale serait chez l'animal de l'ordre de 5 à 20%. Pour l'homme les rares données observées montrent des taux d'absorption de l'ordre de 5%.

B) Concentrations dans l'environnement et valeurs guides

Concentrations dans l'environnement

Non renseigné

Valeurs guides

La réglementation française (décret n°2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007) et la directive de la CE (03/11/98) donne une valeur guide de 5 µg/l pour l'antimoine. La valeur guide pour les eaux de boisson établie par l'OMS (Guidelines for drinking-water quality first addendum to third edition 2006) est de 20 µg/l.

Dans les sols et dans l'air on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 89

C) Profil toxicologique

Classement

Absence de classement pour l'antimoine.

Le symbole classant le trioxyde d'antimoine **Xn** (nocif).

La phrase de risque qui le représente est **R40** (possibilité d'effets irréversibles de type cancer).

Effets cancérogènes

L'antimoine n'est pas classé par rapport à sa cancérogénicité.

Le trioxyde d'antimoine est **classé 2B** par le CIRC (cancérogène possible) et dans la **catégorie 3** pour l'union européenne. Il n'a pas fait l'objet de classement par l'US-EPA.

Des expositions professionnelles au trioxyde d'antimoine ont été associées à une augmentation de l'incidence de cancers du poumon, mais les études disponibles sont peu nombreuses et les données fragmentaires. Chez les animaux cependant, les études réalisées ont mis en évidence une augmentation des cancers du poumon.

Effets Mutagènes et sur la reproduction

Non renseigné

Autres effets toxiques

Le potentiel toxique des formes pentavalentes de l'antimoine (les plus présentes dans l'eau) semble être moins prononcé que celui des formes trivalentes. Par ailleurs, les formes organiques de l'antimoine semblent moins toxiques que les formes inorganiques. (AFFSA, 2004)

La toxicité de l'antimoine et de ses composés varie avec l'état chimique de l'élément. Sous sa forme métallique, l'antimoine est relativement inerte. Lors des expositions chroniques au trioxyde d'antimoine, les manifestations les plus fréquemment rencontrées sont : des signes d'atteintes des muqueuses (irritations broncho-pulmonaires) et des signes cutanés. Dans des études à long terme, les animaux qui ont respiré les niveaux très bas d'antimoine ont subi une irritation de l'œil, la perte de cheveux, des dommages aux poumons, et des problèmes de cœur. L'ensemble des symptômes observés sont :

- Inappétence, fatigue, irritabilité;
- peau: irritations, éruptions;
- Irritation des muqueuses;
- atteintes hépatiques et hématologiques;
- troubles gastro-intestinaux (ulcères, crampes, diarrhées et vomissements);
- respiratoires (toux, bronchite, emphysème, pneumoconiose); rhinite, pharyngite, cloison nasale perforée;
- électrocardiogramme perturbé.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

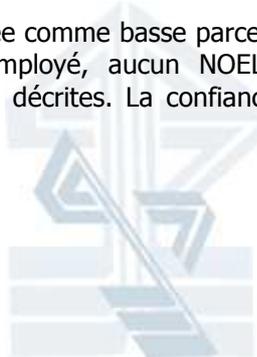
Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR). Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancers issus de la synthèse réalisée par l'AFFSA pour la voie orale (Evaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement des limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, sept.2004), pour la voie inhalation, la seule VTR présentée est issue de l'US-EPA.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 90

Antimoine						
Exposition	Voie d'exposition	Effet ou organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Formes indistinctes						
Chronique	Ingestion	Perte de poids	Rat	1000	DJT = $6 \cdot 10^{-3}$ mg/kg/j	OMS (2003)
		Baisse de longévité	Rat	1000	RfD = $4 \cdot 10^{-4}$ mg/kg/j	US EPA (1991)
		Changements histologiques	Rat	300	DJT = $2 \cdot 10^{-4}$ mg/kg/j	Santé Canada (1997)
Trioxyde d'antimoine						
Chronique	Inhalation	Poumon	Rat	300	RfC = $2 \cdot 10^{-4}$ mg/m³	US EPA (1995)

L'US EPA a déterminé une dose de référence à partir d'une étude expérimentale sur les rats. Un facteur de sécurité de 1000 (10 pour la conversion inter-espèce, 10 pour protéger les individus sensibles, et 10 parce que le niveau d'effet était un LOAEL et aucun NOEL n'a été établi) a été appliqué au LOAEL de 0,35 mg/kg/j.

La confiance dans l'étude choisie est évaluée comme basse parce que seulement une espèce a été employée, seulement un niveau de dose a été employé, aucun NOEL n'a été déterminé, et la pathologie et l'histopathologie brutes n'ont pas été bien décrites. La confiance dans la base de données est également basse.



Arsenic (As)

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

L'arsenic se présente généralement sous forme de cristaux gris, brillants, d'aspect métallique.

La masse molaire de l'arsenic est de 74,92 g/mol ; sa densité est de 5,727 et son point de fusion se situe entre 613 et 615°C (INERIS, 2004).

L'arsenic est assez répandu dans la nature en particulier dans les roches qui renferment plus de 99 % de l'arsenic présent dans la croûte terrestre sous forme de minerais. Ses principaux minerais sont : le mispickel (FeAsS), le réalgar (As₂S₂), l'orpiment (As₂S₃), la loellingite (As₂Fe). D'autres sources naturelles d'émission d'arsenic dans l'atmosphère sont l'activité volcanique et les feux de forêts.

Les composés de l'arsenic les plus couramment utilisés dans l'industrie sont le pentoxyde de diarsenic, l'arséniat de calcium, l'arsénite de cuivre, l'arsénite de sodium, le trichlorure d'arsenic et le trioxyde d'arsenic (As₂O₃) le plus important commercialement.

La majeure partie de l'arsenic anthropique atmosphérique provient des fumées émanant des industries de production d'As₂O₃ et de la combustion de produits fossiles (charbons, pétroles, huiles) qui contiennent un pourcentage important d'arsenic. En milieu réducteur et acide, on peut avoir dans les sols de l'arsine (gaz) dont la toxicité par inhalation est très élevée.

Voies d'exposition et absorption

Chez l'homme, l'absorption de l'arsenic est estimée à 95 % par voie orale et à 30 à 34 % par inhalation. La voie cutanée est une voie mineure d'absorption.

Métabolisation

L'arsenic est transformé dans le sang et distribué rapidement aux divers organes (pour les composés trivalents, foie et rein surtout ; pour les pentavalents, répartition plus générale). Les composés traversent les barrières hémato-méningée et placentaire. Les composés trivalents sont transformés en composés pentavalents et l'élimination se fait par le rein.

B) Concentrations dans l'environnement et valeurs guides

Concentrations dans l'environnement

Dans la partie superficielle de l'écorce terrestre, la concentration moyenne en arsenic est évaluée à 2 mg/kg. Localement, la concentration naturelle peut atteindre 100 mg/kg voire 200 mg/kg dans des dépôts calcaires ou phosphatés ou dans des schistes. (INERIS, 2004). En France, les concentrations dans les sols ordinaires (hors anomalies géochimiques) sont comprises entre 1 et 25 mg/kg (INRA, D.BAIZE, 1997).

La mobilité de l'arsenic dans les sols est assez limitée (adsorption sur l'argile, les hydroxydes et la matière organique).

Dans les organismes aquatiques, l'accumulation de l'arsenic V est légèrement supérieure à celle de l'arsenic III. L'accumulation chez le poisson est faible avec un BCF de 4 pour *Lepomis macrochirus* (INERIS, 2004).

L'absorption des composés de l'arsenic par les plantes, depuis le sol est faible et se fait principalement sous forme passive depuis le flux hydrique. Parmi les plantes entrant dans l'alimentation humaine, les laitues présentent la plus forte capacité d'accumulation de l'arsenic avec un BCF de 0,00633 pour les feuilles et 0,008 pour les racines.

Valeurs guides

La concentration admissible dans les eaux de boisson en France est de 10 µg/l (décret n°2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007). L'OMS a établi (Guidelines for drinking-water quality first addendum to third edition 2006), une valeur guide provisoire également de 10 µg/l pour les eaux de boisson.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 92

Dans l'air, aucune valeur guide n'a été déterminée par l'OMS. L'OMS précise cependant que la concentration de $6,6 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$ entraînerait pour une exposition durant la vie entière un excès de risque de $1 \cdot 10^{-5}$.

La future transposition de la directive européenne 2004/107/CE en droit français devrait fixer, pour l'arsenic sous forme particulaire, une limite de concentration dans l'air de $0,006 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

C) Profil toxicologique

Classement

Le symbole classant l'arsenic est **T** (toxique).

La phrase de risque qui le représente est : **R23/25** (toxique par inhalation et par ingestion).

Le symbole classant le trioxyde de diarsenic est **T+** (très toxique).

Les phrases de risque qui le représentent sont : **R45** : peut causer le cancer, **R28** : également très toxique en cas d'ingestion, **R34** : provoque des brûlures.

Effets cancérigènes

Au niveau de l'UE, le pentaoxyde et le trioxyde de diarsenic sont placés en **catégorie 1**. L'arsenic inorganique est cancérigène pour l'homme : le CIRC-IARC l'a placé dans le **groupe 1** (1987). L'arsenic et l'ensemble de ses composés inorganiques sont également classés par l'US-EPA dans le **groupe A** (1998).

Il a été prouvé que la consommation d'eau contenant de fortes concentrations d'arsenic induit des cancers de la peau et peut être d'autres formes de cancers.

A partir de l'observation de populations de travailleurs (fonderies, fabrication de certains pesticides, travailleurs de vergers, négociants en vin) un risque de cancer des voies respiratoires lié à l'inhalation a été mis en évidence. Plusieurs études épidémiologiques ont révélé une élévation du nombre de cancer du poumon et de la peau chez les personnes exposées à l'arsenic. Le rôle des facteurs adjuvants tels que le tabac et le dioxyde de soufre serait important dans la fréquence d'apparition de ces cancers. D'autres localisations tumorales sont suspectées (foie, sang ...) mais non prouvées.

Effets Mutagènes

Le pentaoxyde d'arsenic, l'arséniate de plomb, l'arsenic, l'arsine ne sont pas classés mutagène.

Effets sur la reproduction

Aucun des composés de l'arsenic n'est classé reprotoxique par l'Union européenne.

Des études épidémiologiques ont montré que les enfants des femmes exposés professionnellement par inhalation à l'arsenic présentaient un taux de malformation supérieur à celui attendu et un poids de naissance légèrement diminué, sans que cela soit corrélé avec l'exposition à l'arsenic.

Autres effets toxiques

En toxicité chronique, les données fournies concernent l'arsenic inorganique (sans distinction entre les formes pentavalentes et trivalentes).

Les effets toxiques chroniques des dérivés inorganiques de l'arsenic sont des atteintes cutanées (hyperkératoses, hyper et hypo-pigmentation), des effets cardiovasculaires (troubles de la conduction, atteinte du système vasculaire périphérique), des atteintes du système nerveux (paresthésie des extrémités des pieds et des mains) et des effets hépatiques et hémorragiques (anémie et leucopénie).

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 93

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérogènes et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer de **l'arsenic inorganique**.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS (INERIS –DRC-01-25590-00DF258 ; oct.2004).

Arsenic (effets toxiques sans seuil)				
Voie d'exposition	Type d'effet considéré	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Cancer pulmonaire	homme	ERUi = $4,3 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	US EPA (1998)
		homme	ERUi = $3,3 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	OEHHA (2002)
		homme	ERUi = $1,5 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	OMS (2000)
Ingestion	Cancer peau	homme	ERUo = $1,5 (\text{mg}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$	US EPA (1998)
		homme	ERUo = $9,45 (\text{mg}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$	OEHHA (2002)

Arsenic (effets toxiques à seuil)					
Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Inhalation	Système nerveux, cardiovasculaire et effets sur le développement	souris	1000	REL = $0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$	OEHHA (2003)
	Système pulmonaire	homme	10	TCA = $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$	RIVM (2001)
Ingestion	Système cutané	homme	3	MRL = $0,0003 \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$	ATSDR (2007)
		homme	3	RfD = $0,0003 \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$	US EPA (1993)
		homme	2	TDI = $1 \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$	RIVM (2001)
		homme	-	DHTP = $0,015 \text{ mg}/\text{kg}$	OMS (1994)

Cadmium (Cd)

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le cadmium dans l'environnement n'est quasi jamais trouvé à l'état métallique, mais dans son état d'oxydation unique, c'est-à-dire +II. Le cadmium est un métal malléable trouvé le plus souvent dans l'environnement sous forme d'oxyde et de sels. La masse molaire du cadmium est de 112,4 g/mol. Sa densité est de 8,6 et son point de fusion est de 321 °C.

Le cadmium rejeté dans l'atmosphère provient de sources naturelles et anthropiques. Le cadmium présent dans la croûte terrestre peut être dispersé dans l'air par entraînement de particules provenant du sol et par les éruptions volcaniques. Cependant, les activités industrielles telles que le raffinage des métaux non ferreux, la combustion du charbon et des produits pétroliers, les incinérateurs d'ordures ménagères et la métallurgie de l'acier constituent les principales sources de rejet atmosphérique.

Dans l'eau, le cadmium provient de l'érosion naturelle, du lessivage des sols ainsi que des décharges industrielles et du traitement des effluents industriels et des mines.

Les principaux composés du cadmium sont l'oxyde de cadmium, le chlorure de cadmium, le sulfure de cadmium. Dans les sols, le cadmium existe sous forme soluble dans l'eau du sol : CdCl_2 , CdSO_4 , ou sous forme de complexe insoluble inorganique ou organique avec les composants du sol. Malgré une tension de vapeur faible, le cadmium métal émet des vapeurs en dessous de son point de fusion, soit 321°C et même à l'état solide. Dans l'air les vapeurs de cadmium se transforment rapidement en oxyde. Ainsi, le cadmium se retrouve dans l'air principalement sous forme particulaire ; la principale forme étant l'oxyde de cadmium (les autres formes étant des sels de cadmium) (INERIS).

Voies d'exposition et absorption

Par voie pulmonaire, une fraction du cadmium se dépose le long du tractus respiratoire en fonction de la taille et de l'hydro solubilité : pour l'oxyde de cadmium, elle varie de 10-30% pour les poussières à 25-50% pour les fumées. Les formes les plus solubles, chlorures et oxydes, sont absorbés à environ 90-100% et les sulfures sont absorbés à hauteur de 10%. Cette absorption peut se poursuivre pendant plusieurs semaines même après une inhalation unique [INRS, fiches Biotox].

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

Métabolisation

Le cadmium est transporté dans le sang fixé à l'hémoglobine ou aux métallothionéines. Il se concentre principalement dans le foie et les reins (entre 50 % et 70% de la charge totale) et peut également se retrouver dans le pancréas, la glande thyroïde, les testicules et les glandes salivaires. La demi-vie dans l'organisme est estimée comprise entre 20 et 30 ans.

Le cadmium est excrété dans les fèces, les urines et les phanères.

B) Valeurs guides

Valeurs guides

La concentration admissible dans les eaux de boisson en France et en Europe pour le cadmium est de 5 µg/l (décret n°2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007).

L'OMS propose pour les eaux de boisson (Guidelines for drinking-water quality first addendum to third edition 2006) une concentration admissible de 3 µg/l.

L'OMS recommande une valeur guide de 0,005 µg/m³ pour une exposition chronique par inhalation. Cette valeur de précaution non fondée formellement sur l'exploitation de relations dose-réponse a été établie sur la

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 95

base du bruit de fond en Europe pour prévenir une augmentation de la teneur en cadmium dans les sols agricoles et protéger ainsi les générations futures.

La future transposition de la directive européenne 2004/107/CE en droit français devrait fixer, pour le cadmium sous forme particulaire, une limite de concentration dans l'air de $0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

C) Profil toxicologique

Classement

Le symbole classant le cadmium est **T** (toxique).

Les phrases de risque qui le représentent sont : **R22** (nocif en cas d'ingestion), **R40** (possibilité d'effets irréversibles), **R49** (peut causer le cancer par inhalation), **R48/23/25** (risque d'effet grave pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation et par ingestion).

Effets cancérigènes

Le **chlorure** de cadmium, le **fluorure** de cadmium, l'**oxyde** de cadmium et le **sulfate** de cadmium sont classés en **catégorie 2** « substance devant être assimilée à des substances cancérigènes pour l'homme » par l'Union Européenne. Le **sulfure de cadmium** est quant à lui classé **catégorie 3** « substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possibles » par l'Union Européenne. L'ensemble des composés du cadmium est placé dans le **groupe 1** par l'IARC et le cadmium est considéré comme substance **probablement cancérigène** pour l'homme par **voie respiratoire** par l'US-EPA.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérigènes et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS (INERIS –DRC-01-25590-ETSC-Api/SD-N°00df249; janv.2004).

Cadmium (effets toxiques sans seuil)				
Voie d'exposition	Type d'effet considéré	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Cancer pulmonaire	homme	ERUi = $1,8 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	US EPA (1992)
			ERUi = $4,2 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	OEHHA (2002)

Cadmium – effets toxiques à seuil					
Voie d'exposition	Organe critique	Observation portant sur	Facteur de Sécurité	Valeur	Source
Inhalation	Rein	homme	30	REL = $2 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$	OEHHA (2003)
Ingestion	Rein	homme	10	MRL = $2 \cdot 10^{-4} \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$	ATSDR (1999)
		homme	10	RfD = $1 \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$	US EPA (1994)
		homme	-	TDI = $5 \cdot 10^{-4} \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$	RIVM (2001)
		homme	-	DHTP = $7 \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\text{kg}$	OMS (1996)
		homme	100	REL = $5 \cdot 10^{-4} \text{ mg}/\text{kg}$	OEHHA (2003)

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 96

Chrome (Cr)

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le chrome peut exister sous plusieurs niveaux d'oxydation, principalement les niveaux d'oxydation III (chrome trivalent) et VI (chrome hexavalent). Les différentes formes chimiques qui sont trouvées dans l'environnement sont les ions Cr^{3+} et $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, le trioxyde de chrome et certains composés du chrome VI qui sont le plus souvent d'origine anthropique. La masse molaire du chrome est de 52,0. Sa densité est de 7,14 et son point de fusion est de 1890°C.

Le chrome est un élément présent dans l'environnement de manière ubiquitaire qui est largement distribué dans la croûte terrestre, où il est principalement concentré dans les roches, avec comme principal minéral la chromite (FeCr_2O_4).

Comme précisé ci-dessus ce sont principalement les composés trivalents et éventuellement hexavalents qui sont détectés dans l'environnement en quantités significatives, le chrome issu de la roche-mère étant généralement sous forme trivalente. Bien que la thermodynamique indique que le chrome VI peut exister de manière naturelle dans les sols, il est le plus souvent introduit dans l'environnement par les activités industrielles.

Les principales sources d'émission de chrome dans l'atmosphère sont l'industrie chimique, la combustion de gaz naturel, de pétrole et de charbon, avec dissémination secondaire par le vent des poussières contaminées par ces différentes sources.

Le chrome est, à l'état de traces, indispensable au bon fonctionnement des organismes (végétaux, animaux et humains), et peut à ce titre être considéré comme un oligo-élément, l'insuffisance de chrome pouvant induire des carences. A l'opposé une trop forte concentration de chrome dans l'organisme peut engendrer des effets toxiques.

Ce sont les formes hexavalentes du chrome qui sont à la fois les plus solubles et les plus toxiques.

Voies d'exposition et absorption

Les composés du chrome VI pénètrent facilement dans l'organisme par toutes les voies d'exposition (orale, respiratoire et cutanée), alors que les composés du chrome III pénètrent difficilement et, en particulier, ils ne peuvent franchir la barrière cutanée.

L'absorption gastro-intestinale est estimée entre 0,5 et 2%.

Chez l'animal, lors d'une exposition par inhalation au chrome VI, l'absorption est importante, de l'ordre de 53 à 85%. Pour le chrome III, l'absorption est de l'ordre de 5 à 30%.

Le passage transcutané des composés les plus hydrosolubles du chrome VI est faible à travers la peau intacte (1 à 4 %) et n'a que peu d'incidence par rapport à l'exposition par inhalation. Concernant le coefficient de perméabilité cutanée depuis l'eau (cm/h), l'US EPA propose pour le chromate de sodium, un K_p de $2 \cdot 10^{-3}$ et pour le dichromate de sodium, un K_p de 10^{-3} .

Métabolisation

Son transport est assuré par le sang (la teneur en chrome augmente surtout dans les hématies). Puis il est rapidement distribué et passe dans les organes où il s'accumule (au niveau des poumons, du foie, des reins, et des os). Son élimination est rapide et se fait essentiellement par voie urinaire (la demi-vie urinaire du chrome (VI) est de 15 à 41 heures).

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 97

B) Concentrations dans l'environnement et valeurs guides

Concentrations dans l'environnement

Le chrome existe sous plusieurs degrés d'oxydation, principalement chrome III et un peu chrome VI. Le chrome VI est largement transformé en chrome III dans les sols et les sédiments surtout en conditions anaérobiques et à un pH faible. Dans les sédiments et le sol, le chrome III s'adsorbe plus que le chrome VI.

En France, les concentrations dans les sols ordinaires (hors anomalies géochimiques) sont comprises entre 10 et 90 mg/kg (INRA, D.BAIZE, 1997).

Les concentrations moyennes dans l'air sont de l'ordre de 10 ng/m³ (UE, 2000)

Le chrome VI ne semble pas s'accumuler dans les poissons : des BCF de l'ordre de 1 ont été rapportés par l'US EPA (1980), cependant, la forme pentavalente se transformant rapidement en forme trivalente, cela n'est pas exprimé dans les BCF présentés qui rendent compte d'une information incomplète. Le chrome III semble s'accumuler chez les poissons, des BCF de 260 à 800 (poids sec) ayant été mesurés.

La plupart des sols contiennent du chrome, mais sa disponibilité pour les plantes est très limitée. Cependant, l'addition de chrome au sol influence la teneur en chrome dans les plantes. Habituellement, une quantité plus importante en chrome est observée dans les racines, plutôt que dans les feuilles. Un BCF de $4,5 \cdot 10^{-3}$ (poids sec) a pu être observé pour des légumes de type tubercules et un BCF de $4,88 \cdot 10^{-3}$ (poids sec) pour les légumes feuilles (Baes, Sharp, Sjoreen, and Shor, 1984).

Valeurs guides

La concentration admissible en chrome total dans les eaux de boisson en France est de 50 µg/l (décret n°2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007). L'OMS a établi en 2006 une valeur guide provisoire pour le chrome total dans les eaux de boissons équivalente (50µg/l).

La valeur guide dans l'air, recommandée par l'OMS pour l'Europe (2000), est de $2,5 \cdot 10^{-4}$ µg/m³ pour le chrome VI. L'OMS précise cependant que la concentration de 1 µg/m³ en chrome VI entraînerait pour une exposition durant la vie entière un excès de risque de $4 \cdot 10^{-2}$. L'effet critique retenu est le cancer pulmonaire.

C) Profil toxicologique

Classement

Aucun étiquetage n'est appliqué au chrome métallique.

Le symbole classant le trioxyde de chrome (composé de chrome VI) est T (toxique).

Les phrases de risque qui le représentent sont : R49 (peut causer le cancer par inhalation), R25 (toxique par ingestion), R36 (provoque de graves brûlures), R43 (peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau).

Effets cancérigènes

L'UE n'a pas établi de classification pour le chrome métal et pour les composés du chrome III ; Le trioxyde de chrome est classé en catégorie 1, les autres composés du chrome VI sont classés en catégorie 2.

L'IARC a placé les composés du chrome VI dans le groupe 1 et les composés du chrome III ainsi que le chrome métal dans le groupe 3.

L'US-EPA a placé les composés du chrome VI dans le groupe A par la voie respiratoire et dans le groupe D par la voie orale, alors que les composés du chrome III ont été placés dans le groupe D quelle que soit la voie d'exposition.

Les composés du chrome VI sont cancérigènes pour l'homme par la voie respiratoire, ils induisent principalement des cancers du poumon et des bronches, mais ils ne sont pas cancérigènes par la voie orale.

Les composés du chrome III, élément essentiel en particulier pour le métabolisme des protéines et des lipides, ne sont pas cancérigènes pour l'homme.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 98

De nombreuses études épidémiologiques réalisées sur des salariés de la production de chromates ont mis en évidence un excès de risque pour le cancer du poumon, qui apparaît lié à l'exposition à des poussières, qui contiennent en fait des mélanges de chrome III et de chrome VI. Il semble en ressortir que les chromates les plus dangereux sont les plus solubles (chromates de calcium, de strontium et de zinc). D'autre part au niveau des usages, les opérations de chromage électrolytique mettant en œuvre du trioxyde de chrome sont également considérées comme cancérigènes.

L'exposition aux chromates pourrait également favoriser des cancers localisés dans la cavité nasale, le larynx ou l'estomac. A l'opposé il n'existe pas d'études montrant un excès de risque de cancer lors de l'exposition au chrome métal seul (IARC 1990).

Effets Mutagènes

Les chromate et dichromate de sodium, le dichromate d'ammonium, les chromate et dichromate de potassium, le dichlorodioxyde de chrome sont classés en catégorie 2 : « substances devant être assimilées à des substances mutagènes pour l'homme » par l'Union Européenne.

Effets sur la reproduction

Aucun des composés du chrome n'est classé reprotoxique par l'Union Européenne.

Les seules données connues concernant les effets éventuels du chrome sur la fonction de reproduction sont issues d'études réalisées chez la femme exposée professionnellement aux dichromates. Ces études semblent montrer une augmentation de l'incidence des complications au cours de la grossesse et de la naissance, ainsi qu'une augmentation des hémorragies post-natales, mais, bien qu'il existe un groupe témoin, la qualité globale des observations est insuffisante pour pouvoir établir avec certitude un lien causal avec les expositions au chrome.

Autres effets toxiques

Le chrome n'est pas volatil (INERIS) ce qui explique que les données toxicologiques par voie respiratoire ne concernent que le chrome particulaire.

Le tractus respiratoire est l'organe cible des effets lors de l'exposition par inhalation aux dérivés du chrome III et du chrome VI. Il s'agit alors d'atteintes au site de contact. Le chrome et ses dérivés peuvent avoir un effet sensibilisant qui se manifeste par de l'asthme et des dermatites, mais le nombre d'individus sensibilisés reste faible par comparaison aux concentrations parfois élevées.

Des atteintes hépatiques ont été décrites lors de l'exposition professionnelle au trioxyde de chrome, des atteintes oculaires ont également été mises en évidence lors de l'exposition directe aux dérivées du chrome.

Des dermites eczématiformes et des ulcérations sont observés lors d'exposition par la voie dermique.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérigènes et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS (INERIS-DRC-01-05590-00DF253, Déc.2004)

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 99

Chrome VI (effets toxiques sans seuil)				
Voie d'exposition	Type d'effet considéré	Espèce	Valeur	Source
Inhalation	Cancer du poumon	homme	ERU_i = 1,2.10⁻² (µg/m³)⁻¹	US-EPA (1998)
		homme	ERU _i = 4.10 ⁻² (µg/m ³) ⁻¹	OMS (2000)
		homme	CT05 = 0,66 µg/m ³ ERU _i = 0,075 (µg/m ³) ⁻¹	Santé Canada (1997)
		homme	ERU _i = 0,15 (µg/m ³) ⁻¹	OEHHA (2002)

L'US-EPA (1998), Santé Canada (1993) et l'OEHHA (2002) ont établis des ERU_i différents à partir de la même étude épidémiologique de Mancuso (1975) portant sur 332 salariés. Dans cette étude la mort par cancer pulmonaire est corrélée avec l'exposition aux dérivés solubles du chrome (VI).

L'US-EPA a établi un ERU_i de 0.012 (µg/m³)⁻¹ tandis que santé Canada a établi une CT(0,05) de 0.66 µg/m³ correspondant à un ERU_i de 0.075 (µg/m³)⁻¹ et l'OEHHA un ERU_i de 0.15 (µg/m³)⁻¹. Les divergences de valeurs retenues reposent sur différentes interprétations de l'étude épidémiologique.

La valeur la plus contraignante de l'OEHHA a été calculée à partir de la courbe dose-réponse expérimentale, la dose causant une augmentation de 5% de l'incidence des tumeurs a été estimée à 4,6 µg/m³ pour le chrome total. Une étude plus ancienne au sein de la même usine a montré que la proportion de chrome III par rapport au chrome VI était de 6:1 ou moins (Bourne et Yee, 1950). Par conséquent, les concentrations en chrome VI peuvent être estimées à 1/7 des concentrations totales en chrome. Un modèle multi étape linéarisé a été utilisé pour calculer le risque cancérigène.

L'OEHHA précise que les différences d'interprétation avec l'US-EPA devront faire l'objet d'études complémentaires.

L'OMS en 2000 a établi à partir de plusieurs études épidémiologiques (Hayes et al., 1979 ; Langard, 1980 ; Langard et al., 1990), dont certaines assez récentes qui complètent celle retenue par l'US EPA un ERU_i de 0.04 (µg/m³)⁻¹. L'OMS a retenu la moyenne géométrique des ERU_i de ces études qui varient de 0.011 à 0.13 (µg/m³)⁻¹.

Chrome III – effets toxiques à seuil					
Voie d'exposition	Organe critique	Observation portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Inhalation	foie	homme	10	TCA = 60 µg/m³ (métal insoluble)	RIVM (2001)
Ingestion		rat	1000	RfD = 1,5 mg/kg/j	US EPA (1998)
		rat	1000	RfD = 1,5 mg/kg/j	ATSDR (2000)
		rat	100	TDI = 5 mg/kg/j (métal insoluble)	RIVM (2001)
		rat	100	TDI = 5 10 ⁻³ mg/kg/j (soluble)	RIVM (2001)

Le RIVM propose une TCA datant de 2001 qui est de 60 µg/m³ pour les effets sur le foie. On note que le facteur de sécurité est faible (10) et qu'il s'agit de la seule valeur disponible.

L'US-EPA (1998), propose une RfD de 1,5 mg/kg/j. On note que le facteur de sécurité est élevé (1000). La présence de chrome soluble n'est pas prise en compte à ce stade.

La valeur de l'US-EPA pour l'ingestion a un niveau de sécurité faible, de fait elle n'est pas basée sur la mise en évidence d'effets toxiques. A l'opposé la valeur du RIVM est basée sur des effets toxiques.

Chrome VI aérosol (effets toxiques à seuil)					
Voie d'exposition	Organe critique	Observation portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Inhalation	poumon, nez	homme	100	MRL = 0,005 µg/m ³	ATSDR (2000)
		homme	30	RfC = 0,008 µg/m ³	US-EPA (1998)

Pour les effets toxiques non cancérogènes du chrome VI par inhalation, l'US-EPA (1998) propose une RfC de 0.008 µg/m³ pour les effets sur le système nasal avec pour effet critique une atrophie du septum nasal. La valeur ATSDR 2000 (établie pour une exposition subchronique) est proche de celle de l'US-EPA soit 5 10⁻⁶ mg/m³.

Chrome VI Particulaire (effets toxiques à seuil)					
Voie d'exposition	Organe critique	Observation portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Inhalation	Bronches poumons	-	30	MRL = 1 µg/m ³	ATSDR (2000)
		rat	300	RfC = 0,1 µg/m³	US-EPA (1998)
		rat	100	REL = 0,2 µg/m ³ (soluble sauf CrO ₃)	OEHHA (2003)
		homme	300	REL = 2.10 ⁻³ µg/m ³ (CrO ₃)	OEHHA (2003)
Ingestion	-	rat	900	RfD = 3.10⁻³ mg/kg/j	US-EPA (1998)
	Bronches poumons	rat	500	TDI = 5.10 ⁻³ mg/kg/j	RIVM (2001) prov
		rat	100	REL = 2.10 ⁻² mg/kg/j (soluble sauf CrO ₃)	OEHHA (2003)

Pour les effets toxiques non cancérogènes du chrome VI par inhalation, l'US-EPA (1998) propose une RfC de 0.1 µg/m³ pour les effets sur les bronches et les poumons objectivés par les concentrations en lactate déshydrogénase dans le liquide de lavage bronchiolo-alvéolaire.

Pour les effets toxiques non cancérogènes du chrome VI par ingestion, l'US-EPA (1998), propose une RfD de 3 10⁻³ mg/kg/j. La RfD a été établie à partir d'une étude chez le rat et l'effet critique est une diminution de la consommation d'eau. L'effet observé n'étant pas un effet toxique, la confiance accordée à cette valeur est faible.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 101

Cobalt (Co)

A) Propriétés intrinsèques

Propriété physico-chimique et origine

Le cobalt (cas n°7440-48-4) est présent dans la nature où il représente environ 0,002 % de la croûte terrestre. Il est souvent associé au nickel, à l'argent, au plomb et au cuivre.

Le cobalt entre dans la composition de nombreux alliages utilisés dans les industries électrique, aéronautique et automobile (avec le chrome, le nickel, le molybdène, le béryllium, l'aluminium ou le cuivre), ou d'alliages très durs pour coupe rapide (avec le chrome, le molybdène ou le tungstène). Il est employé dans la fabrication d'aimants permanents, de métaux réfractaires, de pigments pour le verre et les céramiques, de siccatifs et de pigments dans l'industrie des peintures et des vernis, de fertilisants agricoles et d'additifs alimentaires pour animaux.

Le cobalt est présent naturellement dans les sols. La poussière entraînée par le vent, les éruptions volcaniques et les feux de forêts constituent les principales sources naturelles d'exposition.

Métabolisation

Le cobalt en poudre est absorbé chez l'homme comme chez l'animal, par inhalation ou ingestion ; les solutions peuvent pénétrer à travers la peau. La poudre métallique inhalée est retenue dans les poumons puis absorbée lentement.

Administré par voie orale, le cobalt est stocké dans les régions proximales et distales de la muqueuse intestinale et libéré par la desquamation de l'épithélium. L'absorption orale est incomplète et dépend de la dose et du composé (5 à 45 %) ; il en résulte une excrétion fécale proportionnelle à la dose et une excrétion urinaire indépendante de la dose.

L'excrétion d'une dose orale se fait par les fèces (80 % en 5 jours, la majorité en 48 heures), le reste est éliminé par les reins.

Chez l'homme, quelle que soit la voie d'exposition (inhalation, injection ou ingestion) la majorité du cobalt est éliminée rapidement ; une faible proportion est excrétée lentement avec une demi-vie de l'ordre de plusieurs années. Dans le cas d'une inhalation accidentelle, après une clairance rapide de la plus grande partie du cobalt absorbé, le reste (10 % environ) est éliminé avec une demi-vie biologique de 5 à 15 ans. Après une ingestion accidentelle, la clairance sanguine est triphasique avec des demi-vies de 0,5, 2,7 et 59 jours ; les deux phases rapides sont liées à l'élimination fécale du cobalt non absorbé.

B) Concentrations dans l'environnement et valeurs guides

Concentrations dans l'environnement

Le cobalt est présent dans l'environnement de manière ubiquitaire. On ne dispose cependant pas de données sur le bruit de fond en France. L'ATSDR (monographie, avril 2004) donne des concentrations naturelles dans la croûte terrestre entre 20 et 25 mg/kg et dans les sols entre 1 et 40 mg/kg.

Les sols contenant moins de 3 mg/kg de cobalt sont considérés comme déficients pour les plantes (ATSDR, 2004).

Les concentrations ubiquitaires retrouvées dans les différents milieux environnementaux sont les suivantes (ATSDR, monographie, 2004):

- air : < 1 à 2 ng/m³
- eaux : <1 µg/l dans les zones rurales et entre 1 et 10 µg/l dans les zones urbaines.

L'adsorption du cobalt par les plantes est fortement contrôlée par le pH du sol.

La base de données du logiciel HESP donne des BCF de 0,015 pour les racines et 0,03 pour les parties aériennes des végétaux. La base de données de RISC 4.0 ne fournit pas de données.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 102

Valeurs guides

La concentration admissible en cobalt dans les eaux de boisson en France et en Europe n'est spécifiée. L'OMS ne donne pas non plus de recommandation (valeur guide) quant aux concentrations dans les eaux potables.

On ne dispose pas de valeur réglementaire ou valeur guide pour les milieux air et sol.

C) Profil toxicologiqueClassement

Le symbole classant le cobalt (cas n°7440-48-4) est **Xn** (nocif).

Les phrases de risque qui le représentent sont : **R42/43** (peut entraîner une sensibilisation par inhalation et contact avec la peau), **R53** (Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique).

Effets cancérigènes

Outre le cobalt métal, le sulfate de cobalt, le chlorure de cobalt, l'oxyde de cobalt et le sulfure de cobalt sont les principales formes toxiques de cobalt. Seules deux de ces formes ont été classées par l'union Européenne pour leurs effets cancérigènes.

Sulfate de cobalt : classé **catégorie 2** - Substance pouvant être assimilée à des substances cancérigènes pour l'homme, (2004),

Chlorure de cobalt : classé **catégorie 2** - Substance pouvant être assimilée à des substances cancérigènes pour l'homme (2004).

En 1991, le cobalt et les composés du cobalt ont été classés dans le **groupe 2B** (éventuellement cancérigènes pour l'homme) par l'IARC, ils ne sont pas classés par l'US-EPA.

Effets mutagènes

Aucun des composés du cobalt n'est classé mutagène par l'Union Européenne.

Effets sur la reproduction

Aucun des composés du cobalt n'est classé reprotoxique par l'Union Européenne.

Autres effets toxiques

Les intoxications publiées chez l'homme concernent principalement des expositions par inhalation et ont surtout été décrites dans l'industrie des métaux frittés. Quelques cas anciens d'intoxications par ingestion ont été décrits dans des contextes non professionnels. L'exposition cutanée entraîne des atteintes allergiques locales.

Le système respiratoire est l'une des principales cibles lors d'une exposition par inhalation. Chez l'homme, une exposition de 6 heures à 0,038 mg/m³ de cobalt entraîne une diminution de la ventilation pulmonaire par obstruction bronchique chronique. Les effets sur le système respiratoire d'une exposition chronique professionnelle par inhalation sont multiples. Il est observé de l'irritation respiratoire, une respiration bruyante, de l'asthme, des pneumonies et une fibrose pour des niveaux d'exposition de 0,007 à 0,893 mg de cobalt/m³ et des durées d'exposition de 2 à 17 ans.

Une exposition professionnelle à des poussières de cobalt entraîne des cardiomyopathies caractérisées par des anomalies fonctionnelles ventriculaires et une cardiomégalie. Le cobalt est considéré comme un agent cardiomyopathogène faible par inhalation alors qu'il s'agit d'un effet toxique majeur par voie orale. De plus, une légère diminution du nombre d'érythrocytes et du taux d'hémoglobine a été observée chez 82 salariés exposés à 0,125 mg de cobalt/m³.

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

Chez des femmes enceintes, une supplémentation en chlorure de cobalt à hauteur de 0,5 à 0,6 mg de cobalt/kg/jour pendant 90 jours se caractérise par des cas d'intolérance gastrique.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 103

D) Relation Dose/effet et valeurs toxicologiques de référence

Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer du **cobalt**.

Cobalt (effets toxiques à seuil)						
Exposition	Voie d'exposition	Cible	Espèce	Facteur de sécurité	Valeur	Source
chronique	Ingestion	Muscle cardiaque	homme	30	TDI = 0,0014 mg/kg/j	RIVM (2000)
	Inhalation	Système pulmonaire	homme	10	MRL = 0,1 µg/m³	ATSDR (2004)
		Système pulmonaire	homme	100	TCA = 0,5 µg/m ³	RIVM (2000)

L'ATSDR propose un MRL par inhalation de 0,1 µg cobalt/m³ pour des expositions chroniques (2004). Ce MRL est basé sur un NOAEL de 5,3 10⁻⁴ mg cobalt/m³ et un LOAEL de 15,1 µg cobalt/m³ caractérisé par une diminution des paramètres fonctionnels respiratoires chez des salariés.

L'ATSDR n'a pas établi de MRL chronique par voie orale mais propose un MRL pour des durées d'exposition subchronique.

Le RIVM propose une TDI de 1,4.10⁻³ mg/kg/j pour une exposition chronique par voie orale. Comme il n'existe pas de données expérimentales d'exposition chronique par voie orale au cobalt chez l'homme et l'animal, la VTR du RIVM se base sur une valeur de LOAEL de 0,04 mg/kg/j pour une exposition subchronique (jusqu'à 8 mois) chez l'homme, pour les effets sur le muscle cardiaque notamment.

Le rôle de l'alcool n'étant pas à exclure dans les effets observés ce qui a conduit l'ATSDR à ne pas utiliser cette étude pour établir un MRL chronique par voie orale, le RIVM estime que le LOAEL pour la population générale doit être plus élevé et qu'un facteur de sécurité de 3 pour la variabilité intra spécifique est suffisant.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 104

Manganèse (Mn)

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le manganèse (Mn, CAS n°7439-96-5) est un constituant majeur de la croûte terrestre, il est généralement associé à la présence de fer.

Dans l'industrie, il est utilisé avec le fer dans la fabrication d'alliages (fonte et acier, et métallurgie de l'aluminium, cuivre, nickel, etc.), il peut également être utilisé dans la coloration du verre, comme constituant de piles électrodes.

Le manganèse est un élément indispensable au fonctionnement physiologique normal chez toutes les espèces animales.

Voies d'exposition et absorption et métabolisation

La principale voie d'exposition au manganèse est l'alimentation. En milieu de travail, ce produit est absorbé principalement par les voies respiratoires. L'absorption cutanée est considérée négligeable. Il est faiblement absorbé par les voies digestives. L'INERIS (2007) donne un taux d'absorption de 3 à 5% chez l'homme.

B) Valeurs guides

Valeurs guides

La réglementation française (décret n°2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007) et la directive de la CE (03/11/98) donne une valeur guide de 50 µg/l pour le manganèse. La valeur guide pour les eaux de boisson établie par l'OMS (Guidelines for drinking-water quality first addendum to third edition 2006) est de 400 µg/l précisant qu'une concentration inférieure peut altérer l'apparence de l'eau (dépôts noirâtres).

L'OMS (Air quality Guidelines for Europe, 2000) propose une valeur guide pour le manganèse de 0,15 µg/m³ pour une exposition moyenne annuelle.

Dans les sols, on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

C) Profil toxicologique

Classement

Absence de classement pour le manganèse. Le dioxyde de manganèse est classé **Xn** (nocif) et représenté par les phrases de risque **R20/22** (nocif par inhalation et ingestion).

Effets cancérigènes, mutagènes et sur la reproduction

Le manganèse est placé dans la **catégorie D** (non classifiable) par l'US-EPA (1988), il n'est pas classé par l'union européenne ou l'OMS.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR). Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancers issus de la recherche auprès des principales bases de données (ATSDR, OMS, US-EPA, RIVM et Health Canada).

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 105

Manganèse						
Exposition	Voie d'exposition	Effet ou organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Formes indistinctes						
Chronique	Ingestion	-	Homme	3	DJT = 0.06 mg/kg/j	OMS (2004)
		Système nerveux central	Homme	1	RfD = 0.14 mg/kg/j	US EPA (1996)
	Inhalation	Système neurologique	Homme	1000	RfC = 0.05 µg/m³	US EPA (1996)
			Homme	500	MRL = 0.04 µg/m ³	ATSDR (2000)
			Homme	300	MRL = 0.2 µg/m ³	OEHHA (2002)

Pour le risque chronique non cancérogène par **ingestion**, l'US-EPA propose une RfD orale (0,14 mg/kg/j) basée sur une dose sans effets (NOAEL) de 10 mg/j. Cette dose correspond pour une population moyenne à une dose sans effets irréversibles sur la santé de l'individu, ce qui ne veut pas dire que des doses supérieures impliquent des effets toxiques (US-EPA). Cette valeur est applicable sans facteur de sécurité pour l'ingestion d'aliments. Cependant, dans le calcul d'une exposition par l'eau de boisson ou le sol, IRIS recommande d'utiliser un facteur de sécurité de 3, abaissant ainsi la RfD à $4,67 \cdot 10^{-2}$, qui a été arrondi à $4,6 \cdot 10^{-2}$, afin de ne pas minimiser le risque.

La RfD = $4,6 \cdot 10^{-2}$ mg/kg/j de l'US-EPA est retenue pour la boisson et les sols.

La RfD = $1,4 \cdot 10^{-1}$ mg/kg/j de l'US-EPA est retenue pour l'ingestion de végétaux.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 106

Mercure (Hg)

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le mercure est le seul métal à se présenter sous forme liquide dans les conditions normales de température et de pression, conditions pour lesquelles il émet spontanément des vapeurs. La masse molaire du mercure métallique est de 200,59 g/mol, sa densité est de 13,55 et son point de fusion est de -38,9°C. Sa densité de vapeur est de 6,93.

Le mercure peut se présenter sous différentes formes :

- Le **mercure sous forme métallique (HgII) ou mercure élémentaire** (CAS n°7439-97-6) qui est toxique uniquement par inhalation. Le mercure est le seul métal pour lequel il peut y avoir une exposition environnementale significative à la forme élémentaire. Dans l'air, on va trouver le mercure essentiellement sous forme métallique. Il est à noter que ce métal a un fort potentiel de bioaccumulation, c'est-à-dire qu'il se fixera facilement dans les tissus lipidiques des êtres vivants.
- Le **mercure inorganique Hg** : essentiellement chlorure de mercure (CAS n°7487-94-7), sulfure de mercure (CAS n°1344-48-5), oxyde de mercure (CAS n°21908-53-2). Il se forme dans les sols par réduction du HgII et est toxique par voie orale et inhalation. Les composés inorganiques du mercure sont très peu volatils.
- Le **mercure organique** : essentiellement MeHg (méthylmercure, CAS n° 22967-92-6) mais aussi EtHg ou (Me)₂Hg. Il peut être formé par processus microbien à partir du mercure métallique. Sous cette forme, le mercure est toxique par voie orale et inhalation. L'acidification du milieu augmente le taux de méthylation, en particulier chez les organismes aquatiques (poissons, mollusques..).

La méthylation du mercure inorganique peut se faire de façon abiotique (en particulier dans les sédiments) ou biotique, grâce à l'action de bactéries ou d'organismes aquatiques. On trouve ainsi de 0,01 à 10% de mercure sous forme méthylée dans l'eau et les sédiments, environ 15% dans les algues, de 20 à 50% dans les invertébrés et de 80 à 99% dans les poissons.

Voies d'exposition et absorption

L'air ambiant et les amalgames dentaires sont les sources principales d'exposition aux vapeurs de mercure, alors que c'est la ration alimentaire qui est la source d'exposition aux composés du méthyle-mercure. L'exposition au méthyle-mercure aéroporté est de 2 ou 3 ordres de grandeur au-dessous de la prise quotidienne par la nourriture et, dans ce contexte, sera considérée comme insignifiante.

Le tableau suivant résume les taux d'absorption mis en évidence par les principales études sur l'absorption des différentes formes du mercure.

Voie d'exposition	Mercure élémentaire	Mercure inorganique	Mercure organique
Orale	< 0,01% (homme) * nd **	7 - 15% (homme) ** jusqu'à 10 % (homme) *	95% (homme) ** > 90 % (homme) *
Inhalation	75 - 85% (homme) ** 80 % (homme) *	40% (animal)**	-
Cutanée	2,6% (homme) **	faible	75% (animal) **

* source INRS, fiche biotox

** source INERIS, fiche de mai 2005

nd ** : la valeur affichée dans le tableau de synthèse de l'INERIS fait vraisemblablement référence à une forme inorganique (chlorure mercurique)

Métabolisation

Le métabolisme et le comportement physiologique du mercure varient considérablement en fonction de son degré d'ionisation. Il passe facilement les membranes pulmonaires en raison de sa forte diffusabilité et de sa

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 107

liposolubilité. Il passe ensuite rapidement dans le système sanguin : 10 mn après la fin de l'exposition, 70 % du mercure est absorbé. L'accumulation se fait ensuite dans le foie et dans les reins.

B) Concentrations dans l'environnement et valeurs guides

Concentrations dans l'environnement

Le mercure est présent dans l'environnement de manière ubiquitaire.

Les concentrations retrouvées dans les différents milieux environnementaux sont les suivantes :

- air : 1 à 4 ng/m³
- eaux : 0,01 à 6 ng/l
- sols : en France, les concentrations dans les sols ordinaires (hors anomalies géochimiques) sont comprises entre 0.02 et 0.20 mg/kg (INRA, D.BAIZE, 1997).

Le mercure est faiblement mobile dans le sol. Le mercure mis en contact avec le sol est rapidement immobilisé (par les oxydes de fer, d'aluminium et le manganèse et surtout par la matière organique), il a tendance à rester dans les horizons de surface.

La méthylation du mercure inorganique peut se faire de façon abiotique (en particulier dans les sédiments) ou biotique, grâce à l'action de bactéries ou d'organismes aquatiques. On trouve ainsi de 0,01 à 10% de mercure sous forme méthylée dans l'eau et les sédiments, environ 15% dans les algues, de 20 à 50% dans les invertébrés et de 80 à 99% dans les poissons.

Le mercure des composés organiques est beaucoup plus facilement absorbé et transféré vers les parties aériennes des végétaux que le mercure des sels minéraux. Le facteur de bioconcentration (en poids sec) dans les plantes (prélèvement depuis le sol) varie de 0,01 à 1 pour les composés de mercure organique et de 0,01 à 0,3 pour les composés de mercure inorganique, pour des concentrations dans le sol de l'ordre de 0,5 ppm.

Valeurs guides

La concentration admissible en mercure dans les eaux de boisson en France et en Europe est de 1 µg/l (décret n°2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007). L'OMS (Guidelines for drinking-water quality, first addendum to third edition, 2006) propose une valeur guide de 0,6 µg/l pour les formes inorganiques du mercure.

L'OMS (Air quality Guidelines for Europe, 2000) propose une valeur guide de 1 µg/m³ pour les vapeurs de mercure inorganique pour une exposition moyenne annuelle. L'OMS précise cependant que des effets sur le système immunitaire ne peuvent être exclus à de plus faibles concentrations.

C) Profil toxicologique

Classement

Le symbole classant le mercure métal et ses composés inorganiques est **T** (toxique).

Les phrases de risque qui les représentent sont : **R23** (toxique par inhalation), **R33** (danger d'effet cumulatif)

Effets cancérigènes

En l'état actuel des connaissances, le mercure métallique n'est pas considéré comme cancérigène pour l'homme de même que les composés inorganiques du mercure.

L'IARC (1997) a placé le **mercure métal et les composés inorganiques du mercure** dans le **groupe 3**, et le **méthylmercure** dans le **groupe 2B**.

Le **mercure élémentaire** (inorganique) est **classé D**, « preuves non adéquates chez l'homme et preuves insuffisantes chez l'animal » par l'US EPA. Le **chlorure mercurique** et le **méthylmercure** sont **classés C** « Preuves inadéquates chez l'homme et preuves limitées chez l'animal » par l'US EPA en 1995.

Effets Mutagènes

Aucun des composés du mercure n'est classé mutagène par l'Union Européenne.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 108

Il est cependant à noter que les dérivés minéraux solubles du mercure, comme ceux de nombreux métaux, exercent une action mutagène dans plusieurs systèmes expérimentaux. Ces observations sont toutefois insuffisantes à elles seules, pour en déduire un effet mutagène éventuel du mercure chez l'homme.

Effets sur la Reproduction

Chez les hommes, des cas d'oligospermie et de stérilité ont été observés chez des travailleurs exposés à l'oxyde mercurique dans une fabrique de batteries. Chez les femmes, une augmentation de l'incidence des avortements spontanés a été observée chez les sujets exposés aux vapeurs de mercure.

Les risques d'effets indésirables du méthylmercure sont accrus chez les femmes enceintes et allaitantes, mais l'OMS a estimé qu'elle ne disposait pas de données suffisantes pour recommander une dose de méthylmercure pour ce groupe de population.

Aucun des composés du mercure n'est classé reprotoxique par l'Union Européenne.

Autres effets toxiques

- **Mercure élémentaire** : L'organe cible majeur est le système nerveux central. Des expositions à long terme et à faibles concentrations (25-80 µg/m³) provoquent des tremblements, de l'irritabilité, une faible concentration intellectuelle et des troubles de la mémoire. On observe également une diminution de la capacité psychomotrice et de la neurotransmission. L'exposition à long terme au mercure élémentaire montre que le rein est également un organe cible. En cas de contact avec des plaies ouvertes, le mercure, à des concentrations très élevées, peut provoquer des inflammations locales.
- **Mercure inorganique** : Le rein est l'organe cible après exposition par voie orale au mercure inorganique. En milieu industriel, l'exposition au mercure inorganique est associée à une protéinurie, et parfois à une néphropathie qui pourrait être d'origine immunitaire. Pour les voies d'absorption par contact cutané et par inhalation, les informations ne sont pas disponibles.
- **Mercure organique** : La voie orale est la voie d'absorption principale du mercure organique et le cerveau est le principal organe cible. Les fonctions sensorielles telles que la vue et l'ouïe aussi bien que les zones du cerveau impliquées dans la coordination motrice sont généralement affectées.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR). Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, USEPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS (INERIS-DRC-00-N°25590–N°99DF389, version2, mai 2005).

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 109

Mercure (effets toxiques à seuil)						
Exposition	Voie d'exposition	cible	espèce	Facteur de sécurité	valeur	source
Mercure élémentaire						
chronique	Inhalation	Système nerveux	homme	100	REL = 0,09 µg/m ³	OEHHA (2003)
				30	RfC = 0,3 µg/m³	US EPA (1995)
				30	MRL = 0,2 µg/m ³	ATSDR (1999)
				30	TCA = 0,2 µg/m ³	RIVM (2001)
Mercure inorganique (* : chlorure mercurique)						
chronique	Inhalation	Système nerveux	homme	100	REL = 0,09 µg/m ³	OEHHA (2003)
		Système nerveux	homme	20	Valeur guide = 1 µg/m ³	OMS (2000)
	Ingestion	rein	rat	1000	RfD = 3.10⁻⁴ mg/kg/j *	US EPA (1995)
		rein	rat	100	TDI = 2.10 ⁻³ mg/kg/j *	RIVM (2001)
Mercure Organique (méthyl mercure : *, acétate de phényl mercure : **)						
chronique	Ingestion	Effet sur le développement	enfant	10	TDI = 1.10 ⁻⁴ mg/kg/j *	RIVM (2000)
		Effet sur le développement	enfant	4,5	MR = 3 10 ⁻⁴ mg/kg/j *	ATSDR (1999)
		Syst. nerveux	homme	10	RfD = 10 ⁻⁴ mg/kg/j *	US EPA (2001)
		Syst. rénal	rat	100	RfD = 8 10 ⁻⁵ mg/kg/j **	US EPA (1996)
		-	homme	-	DJT= 4,7 10 ⁻⁴ mg/kg/j *	AFSSA (2002)
Mercure Total						
chronique	Ingestion	-	-	-	DHT= 5.10 ⁻³ mg/kg/sem.	OMS (2004)
		-	-	-	DJT = 7,1 10 ⁻⁴ mg/kg	AFSSA (2002)

Nickel (Ni)

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le nickel peut se présenter sous différentes formes : Poussière de nickel, Sels solubles de nickel (CAS n° 7440-02-0), Sulfure de nickel (nickel Sulfide) (CAS n° 12035-72-2), Carbonyl de nickel (CAS n° 13463-39-3).

Le nickel est probablement un élément trace essentiel pour les mammifères.

La masse molaire du nickel est de 58,69 g/mol, sa densité est de 8,9 et son point de fusion est de 1455°C.

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.

Le nickel est obtenu principalement à partir des minerais de nickel sulfurés (pyrrhotite nickelifèreuse, pentlandite, chalcopyrite) dans lesquels sont également présents le fer et le cuivre.

Le nickel est utilisé dans la production d'aciers inoxydables et d'aciers spéciaux. Il est également employé dans la production d'alliages non ferreux utilisés par exemple dans la fabrication de pièces de monnaie, d'outils, d'ustensiles de cuisine.

Les composés du nickel sont présents sous forme particulière dans l'atmosphère.

Voies d'exposition et absorption

Les voies d'exposition au nickel dans la population générale sont l'inhalation d'air ou de fumée de tabac qui contient du nickel, l'ingestion de nourriture ou d'eau contaminée, ou un contact cutané avec des pièces ou d'autres métaux constitués de nickel.

Par inhalation, le taux d'absorption se situe entre 20 et 35%.

L'absorption par ingestion est faible du fait que la plus grande partie du nickel ingéré est éliminée par les fèces. Pour le sulfate de nickel, le taux d'absorption par ingestion varie de 0,7 à 27% ; il est de 3% chez des volontaires ayant ingéré 5,6 mg de nickel sous forme de sulfate. Par ailleurs, le taux d'absorption par ingestion est nettement plus élevé chez des sujets à jeun que lorsque le produit est ingéré au cours d'un repas.

Métabolisation

La déposition, la rétention et l'absorption pulmonaire des composés du nickel sont régies par les propriétés physico-chimiques des particules : dans le cas de particules solubles dans les milieux biologiques déposées dans les alvéoles, la demi-vie peut être de quelques heures ; dans le cas de particules insolubles, la clairance demande plusieurs semaines, voire plusieurs années. Même en cas de dépôts pulmonaires de fortes doses de produits insolubles, la concentration de nickel dans le sang reste très faible ; elle est plus élevée dans le cas de composés solubles.

Au niveau des organes, le nickel ne se retrouve en quantité appréciable que dans les reins et les poumons. Il est excrété rapidement dans l'urine à des taux très variables et un peu également dans la sueur. En cas d'ingestion, la plus grande partie du nickel est éliminé par les fèces.

B) Concentrations dans l'environnement et valeurs guides

Concentrations dans l'environnement

Les concentrations moyennes dans l'air données par l'ATSDR dans les espaces urbains seraient de l'ordre de 2 ng/m³. De même, les concentrations retrouvées dans les eaux de surface sont de l'ordre de 10 ppb.

En France, les concentrations dans les sols ordinaires (hors anomalies géochimiques) sont comprises entre 2 et 60 mg/kg (INRA, D.BAIZE, 1997).

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 111

Un BCF de $8,0 \cdot 10^{-3}$ (sec) a pu être observé pour des légumes racines et un BCF de $9,31 \cdot 10^{-3}$ (sec) pour les légumes feuilles (US-EPA, 1992 et 1993).

L'ensemble des données recueillies dans le cadre de l'évaluation des risques en Europe donnent des BCF entre 0,8 et 104 pour les poissons (CE, 2002b).

Valeurs guides

La concentration admissible en nickel dans les eaux de boisson en France et en Europe est de 20 µg/l (décret n°2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007). L'OMS (Guidelines for drinking-water quality, first addendum to third edition, 2006) propose une valeur guide pour les eaux potables de 70 µg/l pour le nickel.

Dans l'air, aucune valeur guide n'a été déterminée par l'OMS. L'OMS précise cependant que la concentration de $0,025 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entraînerait pour une exposition durant la vie entière un excès de risque de $1 \cdot 10^{-5}$.

La future transposition de la directive européenne 2004/107/CE en droit français devrait fixer, pour le nickel sous forme particulaire, une limite de concentration dans l'air de $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

C) Profil toxicologique

Classement

Le symbole classant le nickel est **Xn** (nocif).

Les phrases de risque qui le représentent sont : **R40** (possibilité d'effets irréversibles), **R43** (peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau).

Le symbole classant le monoxyde de nickel est **T** (toxique).

Les phrases de risque qui le représentent sont : **R49** (peut causer le cancer par inhalation), **R43** (peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau).

Effets cancérogènes

L'Union Européenne classe le nickel dans le **groupe 3**. Mais le dioxyde de nickel, le disulfure de di-nickel, le monoxyde de nickel, le sulfure de nickel et le trioxyde de di-nickel sont quant-à eux classés dans le **groupe 1**.

Le CIRC-IARC a placé dans le groupe 1 tous les composés du nickel (oxydes, sulfates et sulfures) et le nickel métal dans le **groupe 2B** en raison de preuves jugées insuffisantes chez l'homme.

Les **sulfures de nickel et les poussières de nickel** sont placés en **classe A** par l'US-EPA (1995), mais les autres formes du nickel n'ont pas été évalués par cette instance.

Une augmentation des cancers des fosses nasales et des poumons a été mise en évidence chez les travailleurs d'usines de production de nickel (traitement des minerais, hydrométallurgie) exposés par inhalation, et des expérimentations sur l'animal ont montré l'induction de cancers après injection de nickel métal ou de monoxyde de nickel par voie sous-cutanée ou intra-péritonéale. A l'opposé aucun des essais réalisés par voie orale n'a mis en évidence d'effets cancérogènes du nickel ou de ses composés selon cette voie.

Effets Mutagènes

Aucun des composés du nickel n'est classé mutagène par l'Union Européenne.

Effets sur la reproduction

Aucun des composés du nickel n'est classé reprotoxique par l'Union Européenne.

Le nickel ionisé traverse la barrière placentaire. Ses composés minéraux exercent chez le rat des effets foetotoxiques, avec réduction du poids du fœtus, augmentation de la fréquence des résorptions et de la mortinatalité. Chez la souris et le hamster, ils induisent en plus une incidence accrue des malformations au niveau du cerveau, des yeux de la voûte palatine et du squelette.

Les composés du nickel semblent exercer d'autre part un effet sur la fertilité des mâles.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 112

Autres effets toxiques

Le nickel est connu depuis longtemps comme l'allergène le plus courant pour la peau. L'exposition professionnelle semble moins importante pour cette sensibilisation que le contact journalier avec des objets usuels (bijoux, pièces de monnaie...). 40 à 50 % de personnes sensibilisées développent des dermatoses eczématiformes récidivantes. De nombreux cas d'asthme sont liés à une exposition à des composés solubles du nickel. En milieu professionnel, cet asthme peut être associé à une dermatose de contact, à un urticaire ou une rhinite.

L'inhalation de composés de nickel peut avoir des effets sur les voies respiratoires et le système immunitaire. Les composés solubles sont plus toxiques que les composés insolubles. De nombreux cas d'asthmes sont liés à une exposition à des composés solubles du nickel.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR). Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérogènes et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS (INERIS-DRC-01-DR029, Déc.2003).

Nickel (effets toxiques sans seuil)				
Voie d'exposition	Type d'effet considéré	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Cancer du Poumon et du larynx	homme	$ERU_i = 3,8 \cdot 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	OMS (2000)
		homme	$ERU_i = 2,6 \cdot 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	OEHHA (2002)

La valeur de l'OMS est obtenue par dérivation de données obtenues lors d'études épidémiologiques en milieu de travail et prenant en compte la survenue de cancer du poumon.

Les valeurs de l'US EPA concernant les composés du nickel ont été dérivées à partir des mêmes études que celles utilisées par l'OMS en considérant de façon un peu empirique que 50% des poussières de raffinerie de nickel sont constituées par du sous-sulfure de nickel.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 113

Nickel (effets toxiques à seuil)					
Voie d'exposition	Organe critique	Observation portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Inhalation	Système respiratoire	Homme et animale	30	MRL = $9 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$	ATSDR (2005)
		rat	100	TCA = $5 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$	RIVM (2001)
		lapin	1000	TC = $1,8 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$	Santé Canada (1993)
		rat	30	REL = $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$	OEHHA (2005)
Ingestion	Diminution poids organes	rat	300	RfD = $2 \cdot 10^{-2} \text{mg}/\text{kg}/\text{j}$	US EPA (1996)
		rat	100	TDI = $5 \cdot 10^{-2} \text{mg}/\text{kg}/\text{j}$	RIVM (2001)
		-	-	RfD = $5 \cdot 10^{-3} \text{mg}/\text{kg}/\text{j}$	JECFA
	Rein	rat	1000	RfD = $8 \cdot 10^{-3} \text{mg}/\text{kg}/\text{j}$	ITER (1999)
	Diminution du poids des organes	rat	300	REL = $0,05 \text{mg}/\text{kg}/\text{j}$	OEHHA (2005)

Pour les effets toxiques non cancérigènes du nickel par ingestion, l'US-EPA propose une RfD de $0,02 \text{mg}/\text{kg}/\text{j}$. Cette valeur établie à partir d'études sur le rat est préférée à celle moins conservatoire du RIVM ($0,05 \text{mg}/\text{kg}/\text{j}$).

Par ailleurs, le travail d'ITER conduit à une valeur de $8 \cdot 10^{-3} \text{mg}/\text{kg}/\text{jour}$ sur la base de l'étude chez le rat de Vyskocyl et coll.1994, applicable aux sels solubles de nickel et basée en particulier sur des effets critiques fonctionnels en particulier l'albuminurie.

Plomb (Pb)

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le plomb est un métal de couleur gris-bleu, mou et malléable. La masse molaire du plomb est de 207,20, sa densité est de 11,34 et son point de fusion est de 327,5°C. Les composés inorganiques du plomb ne sont pas volatils tandis que les composés organiques peuvent être volatils.

Dans l'air, les émissions de plomb sont principalement anthropiques, cependant depuis les deux dernières décennies, avec la disparition de la consommation de l'essence plombée, la pollution atmosphérique par le plomb a considérablement diminuée.

Le plomb peut être présent sous plusieurs formes, qui dépendront essentiellement des conditions redox et de pH du milieu, mais aussi des espèces rencontrées dans le sol. Ce métal peut ainsi se trouver sous la forme inorganique (ions libres en solution (Pb^{2+}), complexe (Pb^{2+} /acide fulvique), ions adsorbés dans des colloïdes ($Pb^{2+}/Fe(OH)_3$), mais c'est sa forme organique (essentiellement tétraalkyl de plomb) qui est la plus toxique pour l'homme. Le plomb tétraéthyl est un additif des carburants plombés.

Voies d'exposition et absorption

Le plomb pénètre dans l'organisme essentiellement par voie digestive (50% pour l'enfant de 2 ans et 5 à 10% pour l'adulte) et par voie pulmonaire (20 à 30%).

La principale voie d'absorption est digestive, les sources étant constituées par les aliments (le lait, l'eau, les boissons) et également les écailles de peinture, les poussières présentes en milieu domestique et les poussières présentes dans le sol ingérées particulièrement par les jeunes enfants (2 à 3 ans) par portage main-bouche.

Métabolisation

Le plomb absorbé passe dans la circulation sanguine ou plus de 90% est fixé aux globules rouges au niveau de la membrane et de l'hémoglobine ; le reste diffuse dans le sérum. Il est ensuite distribué à tous les organes et tissus, richement vascularisés. Le plomb ne s'accumule pas dans les poumons. Il traverse la barrière placentaire et peut s'accumuler dans les tissus fœtaux.

Le plomb inorganique n'est pas métabolisé dans l'organisme. Le plomb absorbé est éliminé par la voie urinaire. Le plomb, en raison de sa similarité avec le calcium peut également être excrété dans le lait.

B) Valeurs guides

Valeurs guides

La concentration admissible en plomb dans les eaux de boisson en France aujourd'hui est de 25 µg/l (décret n°2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007), cette valeur sera abaissée à partir du 25 décembre 2013 à 10 µg/l qui correspond à la valeur guide au niveau Européen (directive 98/83/CE) et à la valeur recommandée par l'OMS (Guidelines for drinking-water quality first addendum to third edition 2006).

L'objectif de qualité de l'air correspond en France à une concentration de 0,5 µg/m³ en moyenne annuelle (décret 2002-213 de février 2002). L'OMS préconise également de ne pas dépasser le seuil de 0,5 µg/m³ en exposition moyenne annuelle.

C) Profil toxicologique

Classement

Le symbole classant le plomb est **T** (toxique).

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 115

Les phrases de risque qui le représentent sont : **R20/22** (également nocif par inhalation et par ingestion), **R33** (danger d'effet cumulatif), **R61** (risque pendant la grossesse d'effet néfaste pour l'enfant), **R62** (risque possible d'altération de la fertilité).

Effets cancérogènes

L'Union Européenne classe le plomb et ses dérivés dans les catégories suivantes:

Catégorie 3 : les chromates, sulfochromates et sulfochromates molybdates de plomb sont des substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles mais pour lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation satisfaisante.

Catégorie 1 : l'arséniate de plomb est cancérogène pour l'homme.

L'IARC classe le plomb et ses dérivés dans les groupes suivants :

Groupe 2A pour le plomb et ses dérivés inorganiques

Groupe 1 : les chromates et arséniates de plomb sont considérés séparément et classés comme cancérogènes pour l'homme (1987).

Groupe 3 : les composés organiques ne peuvent être classés pour leur cancérogénicité pour l'homme (1987).

Enfin, l'US-EPA le classe dans le groupe **B2** : le plomb et ses dérivés inorganiques pourraient être potentiellement cancérogènes pour l'homme (1989).

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérogènes du plomb et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS (INERIS-DRC-01-25590-ETSC-API/SD -N°00df257, Janv.2003).

Plomb - effets toxiques sans seuil				
Voie d'exposition	Type d'effet considéré	Organe critique	Valeur	Source
Inhalation	Tumeurs rénales	rat	ERUi = 1,2 10⁻⁵ (µg.m⁻³)⁻¹	OEHA (2002)
Ingestion		rat	ERUo = 8,5 10⁻³ (mg/kg/j)⁻¹	OEHA (2002)

Plomb – effets à toxiques seuil					
Voie d'exposition	Organe Cible	Facteur de sécurité	Espèce	Valeur	Source
Ingestion	SNC, Rein, Cellule sanguine, Reproduction et développement	-	homme	DJT = 3,5 10⁻³ mg/kg/j	OMS (1993)
		-	homme	TDI = 3,6 10 ⁻³ mg/kg/j	RIVM (2001)

(1)International Atomic Energy Agency

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 116

Vanadium (V)

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le vanadium (V, cas n° 7440-62-2) est un élément trace de la croûte terrestre. Le vanadium est un métal solide à la température ambiante qui n'a pas d'odeur. Il est souvent combiné à l'oxygène, le sodium et le soufre.

Dans l'industrie, le vanadium est utilisé dans la fabrication de caoutchouc, de plastiques, de céramiques. Il est aussi utilisé dans l'industrie chimique comme catalyseur.

Voies d'exposition et absorption et Métabolisation

Non renseigné.

B) Concentrations dans l'environnement et valeurs guides

Concentrations dans l'environnement

Le vanadium est un élément trace de la croûte terrestre sa concentration étant de l'ordre de 0,01 % soit de l'ordre de 100 mg/kg (INRA, 1997).

Dans l'air, les concentrations mesurées au Canada correspondant à un bruit de fond sont comprises entre 0,02 et 1,9 ng/m³. Dans les villes généralement, les concentrations sont comprises entre 50 et 200 ng/m³ tandis qu'elles sont de quelques ng/m³ dans les zones rurales (OMS, Air quality guidelines, 2000).

Non renseigné.

Valeurs guides

La réglementation française (décret n°2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007) et la directive de la CE (03/11/98) ne donnent pas de valeur guide pour le vanadium. Il n'existe pas non plus de valeur guide pour les eaux de boisson pour l'OMS (Guidelines for drinking-water quality, first addendum to third edition, 2006).

Dans les sols et dans l'air on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

L'OMS (Air quality Guidelines for Europe, 2000) propose une valeur guide pour le manganèse de 1 µg/m³ pour une exposition moyenne journalière (24 h) correspondant donc à une exposition aigue.

C) Profil toxicologique

Classement

Absence de classement pour le vanadium.

Effets cancérigènes, mutagènes et sur la reproduction

Le vanadium n'est pas classifié comme cancérigène (**groupe 3** du CIRC/IARC, **classe D** de l'US EPA), les preuves de cancérogénicité sont insuffisantes chez l'homme et chez l'animal

Autres effets toxiques

Les études épidémiologiques sur les travailleurs ont montré que le vanadium pouvait présenter des effets par inhalation. Pour une exposition chronique, ces effets vont de l'irritation de l'appareil respiratoire (irritation, toux...) à des effets plus marqués tels que des bronchites chroniques et des pneumonies.

Les effets résultants d'une exposition humaine au vanadium par ingestion sont encore mal connus. On dispose de quelques études expérimentales chroniques sur le rat et la souris rapportées par l'ATSDR (1993). Les conclusions relatent des effets sur le poids corporel chez le rat et la souris exposées au sulfate de vanadyle et des effets sur le développement chez des rats exposés au méta vanadate de sodium.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 117

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR). Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancers.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, USEPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires existantes.

Vanadium – effets à toxiques seuil						
Exposition	Voie d'exposition	Effet ou Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Formes indistinctes						
Subchronique	Ingestion	Rein	Rat	100	MRL = 0.003 mg/kg/j	ATSDR (1992)
Pentoxyde de vanadium						
Chronique	Ingestion	Effets sur le développement	Rat	100	RfD = 0.009 mg/kg/j	US EPA (1988)



Zinc (Zn)

A) Propriétés intrinsèques

Propriétés physico-chimiques et origine

Le zinc est un métal essentiel, c'est à dire nécessaire en quantité généralement faible, à la vie d'un grand nombre d'organismes. Il entre naturellement dans l'atmosphère à partir du transport par le vent de particules du sol, des éruptions volcaniques, des feux de forêts, d'émission d'aérosols marins. Les apports anthropiques de zinc dans l'environnement résultent de trois groupes d'activités dont les sources minières et industrielles et les épandages agricoles.

Il existe dans l'eau sous diverses formes : ion hydraté ($Zn(H_2O)_2^{2+}$), zinc complexé par les ligands organiques (acides fulviques et humiques), zinc adsorbé sur de la matière solide, oxydes de zinc, etc...

La masse molaire du zinc est de 65,38 g/mol, sa densité est de 7,14 et son point de fusion est de 419°C.

La spéciation du zinc va dépendre de nombreux facteurs tels que le pH et le potentiel redox. Le zinc s'accumule à la surface des sols sous forme oxydée (Zn^{2+}). Sa mobilité dans le sol est faible et est retardée par les oxydes ou hydroxydes de fer et manganèse. Le zinc est présent dans l'écorce terrestre principalement sous forme de sulfure (blende), accessoirement sous forme d'oxydes tels que la smithsonite ($ZnCO_3$), l'hémimorphite ($Zn_4[(OH)_2Si_2O_7]H_2O$), ou l'hydrozincite ($Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$). Le zinc est principalement utilisé pour les revêtements de protection des métaux contre la corrosion (galvanoplastie, métallisation, traitement par immersion).

Voies d'exposition et absorption

La pénétration du zinc dans l'organisme se fait principalement par voie orale (via la nourriture). En milieu professionnel, l'exposition par inhalation peut être également importante. La voie cutanée reste marginale bien que le zinc fasse partie de certaines préparations pharmaceutiques ou cosmétiques.

Les taux d'absorption chez l'homme varient de 8 à 81 % par ingestion, ils ne sont pas connus pour l'exposition par voie inhalation ou cutanée. Chez les animaux, les taux d'absorption par voie cutanée sont faibles : compris entre 1.6 et 6.1 %.

Métabolisation

Le zinc absorbé est transporté de façon active au niveau du plasma. Le zinc se répartit de façon non sélective dans les différents organes et tissus. La voie d'élimination du zinc inhalé est peu connue. Une partie au moins est éliminée via les urines. Le zinc ingéré est excrété principalement dans les fécès, et, dans une moindre mesure, dans les urines. Une faible partie du zinc est également éliminée par la salive, les cheveux et la transpiration.

B) Concentrations dans l'environnement et valeurs guides

Concentrations dans l'environnement

Le zinc est présent dans l'environnement de manière ubiquitaire. Les concentrations ubiquitaires retrouvées dans les différents milieux environnementaux sont les suivantes :

- air : 0,01 à 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Eaux : 10 à 20 $\mu\text{g}/\text{L}$
- Sols : en France, les concentrations dans les sols ordinaires (hors anomalies géochimiques) sont comprises entre 1 et 100 mg/kg (INRA, D.BAIZE, 1997).

Le zinc peut s'accumuler dans les organismes aquatiques, mais les valeurs de BCF décroissent lorsque l'on monte dans la chaîne trophique. Cela peut s'expliquer par une régulation plus importante dans les organismes " supérieurs ". En conséquence il semble que le potentiel de bioaccumulation soit faible.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 119

La fraction de zinc liée aux oxydes de fer et de manganèse est la plus facilement assimilable par les plantes. Parmi les facteurs qui affectent la disponibilité du zinc dans les sols, les paramètres du sol, tels que la quantité totale de zinc, le pH, la matière organique, les sites d'adsorption, l'activité microbienne, l'humidité jouent un rôle important (Alloway, 1995 ; Adriano, 1986). Il existe probablement une compétition avec les autres métaux mobiles sur les sites d'adsorption du zinc.

La base de données du logiciel HESP donne des BCF variant de 0.1 à 0.4.

Valeurs guides

Le zinc est un élément essentiel de notre alimentation, la dose journalière recommandée est de :

- 5,6 à 13 mg/j pour les enfants de 2 mois à 19 ans (Joint FAO/WHO Expert Comitee on Food Additives) et 10 mg/j chez les enfants de 1 à 10 ans (INERIS, NAS, NRC, 1989). En prenant un poids de 15 kg (enfant de 0 à 6 ans), la dose journalière recommandée serait comprise entre 0,3 et 0,9 mg/kg/j ;
- 8,8 à 14,4 mg/j pour les adultes (Joint FAO/WHO Expert Comitee on Food Additives), la variabilité des doses chez les hommes et les femmes est également mise en évidence avec des doses recommandées variant de 7-9 mg/j pour les femmes et 9 à 10 mg/j chez les hommes. En prenant un adulte de 60 kg, la dose journalière recommandée serait comprise entre 0,1 et 0,2 mg/kg/j.

La limite entre la dose nécessaire et la dose néfaste est parfois très difficile à déterminer.

La concentration admissible en zinc dans les eaux de boisson en France est de 5 mg/l (décret n°2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007).

Les valeurs utilisées pour la population générale, en France, concernant la qualité des eaux de consommation sont celles proposées par le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles, cependant le zinc n'est pas concerné par ce décret. Néanmoins, pour des raisons de nuisance des consommateurs, l'OMS a fixé une valeur guide de 3 mg/l pour laquelle l'eau est opalescente et a un goût astringent.

C) Profil toxicologique

Classement

Parmi les différents composés du zinc, seuls le chlorure et le sulfate de zinc sont classés **Xn** (dangereux pour l'environnement). Le sulfate de zinc est classé par ailleurs **Xi** (irritant) et le chlorure de zinc **O** (corrosif).

Les phrases de risque qui les caractérisent sont (INRS, 2002) : **R50/R53** (très toxiques pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme sur els organismes aquatiques) ; **R34** (peut provoquer des brûlures) pour le chlorure de zinc ; **R36/38** (irritant pour les yeux et la peau) pour le sulfate de zinc.

Effets cancérigènes

Le zinc n'est pas classé par le CIRC-IARC (2002) ni par l'Union Européenne. Le zinc est classé dans le **groupe D** « Preuves insuffisantes chez l'homme et l'animal » par l'US-EPA (1991).

Deux études réalisées en milieu professionnel et correspondant à des expositions par inhalation, n'ont pas montré d'augmentation significative de l'incidence des cancers en relation avec l'exposition au zinc.

Effets Mutagènes

Le zinc et ses dérivés n'ont pas fait l'objet d'une classification par l'Union Européenne.

Effets sur la reproduction

Le zinc et ses dérivés n'ont pas fait l'objet d'une classification par l'Union Européenne.

Aucune donnée n'est disponible concernant la toxicité du zinc inhalé sur la reproduction et le développement humain. Par voie orale, des femmes enceintes supplémentées en sulfate de zinc à la dose de 0,3 mg zinc/kg/j durant les six derniers mois de grossesse, n'ont pas présenté de troubles de la reproduction.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 120

Le zinc est nécessaire au développement fœtal. Une carence en zinc peut-être à l'origine de troubles chez les embryons.

Autres effets toxiques

On connaît peu de choses sur la toxicité à long terme du zinc par inhalation. Il a été rapporté que des travailleurs dans la métallurgie présentaient une fréquence plus élevée de problèmes gastro-intestinaux. Sur 15 travailleurs ayant entre 7 et 20 ans d'expérience, 12 avaient fréquemment des douleurs abdominales ou épigastriques, des nausées, des vomissements, des ulcères et des épisodes de constipation. Toutefois, ces individus avaient pu être exposés à d'autres composés chimiques (arsenic, sulfure d'hydrogène) (McCord et al., 1926). Aucun effet hépatique ou rénal n'a été décelé chez des travailleurs exposés durant plusieurs années au zinc (Batchelor et al., 1926 ; Hamdi, 1969).

Des études par inhalation de chlorure de zinc sur les rats, cobaye et souris (INRS, 2002) ont montré des effets sur le sang, le poids du cerveau et des testicules à des concentrations de l'ordre de 120 mg/m³.

Par voie orale, des crampes d'estomacs, des nausées et des vomissements ont été observés chez des volontaires ayant ingéré du sulfate de zinc en tablette (2 mg zinc/kg/j) durant 6 semaines (Samman and Roberts, 1987). L'ingestion d'oxyde de zinc a également été associée à de tels symptômes (Callender et Gentzkow, 1937 ; Anonyme, 1983). De nombreux cas d'anémies ont été décrits chez des personnes supplémentées en zinc durant de longues périodes (1 à 8 ans) (Porter et al., 1977 ; Patterson et al., 1985 ; Hale et al., 1988 ; Hoffman et al., 1988 ; Broun et al., 1990 ; Gyorffy et Chan, 1992).

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France.

Zinc (effets toxiques à seuil)					
Voie d'exposition	Cible	Espèce	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Ingestion	Système sanguin	homme	3	RfD = 0,3 mg/kg/j	ATSDR (2005)
		homme	3	RfD = 0,3 mg/kg/j	US EPA (2005)
		homme	2	TDI = 0,5 mg/kg/j	RIVM (2001)

L'ATSDR et l'US-EPA proposent un MRL ou RfD de 0,3 mg/kg/j pour une exposition intermédiaire et chronique au zinc et à ses composés par voie orale. Cette valeur a été établie en prenant en compte les effets sanguins (diminution de l'hématocrite, de la ferritine sanguine et de l'activité de la superoxyde dismutase érythrocytaires) observés chez des femmes supplémentées en gluconate de zinc à raison de 50 mg zinc/j (0,83 mg/kg/j) durant 10 semaines (Yadrick *et al.*, 1989). Un LOAEL de 1 mg/kg/j a été défini en ajoutant cette dose à l'estimation de l'apport journalier en zinc chez les femmes (0,16 mg/kg/j) établi par la FDA (Pennington *et al.*, 1986). Un facteur minimal de 3 a été appliqué car l'étude concerne une population sensible et également car le zinc est un nutriment essentiel.

Les valeurs utilisées pour la population générale, en France, concernant la qualité des eaux de consommation sont celles proposées par le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles, cependant le zinc n'est pas concerné par ce décret. Néanmoins, pour des raisons de nuisance des consommateurs, **l'OMS a fixé une valeur guide de 3 mg/l** pour laquelle l'eau est opalescente et a un goût astringent.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 121

Poussières ou particules en suspension (PS)

A) Propriétés intrinsèques

Selon la norme européenne EN 481, la partie inhalable des particules peut être décomposée en plusieurs fractions en fonction du diamètre aérodynamique médian (Dae 50). On distingue ainsi la fraction extrathoracique (entre 10 et 100 μm), la fraction thoracique (Dae 50 = 10 μm), dite PM10, la fraction trachéo-bronchique (entre 4 et 10 μm) et la fraction alvéolaire dont le Dae 50 est de 4 μm .

L'évolution des techniques analytiques permet maintenant à l'intérieur de la fraction alvéolaire de mesurer les particules fines, PM 2,5, correspondant à un Dae 50 de 2,5 μm .

Voies d'exposition et absorption

La taille des particules, telle que définie ci-dessus de façon normative, détermine le niveau de pénétration des poussières dans les voies respiratoires et conditionne les effets car les particules de grande taille sont généralement précipitées sur la muqueuse de l'oropharynx et dégluties, alors que les particules de petite taille, les PM 10, peuvent atteindre les voies respiratoires distales, où elles sont éliminées par phagocytose.

Ce sont les PM 2,5 qui vont pénétrer le plus profondément dans l'arbre respiratoire et atteindre les alvéoles pulmonaires. Ces particules fines ont souvent une plus grande acidité que les particules de taille plus importante et la réaction inflammatoire qu'elles produisent, en augmentant la perméabilité épithéliale, facilite le passage des polluants dans le courant lymphatique ou sanguin.

B) Valeurs guides

Valeurs guides

Pour ce qui concerne la pollution atmosphérique particulaire, l'OMS a retenu deux types de valeurs guides : l'une porte sur les niveaux moyens annuels dans l'air ambiant, et l'autre porte sur les niveaux moyens journaliers. Ces valeurs guides sont déclinées pour les PM10 et les PM2,5.

Pour ce qui concerne les niveaux moyens annuels, la valeur guide fixée par l'OMS est de **10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** pour les **PM2,5**, et **20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** pour les **PM10** (Air Quality Guidelines – Global Update 2005). L'OMS indique que « bien que les effets indésirables sur la santé ne puissent pas être entièrement écartés au-dessous de ces concentrations, [elles] représentent les concentrations [...] dont on a non seulement montré qu'elles étaient atteignables dans les grandes régions urbaines des pays très développés, mais qui, si elles sont atteintes, devraient également permettre de réduire considérablement les risques sanitaires »¹. Par conséquent, ces valeurs guides ne peuvent être assimilées à des valeurs toxicologiques de référence (VTR).

Pour les niveaux moyens sur 24h, les valeurs guides sont de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5, et 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10. Bien que les expositions épisodiques soient moins préoccupantes d'un point de vue sanitaire que les expositions chroniques visées par les valeurs guides concernant les moyennes annuelles, l'OMS indique que le fait de respecter ces valeurs guides journalières « permettra de se protéger contre les pics de pollution qui conduiraient autrement à une surmorbidity ou à une surmortalité importante ».

Le parlement européen a arrêté en deuxième lecture le 11 décembre 2007 une position en vue de l'adoption de la directive 2008/.../CE du Parlement européen et du Conseil concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. Pour ce qui concerne les PM2,5, pour lesquelles il n'existait aucune valeur réglementaire européenne jusque là, ce texte indique une valeur cible (« niveau fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée ») de **25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** en moyenne annuelle, à respecter au 1er janvier 2010. Il indique également des valeurs limites (« niveau fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint ») de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle, à respecter au 1er janvier 2015, et de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle, à respecter au 1er janvier 2020.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 122

Pour les PM10, les valeurs réglementaires qui s'appliquent en France sont celles du décret n°2002-213 portant transposition des directives 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 et 2000/69/CE du parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000. Ce décret fixe un objectif de qualité à $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour les PM10. Selon la terminologie précisée par l'article L221-1 du code l'environnement, cet objectif de qualité correspond à « un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement, à atteindre dans une période donnée ».

Des valeurs limites, correspondant au « niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement » sont également fixées pour les PM10. Ces valeurs limites sont de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle et $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le percentile 90,4 des teneurs journalières (c'est-à-dire le niveau ne devant pas être dépassé plus de 35 jours par an). Elles sont applicables au 1er janvier 2005.

L'US EPA (National Ambient Air Quality Standards – Clean Air Act – 16 septembre 1997) a fixé une valeur limite dans l'air pour les particules fines (PM2,5) :

- $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle (moyenne sur 3 années des concentrations moyennes annuelles en PM 2,5). Cette valeur correspond à un facteur d'abattement de 200 par rapport aux valeurs retenues en France et aux Etats-Unis pour l'exposition professionnelle (VLE de $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la moyenne 24h (moyenne sur 3 années du 98ème percentile des concentrations en PM2,5 sur 24 heures).

C) Profil toxicologique

Classement

NA

Effets cancérigènes

Il n'a jamais été rapporté d'effets cancérigènes susceptibles d'être liés à l'exposition aux poussières.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

A l'heure actuelle, il n'existe pas de VTR pour les PM2,5 et les PM10 urbaines.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 123

HAP – hydrocarbures aromatiques polycycliques

A) Propriétés intrinsèques des HAP

Les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) sont formés lors de combustions incomplètes (bois, charbon, fioul, essence, goudrons de houille, cigarettes...) puis rejetés dans l'atmosphère où ils sont présents majoritairement dans la phase particulaire du fait de leur faible volatilité.

Il s'agit de molécules ayant deux (naphtalène) à plus de cinq (benzo-a-pyrène) noyaux benzéniques. Les propriétés toxiques et physicochimiques des molécules sont variables et dépendent en partie du nombre de noyaux benzénique. On compte 16 molécules les plus communément étudiées (liste de l'EPA reprise dans les paragraphes suivants).

Les émissions des cheminées et des fours à bois domestiques, des incinérateurs d'ordures ménagères, des unités de production de goudron et d'asphalte, des unités de craquage du pétrole, constituent les principales sources anthropiques. Ces sources stationnaires représentent environ 80 % des émissions. Les sources mobiles sont constituées par les échappements des véhicules essence et diesel.

La présence de HAP dans les eaux de surface provient du dépôt de particules en suspension dans l'atmosphère, des rejets de lixiviation des aires de stockage de charbon, des effluents des usines de traitement du bois et autres industries, on note par ailleurs que les HAP sont également contenus dans certains insecticides ou fongicides.

Les 16 HAP possèdent des propriétés physico-chimiques très variables :

les solubilités (à 25°C) sont comprises entre $2,6 \cdot 10^{-4}$ mg/l pour le B[g,h,i]P et 32 mg/l pour le naphtalène,

les pressions de vapeur (à 25°C) sont comprises entre $1,3 \cdot 10^{-8}$ Pa pour le B[g,h,i]P et 11.3 Pa pour le naphtalène (qui est le seul HAP que l'on peut classer dans les COV : $P_v > 10$ Pa),

les constantes de Henry (à 25°C) sont comprises entre $2,69 \cdot 10^{-5}$ kPa.m³/mol pour B[g,h,i]P et 0.045 kPa.m³/mol pour le naphtalène.

On note que les propriétés physico-chimiques du B[a]P sont proches de celles du B[g,h,i]P : solubilité de 0.0016 mg/l (25 °C), une pression de vapeur de $7,32 \cdot 10^{-7}$ Pa (25°C) et une constante de Henry de $4,63 \cdot 10^{-5}$ kPa.m³/mol.

L'ensemble des HAP sont facilement sorbés sur les sols, en effet, leurs constantes de partage octanol-eau (logKOW) sont élevées et compris entre 3,3 (naphtalène) et 6,84 (B[k]F).

Voies d'exposition et absorption

L'inhalation et l'ingestion d'aliments constituent chez l'homme les 2 voies d'exposition principales aux HAP, alors que l'exposition par la consommation d'eau de boisson reste minime (1% d'après OMS, 1998). L'exposition par inhalation dépend spécifiquement de la taille des particules sur lesquelles les HAP sont adsorbés.

Taux d'absorption cutané

Wester et al. (1990) ont réalisés des mesures de taux d'absorption sur le B(a)P à partir d'échantillons de peau humaine. Il en ressort que 24,6 % de la dose B(a)P (en solution dans de l'acétone) ont été absorbés au niveau de la peau mais que seulement 0,09 % a traversé la barrière cutanée au bout de 24 heures. Dans les mêmes conditions et pour la même quantité de B(a)P, pour une matrice sol, le taux d'absorption est de 13,2 % sur la peau du singe et 1,41 % sur la peau de l'homme avec 0,01 % ayant traversé la barrière cutanée. Ainsi, la présence de la matrice sableuse (ou sol) réduit la biodisponibilité du polluant. Wester et al. déduit donc une réduction de 75 % de l'absorption cutanée à partir du matrice sol par rapport à une matrice aqueuse.

Par voie cutanée, le taux d'absorption cutané du B(a)P est estimé à 3 % (fiche INERIS) après 24 heures sur un modèle *in vitro* de peau d'origine humaine (Kao et al., 1985). La littérature montre que le taux est très variable en fonction de la durée et des cibles étudiées (entre 0,3 et 3 %).

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 124

Les études recensées et synthétisées par l'INERIS et l'INVS¹ les ont incité à prendre des taux d'absorption pour l'ensemble des HAP de 5 % pour 8 heures et 4 % pour 6 heures d'exposition. Ramené à la journée (24 h), le taux d'absorption serait de 16 %.

L'US-EPA² recommande de prendre en compte un taux de 13 % sur 24 heures.

Enfin, la base de données du logiciel RISC (dont les équations sont utilisées pour le calcul de la dose par contact cutané) propose un taux d'absorption cutané pour l'ensemble des HAP de 10%.

Compte tenu de la variabilité des données et dans la mesure où l'évaluation détaillée des risques doit être à la fois conservatrice et proportionnée, nous retiendrons un taux d'absorption cutané de 10 % pour les HAP excepté le phénanthrène pour lequel des études particulières³ ont montré un taux plus important de 80 %.

Taux d'absorption orale

Le taux d'absorption orale du B(a)P est de 40 % chez l'homme (fiche INERIS). Pour les autres HAP, les taux ne sont pas disponibles ni sur l'homme ni sur les animaux excepté pour l'anthracène où il varie entre 53 et 74 % chez les animaux. Nous considérerons que l'ensemble des HAP possèdent un taux d'absorption orale identique à celui du B(a)P, soit 40 %.

Taux d'absorption inhalation

Les taux d'absorption des HAP par inhalation n'ont pas été étudiés en particulier. Nous prendrons donc un taux de 100%.

B) Concentrations dans l'environnement et valeurs guides

Concentrations dans l'environnement

Les concentrations moyennes dans l'air données par l'OMS (IPCS,1998) en milieu urbain varient de 0.001 µg/m³ à 0.03 µg/m³. Il est précisé que les concentrations dans l'air sont nettement plus importantes en hiver qu'en été du fait de la combustion plus importante à cette période pour le chauffage.

Le bruit de fond anthropique en naphthalène mesuré dans l'air extérieur aux Etats-Unis est très variable (Monographie ATSDR de 2002). En zones urbaines, les concentrations sont généralement inférieures à 4 µg/m³ et les synthèses présentées montrent des moyennes inférieures à 1 µg/m³. Sur des sites industriels, les concentrations mesurées peuvent être nettement plus importantes de quelques dizaines à centaines de µg/m³.

Dans l'air intérieur, les concentrations sont généralement plus élevées et comprises entre 0,9 et 32 µg/m³, cette valeur maximale ayant été mesurée dans des bureaux à Taiwan situés à proximité de sources importantes de trafic automobile. Généralement, les concentrations dans l'air intérieur sont de l'ordre du µg/m³.

Les concentrations ubiquitaires dans les sols sont comprises entre 0.002 et 0.1 mg/kg en fonction du HAP considéré (INERIS, fiches toxicologiques).

Dans les eaux souterraines, les concentrations ubiquitaires sont comprises entre 0.2 et 1.8 ng/l (IPCS,1998).

Le potentiel de bioaccumulation des HAP dans les organismes aquatiques est élevé, les BCF pour les différents HAP (INERIS, fiches toxicologiques) varient de 10 à plus de 90 000. Dans les organismes terrestres, ce potentiel n'a pas été quantifié hormis pour le Benzo(a)pyrène (BaP) pour lequel le BCF varie en fonction des plantes considérées de 10⁻⁵ à 10⁻³ (INERIS, fiche toxicologique).

Valeurs guides

Les concentrations admissibles dans les eaux de boisson en France (décret n°2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007) est définie pour le B[a]P à 0.01 µg/l et pour la somme de plusieurs HAP (benzo(b)fluoranthène,

¹ Rapport d'évaluation du risque sanitaire résiduel pour les populations fréquentant les plages après dépollution du fioul de l'ERIKA. Juillet 2000

² dans l'ouvrage Risk assessment guidance for superfund, 2001

³ voir fiche toxicologique de ce produit par l'INERIS

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 125

benzo(k)fluoranthène, benzo(g,h,i)pérylène, et indeno(1,2,3 –cd)pyrène) à 0.1 µg/l. Pour les autres HAP, aucune valeur n'est définie au niveau français ou européen.

On note que la valeur guide établie par l'OMS pour les eaux de boissons (Guidelines for drinking-water quality first addendum to third edition 2006) est de 0.7 µg/l pour le B[a]P.

L'objectif de qualité de l'air en France (décret 2002-213 de février 2002) ne fait pas référence aux HAP. L'OMS donne une valeur guide à ne pas dépasser (Air quality guideline for Europe) pour le BaP de $1,2 \cdot 10^{-4}$ µg/m³.

La future transposition de la directive européenne 2004/107/CE en droit français devrait fixer, pour le BaP sous forme particulaire, une limite de concentration dans l'air de 0,001 µg/m³.

Dans l'air intérieur, Le rapport final du projet INDEX : « Critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU », 2005 élaboré par l'institut de la protection de la santé et du consommateur établit pour le naphthalène une concentration d'exposition limite sur le long terme de 10 µg/m³. Les concentrations dans l'air intérieur en Europe seraient de l'ordre de 10 fois inférieures à cette limite (INDEX, 2005).

Dans les sols on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

C) Profil toxicologique

Classement

Parmi les HAP, seuls 5 d'entre eux présentent un symbole **T** (toxique), il s'agit grossièrement des substances les moins mobiles.

Les phrases de risques associées sont au minimum **R45** (peut causer le cancer).

Par ailleurs, deux d'entre elles (les benzo (b) et (k) fluoranthène) sont associées au symbole **N** (dangereux pour l'environnement).

Enfin, le naphthalène présente la phrase de risque **R22** (toxique par ingestion).

	Classement	Phrase de risque	classement cancérogénicité		
	symboles		UE	CIRC (IARC)	EPA
Naphtalène	-	R22	3	2B	C
Acénaphène	-	-	-	-	-
Benzo(a)pyrène	T (toxique)	R45, R46, R60, R61	Carc. cat (2) Mut. cat (2) Repr. Cat (2)	2A	B2

Effets cancérogènes

Le pouvoir cancérogène des HAP, ou plus exactement de mélanges d'HAP, chez l'homme, est basé sur les observations réalisées chez les travailleurs exposés par voie respiratoire et cutanée. Les HAP sont incriminés dans plusieurs études concernant des personnes atteintes de cancers des poumons, de la peau, de la vessie, des reins ou des fosses nasales.

Les études animales révèlent également l'apparition de tumeurs chez de nombreuses espèces lors d'une exposition à du benzo(a)pyrène.

Le benzo(a)pyrène est classé comme cancérogène chez l'homme par le CIRC-IARC (**groupe 2A**), l'US-EPA (**classe B2**) et l'UE (**Carc. 2**).

La position de l'OMS dans différents ouvrages ou publications et aussi celle de l'US-EPA est de considérer que le B(a)P a valeur d'indicateur pour les HAP potentiellement cancérogènes, qui ont plus de 3 noyaux aromatiques.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 126

Le tableau de synthèse des classifications des HAP par rapport à leur cancérrogénicité montre que l'anthracène, le benzo(g,h,i)peryène, l'acénaphthylène, le fluoranthène, le fluorène, le phénanthrène et le pyrène sont classés 3 par le CIRC et/ou D par l'US-EPA. L'acénaphthène n'est pas classé.

Pour ces composés, les phrases de risque ne mentionnent pas non plus le caractère cancérigène, et l'article de Nisbet et Lagoy (1992) proposant des facteurs d'équivalent toxique (TEF cité ci-après) mentionne l'absence de données précises leur ayant permis d'aboutir à ces valeurs.

Pour le naphthalène, le potentiel cancérigène n'a pas été prouvé et à la différence des HAP à plus de 3 noyaux aromatiques, il n'est pas mutagène directement. La phrase de risque de ce composé ne fait pas non plus mention de cancérrogénicité (phrase R40 ou R45).

La position de l'IARC, récente (2002), place le naphthalène dans le groupe 2B, et non en 2A, en dépit des résultats chez l'animal sur 2 espèces ; ce point de vue, c'est-à-dire l'impossibilité actuelle de conclure que le naphthalène est un cancérigène probable pour l'homme, est partagé par un grand nombre des experts réunis par l'US-EPA (cf. résultats de la réunion sur le site US-EPA, en date de septembre 2004).

Le mécanisme retenu par l'IARC (2002) est la formation de métabolites entraînant un turn-over important au niveau des épithéliums respiratoires et secondairement la formation de tumeurs. Le naphthalène pourrait avoir des effets clastogènes in vitro mais pas d'effets mutagènes.

Effets sur la reproduction

Des études ont montré que le BaP passe la barrière placentaire chez le rat et la souris. Le benzo[a]pyrène est embryotoxique chez la souris. D'après la bibliographie, aucune étude n'a été effectuée chez l'homme pour rechercher un éventuel effet du benzo[a]pyrène sur la reproduction.

Parmi les HAP, seul le benzo[a]pyrène est classé par l'union Européenne par rapport à ses effets potentiels sur la reproduction (**catégorie 2** associé aux phrases de risque R60 : peut altérer la fertilité et R61 : risques pendant la grossesse d'effets néfastes sur l'enfant).

Effets Mutagènes

Seul le benzo(a)pyrène est classé par l'Union Européenne pour ses effets mutagènes potentiels **catégorie 2** (associé à la phrase R46 : peut causer des altérations génétiques héréditaires).

Le chrysène est par ailleurs classé en catégorie 3 (substance préoccupante pour l'homme en raison des effets mutagènes possibles).

Le naphthalène n'est pas génotoxique en l'état des connaissances ce qui le différencie du benzo(a)pyrène et des autres HAP à plusieurs cycles qui ont des effets similaires à ceux du BaP chez l'homme et chez l'animal et pour lesquels l'approche par équivalents (TEF) est justifiée.

Autres effets toxiques

Les études actuelles sur les effets toxiques non cancérigènes du benzo(a)pyrène sur l'homme montrent que les effets principaux sont cutanés. Il a été observé des altérations cutanées (érythèmes, desquamation, hyper-kératose verruqueuse...) lors d'applications de benzo(a)pyrène à des fins thérapeutiques. De telles observations n'ont pas été décrites chez des personnes présentant des peaux saines.

Chez l'homme, aucune étude épidémiologique concernant l'effet de l'acénaphthène n'est disponible. L'exposition subchronique ou chronique à l'acénaphthène induit des troubles hépatiques, rénaux et hématologiques.

A notre connaissance, il n'existe pas de donnée disponible sur les effets toxiques non cancérigènes de l'anthracène, pour une exposition chronique, chez l'homme. Les études réalisées sur les souris montrent une augmentation de la mortalité et des signes cliniques sur le poids corporel et différents organes, l'ophtalmologie, l'hématologie et l'histopathologie.

L'organe cible pour les expositions au benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et Dibenzo(a, h)Anthracène est le système immunologique.

Chez l'homme une seule étude traite de l'effet induit par une exposition par voie pulmonaire au fluoranthène. Dans cette étude les salariés ont été exposés par voie pulmonaire à un mélange de HAPs contenant du fluoranthène, du peryène, du pyrène, du benz(a)pyrène, du chrysène, du benzo(a)anthracène, du

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 127

dibenz(a,h)anthracène et du benzo(g,h,i)perylène. L'exposition à de fortes concentrations de ce mélange (concentration non précisée) induit une diminution du taux d'immunoglobulines sériques (IgA, IgG et IgM) (Szczeklik *et al.*, 1994). Cette étude n'a toutefois pas permis d'identifier l'effet spécifique du fluoranthène. Les organes cibles identifiés sont le système sanguin et les reins.

L'étude principale mettant en évidence l'effet du fluoranthène administré par voie orale est l'étude de l'US EPA de 1988 (a,b,c) dans laquelle les souris mâles et femelles ont été exposées par voie orale (gavage) à 125, 250 ou à 500 mg/kg/j de fluoranthène pendant 13 semaines. Cette étude a montré qu'à ces doses, le fluoranthène n'induisait pas d'effets sur le système respiratoire, cardiaque ou musculo-squelettique. Par contre, il a été montré une influence du fluoranthène sur l'augmentation du poids relatif du foie et l'augmentation du taux d'enzymes hépatiques.

Aucune étude épidémiologique ne traite des effets du fluorène chez l'homme lors d'une exposition chronique. Chez l'animal, l'exposition chronique au fluorène induit principalement des troubles hépatiques et hématologiques. L'étude principale de l'US EPA de 1988 (a,b,c) dans laquelle les souris mâles et femelles ont été exposées par voie orale (gavage) à 125, 250 ou à 500 mg/kg/j de fluorène pendant 13 semaines. Cette étude a montré qu'à la dose de 500 mg/kg/jour, les effets observés étaient une difficulté pour respirer, un ptosis (abaissement de la paupière supérieure, d'origine congénitale), une diminution du poids absolu du foie, une diminution du poids relatif du foie et de la rate, accompagnée par d'effets sur le système sanguin.

Pour le naphthalène, les données sont peu nombreuses. L'exposition par inhalation, par inhalation et passage cutané, par inhalation et absorption digestive sont responsables d'anémie hémolytique.

Plusieurs cas d'anémie hémolytique ont été décrits après inhalation et pénétration cutanée chez des nouveau-nés dont les vêtements et la literie ont été conservés avec des boules d'antimite (Cock, 1957 ; Dawson *et al.*, 1958 ; Schafer, 1951 ; Valaes, 1963). Ces anémies ont aussi été décrites après inhalation par des nouveau-nés de médicaments contenant du naphthalène (Hanssler, 1964 ; Irle, 1964). Les cas survenus chez des nouveau-nés sont parfois associés à des troubles neurologiques comme une somnolence et une diminution des cris. Mais on peut dissocier ces troubles de ceux liés à la diminution des capacités de transport de l'oxygène.

Huit cas de cataracte ont été décelés chez un groupe de 21 employés d'une teinturerie industrielle où du naphthalène était utilisé. Sept cas sont survenus avant l'âge de 50 ans. Si l'hypothèse d'une causalité est possible, les niveaux d'exposition ne sont pas disponibles (Ghetti et Mariani, 1956).

Aucune étude concernant l'effet chronique du naphthalène après une exposition par voie orale n'est disponible. De plus, aucune relation directe entre l'exposition à long terme au naphthalène par voie cutanée et le développement de symptômes respiratoires, cardiovasculaires, gastro-intestinaux, rénaux et oculaires n'a été montrée (Ghetti et Mariani, 1956).

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérogènes des HAP et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada). La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS sur les HAP datant de décembre 2003).

D-1) Effets cancérogènes

Benzo-a-pyrene (Cas n°50-32-8)

On notera que les valeurs toxicologiques du B(a)P peuvent servir à établir des VTR pour les effets cancérogènes des autres HAP -Voir le chapitre sur les TEF (facteurs d'équivalent toxique).

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 128

Benzo(a)Pyrène (effets toxiques sans seuil)				
Voie d'exposition	Organe critique / type d'effet	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Tractus respiratoire	hamster	ERUi = $1,1 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	OEHHA (2002)
		homme	ERUi (mélange HAP) = $8,7 \cdot 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	OMS (2000)
Orale	Cancer multi-site	Rats/souris	ERUo = $7,3 (\text{mg}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$	US EPA (1994)
		Rats/souris	ERUo = $0,2 (\text{mg}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$	RIVM (2001)
		hamster	ERUo = $12 (\text{mg}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$	OEHHA (2002)

L'ERUi de $1,1 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ a été établi à partir de l'étude expérimentale de Thyssen *et al.*, 1981. Dans cette étude, des hamsters mâles 'Syrian golden' ont été exposés à 2,2, 9,5 et à 46,5 mg/m^3 de benzo[a]pyrène condensé dans des particules de chlorure de sodium. Aucune tumeur n'a été observée au niveau du tractus respiratoire chez le groupe témoin et chez les hamsters exposés à 2,2 mg/m^3 de benzo[a]pyrène. Par contre, pour les concentrations plus élevées, l'incidence des tumeurs du tractus respiratoire augmente avec la concentration de benzo[a]pyrène. Ainsi, le nombre de tumeurs est de 9/26 pour une concentration de 9,5 mg/m^3 et de 13/25 pour une concentration de 46,5 mg/m^3 . Un modèle linéaire multi-étapes sans seuil a été appliqué aux résultats obtenus. Un facteur de correction inter espèce de $(70/0,1)^{1/3}$ a été appliqué et un ERUi de $1,1 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ a été proposé par l'OEHHA pour le benzo[a]pyrène.

La valeur de $8,7 \cdot 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ proposée par l'OMS correspond à un mélange de HAP issu de cokerie et non au benzo(a)pyrène uniquement. Cette valeur basée sur des observations sur les travailleurs de cokerie et sur différents type de cancers (du poumon mais aussi des types de cancer plus variés (vessie, estomac) représentatifs du caractère multi-sites de la cancérrogénicité du BaP).

Par ailleurs, cette valeur a permis d'établir la valeur guide dans l'air en Europe (Air quality guidelines for Europe, 2000) de $1,2 \cdot 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ correspondant à la concentration à partir de laquelle la probabilité de cancer dépasse le seuil de 1 sur 10^5 .

Enfin, la valeur de Santé Canada $\text{CT}(0,05) = 1,6 \text{ mg}/\text{m}^3$ (correspondant à un ERUi de $3,1 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$), n'est pas présentée sachant qu'à cette concentration aucun effet n'est observé.

L'ERUo de $1,1 \cdot 10^{-3} (\text{mg}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$, proposé par le RIVM a été établi à partir de 2 études : Kroese *et al.*, 2001 et Culp *et al.*, 1998. L'avis de l'AFSSA (2003) est que l'étude critique choisie par le RIVM est de bonne qualité et le modèle mathématique utilisé est bien adapté.

L'étude principale est celle de Kroese *et al.*, 2001 dans laquelle des rats Wistar mâles et femelles ont été exposés, par gavage, 5 jours par semaine pendant 2 ans à des doses de 3, 10 et 30 mg/kg p.c de benzo[a]pyrène. Le benzo[a]pyrène est homogénéisé dans de l'huile de soja, de ce fait un groupe témoin ayant reçu l'excipient seul a été réalisé. Les effets cancérigènes principaux ont été observés au niveau du foie et du pré-estomac. Mais des sarcomes des tissus mous, au niveau de l'œsophage, de la peau et des glandes mammaires ainsi que des tumeurs du canal auditif, de la peau, de la cavité buccale, de l'intestin grêle et des reins ont été également constatés. A la dose de 10 mg/kg de benzo[a]pyrène, l'incidence combinée des papillomes et des carcinomes au niveau du pré-estomac est de 43/52 chez les rats mâles et de 30/51 chez les rats femelles. Au niveau du foie, l'incidence combinée des adénomes et carcinomes est de 38/52 chez les rats mâles et de 39/52 chez les rats femelles.

A partir de la dose de 10 mg/kg , retenue comme dose la plus faible induisant l'apparition significative de tumeurs, le RIVM a calculé des DVS (Dose Virtuellement Sûre) pour chaque type de tumeurs (foie, pré-estomac, tumeurs bénignes et malignes ou uniquement malignes et même toutes les tumeurs combinées) afin de choisir la plus significative. Ainsi le RIVM calcule une gamme de DVS allant de 5 à 19 $\text{ng}/\text{kg}/\text{j}$ selon les types de tumeurs considérés. En prenant en compte les types de tumeurs les plus sensibles, le RIVM propose une DVS de 5 $\text{ng}/\text{kg}/\text{j}$ pour un excès de risque de cancer de 10-6, ce qui correspond à un ERUo de $0,2 (\text{mg}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 129

On notera que la VTR de l'US-EPA : ERU_o de 7,3 (mg/kg/j)⁻¹, a été calculée à partir de trois d'études expérimentales pratiquées chez le rat et la souris. Il s'agit d'une moyenne géométrique pour laquelle l'étendue des différentes extrapolations est de 4,5 à 11,7 (mg/kg/j)⁻¹.

Naphtalène (Cas n°91-20-3)

Actuellement, nous jugeons que les valeurs disponibles pour rendre compte des effets cancérigènes du naphtalène ne sont pas adaptées. Il s'agit soit de valeurs en cours de discussion au sein de l'US-EPA (donc non validées), soit de valeurs de l'OEHHA (2005) présentées ci-après. Pour mémoire, l'ERUi est de 3,4 .10⁻⁵ (µg/m³)⁻¹.

Nous avons comparées ces valeurs à celles qui sont obtenues à partir de la VTR pour un mélange de HAP et d'un facteur d'équivalent toxique de 0,001. L'ERUi de l'OEHHA est environ 30 fois plus contraignant que celui ainsi calculé.

Ces grands écarts associés à la faiblesse des données spécifiques au naphtalène nous conduisent à retenir l'approche par équivalent toxique.

Facteur d'équivalent toxique des HAP (TEF)

La position de l'OMS dans différents ouvrages ou publications et aussi celle de l'US-EPA est de considérer que le B(a)P a valeur d'indicateur pour les HAP potentiellement cancérigènes, qui ont plus de 3 noyaux aromatiques. Différentes possibilités sont laissées à l'initiative de l'évaluateur de risque, en particulier celle de recourir à la méthode des équivalents toxiques (méthode proposée par l'OMS) que nous utiliserons dans la présente étude.

L'excès de risque unitaire (ERU) pour un composé *n* est donné par la relation suivante :

$$\text{ERU (composé } n) = \text{TEF (composé } n) \times \text{ERU (du BaP)}$$

Les principaux TEF existants, considérés aussi bien pour la voie orale que la voie inhalation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

	US-EPA (1993)	Baars (2000)	Hempling et al. (1997)	WHO (1998)	Nisbet et Lagoy (1992)
Acénaphène	nr	0.01	0	nr	0.001
Benzo(a)pyrène	1	1	1	1	1
Naphtalène	nr	nc	0	nr	0.001

La comparaison entre le tableau ci-dessus et le tableau de synthèse des classifications des HAP par rapport à leur cancérogénicité montre que pour l'anthracène, le benzo(g,h,i)pérylène, l'acénaphylène, le fluoranthène, le fluorène, le phénanthrène, le pyrène et l'acénaphène, bien que classés 3 par le CIRC et/ou D par l'US-EPA, ou non classé, des TEF sont proposés par certains auteurs. Il en est de même pour le naphtalène dont les effets cancérigènes sont considérés comme non associés à ceux des autres HAP.

D-2) Effets toxiques non cancérogènes

Acénaphène (effets toxiques à seuil)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Orale	Système hépatique	souris	3000	RfD = 0.06 mg/kg/j	US EPA (1994)

La RfD de 0.06 mg/kg/j a été établie à partir d'une étude réalisée chez 4 groupes de 20 souris CD-1 exposées par gavage à 0, 175, 350 ou 700 mg/kg/jour d'acénaphène pendant 90 jours. Un LOAEL de 350 mg/kg/jour ainsi qu'un NOAEL de 175 mg/kg/jour ont été déterminés chez la souris pour des atteintes hépatiques (augmentation de poids et hypertrophie cellulaire). Le NOAEL a servi à calculer un RfD de $6 \cdot 10^{-2}$ mg/kg/jour pour des expositions chroniques à l'acénaphène (US-EPA., 1989). Un facteur de 3000 a été appliqué (extrapolation de données animales vers l'homme : 10, variabilité au sein de la population humaine: 10, un facteur 10 pour l'extrapolation de données subchroniques à des données chroniques: 10, manque de résultats chez d'autres animaux et pour le manque de données sur le développement et la reproduction: 3).

La différence entre cette VTR (chronique) et celle de l'ATSDR (subchronique) est le facteur de sécurité supplémentaire appliqué pour le passage d'une exposition subchronique (3 mois) à une exposition chronique par l'US-EPA, l'étude pivot restant la même.

Naphtalène (effets toxiques à seuil)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Inhalation	Système respiratoire	souris	300	MRL (0.7 ppb)= 4 µg/m ³	ATSDR (2005)
			souris	3000	RfC = 3 µg/m³	US EPA (1998)
			souris	1000	REL = 9 µg/m ³	OEHHA (2003)
	Ingestion	Diminution poids corporel	rat	3000	RfD = 0,02 mg/kg/j	US EPA (1998)

La VTR chronique établie par l'US-EPA de 0.02 mg/kg/j est tirée de l'étude de Battelle, 1980, avec un NOAEL de 71,4 mg/kg/j (ajusté au temps d'exposition) associé à une baisse de 10 % du poids du corps des rats mâles exposés, par gavage, au naphtalène pendant 90 jours. Un facteur de sécurité de 3000 a été appliqué, 10 pour l'extrapolation de l'animal vers l'homme, un facteur de 10 afin de protéger la population sensible au naphtalène, un facteur de 10 pour l'extrapolation des données subchroniques vers des données chroniques et un facteur 3 pour le manque d'études.

La VTR chronique pour les effets toxiques non cancérogènes du naphtalène par inhalation de l'US-EPA reprend un LOAEL ajusté par le NTP, 1992 de 9,3 mg/m³ pour une hyperplasie de l'épithélium respiratoire et une métaplasie de l'épithélium olfactif chez les souris. Ce LOAEL a été utilisé en lui appliquant un facteur de sécurité de 3000 (un facteur 10 pour l'extrapolation de la souris vers l'homme, un facteur 10 afin de protéger la population sensible au naphtalène, un facteur de 10 pour l'extrapolation d'un LOAEL vers un NOAEL et un facteur de 3 pour l'insuffisance des données).

Cette valeur est du même ordre de grandeur tout en demeurant plus précautionneuse pour la santé que celles proposées par l'ATSDR en 2005.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 131

Benzène

A) Propriétés intrinsèques de la substance

Le benzène (CAS n° 71-43-2) est un liquide plus léger que l'eau (densité=0,88 à 15°C), incolore, d'odeur aromatique, perceptible à l'odorat à partir de 4.68 ppmV (INRS, 2004). Le facteur de conversion est 1ppmV = 3,25 mg/m³.

La présence de benzène dans l'environnement est naturelle (feux de forêts, volcans) ou anthropique. L'automobile est en grande partie responsable de la pollution atmosphérique par le benzène (gaz d'échappement, émanation lors du remplissage des réservoirs), comme sous produit du pétrole, il entre dans la composition des essences. La fabrication du benzène et ses diverses utilisations libèrent également du benzène à l'atmosphère.

Parmi les composés des hydrocarbures, le benzène est rangé parmi les COV (composés organiques volatils) et plus précisément parmi les HAM (hydrocarbures aromatiques monocycliques). Il est soluble (1860 mg/l à 10°C), volatil : pression de vapeur de 6031 Pa (10°C) et constante de Henry de 0.56 kPa.m³/mol (25°C) et biodégradable en milieu aérobie.

Voies d'exposition et absorption

La principale voie d'exposition au benzène est l'inhalation, puis dans une moindre mesure, l'ingestion et le contact cutané.

Les taux d'absorption sont de 50% par inhalation (donnée sur l'homme), 97% du benzène ingéré est absorbé (donnée sur animaux), tandis que par contact cutané l'absorption est limitée (0,4 mg/cm²/h donnée sur l'homme) et reste secondaire par rapport à d'autres voies d'exposition.

Métabolisation

Non renseigné

B) Concentrations dans l'environnement et valeurs guides

Concentrations dans l'environnement

Les concentrations moyennes dans l'air données par l'OMS (bruit de fond anthropique) dans les espaces ruraux et urbains sont respectivement de l'ordre de 1 µg/m³ et de 5-20 µg/m³, tandis que les concentrations ubiquitaires dans l'air sont inférieures à 0,3 µg/m³ (HSDB, 2000).

Les concentrations retrouvées lors de la campagne nationale "logements" réalisée par l'OQAI¹ sont les suivantes :

- pour l'air extérieur : médiane < 1,1 et P₉₅ = 2,9 µg/m³
- pour l'air intérieur (lieu de vie) : médiane = 2,1 et P₉₅ = 7,2 µg/m³
- pour l'air intérieur (garage attenant au logement) : médiane = 4,4 et P₉₅ = 18,6 µg/m³

Les fourchettes de concentrations en benzène dans l'air extérieur en fonction des typologies de sites données par le CERTU et le SETRA² sont les suivantes :

- urbain : 0,25 à 3 µg/m³
- péri-urbain: 0,3 à 2 µg/m³
- rural: 0,6 à 1,2 µg/m³
- industriel: 0,4 à 10,6 µg/m³

¹ Etat de la qualité de l'air dans les logements français - rapport final, nov 2006 (màj mai 2007)

² Fourchettes de concentrations de polluants dans l'air en fonction des typologies de sites (rural/urbain/périurbain/traffic/industriel). Décembre 2006.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 132

- trafic : 1 à 9,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Les données actuelles ne permettent pas d'établir de concentrations ubiquitaires dans les sols et sédiments. Dans les eaux souterraines, les concentrations ubiquitaires sont inférieures à 0,03 $\mu\text{g}/\text{l}$ (IPCS, 1993, IUCLID, 1996).

Le potentiel de bioaccumulation du benzène dans les organismes aquatiques est faible, un BCF de 13 est reporté par l'INERIS (fiche toxicologique, 2004). Dans les organismes terrestres, ce potentiel n'a pas été quantifié, il existe cependant des preuves de son accumulation dans des végétaux tels que le cresson et l'orge à partir des sols.

Valeurs guides

La concentration admissible dans les eaux de boisson en France est de 1 $\mu\text{g}/\text{l}$ (décret n°2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007). En Europe, l'OMS en 2006 donne pour valeur guide dans les eaux de boisson une concentration en benzène de 10 $\mu\text{g}/\text{l}$.

L'objectif de qualité de l'air correspond en France à une concentration de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (décret 2002-213 de février 2002). La commission européenne dans le rapport du projet INDEX (critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU) recommande un objectif de concentration dans l'air intérieur aussi bas que possible sans fixer de valeur.

Les valeurs guide air intérieur VGAI définies par l'AFSSET sont les suivantes, celle en gras doit être retenue pour la prise en compte de l'ensemble des effets chroniques :

- VGAI long terme, pour les effets hématologiques non cancérogènes : 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une durée d'exposition supérieure à 1 an,
- **VGAI long terme, pour les effets hématologiques cancérogènes : 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (durée d'exposition "vie entière"), correspondant à un excès de risque de 10^{-5} ,**
- VGAI long terme, pour les effets hématologiques cancérogènes : 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une durée d'exposition "vie entière", correspondant à un excès de risque de 10^{-6} ,
- VGAI intermédiaire : 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 1 an pour les effets hématologiques non cancérogènes prenant en compte des effets cumulatifs du benzène,
- VGAI court terme : 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 14 jours pour les effets hématologiques non cancérogènes prenant en compte des effets cumulatifs du benzène.

Dans les sols on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

C) Profil toxicologique

Classement

Les symboles classant le benzène sont **F** (facilement inflammable) et **T** (toxique).

Les phrases de risque¹ qui le représentent sont : **R45** (peut causer le cancer), **R11** (inflammable), **R48/23/24/25** (toxique : risque d'effets graves en cas d'exposition prolongée, par contact avec la peau et par ingestion).

Effets cancérogènes

Diverses observations en milieu professionnel ont établi qu'il est à l'origine de leucémies et les études expérimentales effectuées chez l'animal montrent les mêmes effets cancérogènes sur la moelle osseuse que chez l'homme.

Le benzène est actuellement le seul hydrocarbure aromatique monocycliques (HAM) considéré comme cancérogène pour l'homme. Il a été placé dans **le groupe 1** par le CIRC-IARC en 1987, dans la **classe A** par l'US-EPA en 1998 et en **catégorie 1** par l'UE.

¹ La définition de ces phrases de risques est donnée dans le chapitre général méthodologique (chapitre 1)

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 133

Effets Mutagènes

Le benzène est génotoxique et induit des aberrations chromosomiques et des micronoyaux in vivo chez l'animal. Chez l'homme, aucune relation ne peut actuellement être établie entre les types de lésions chromosomiques observées in vitro et les effets sur la santé.

Effets sur la reproduction

Le benzène a été montré fœtotoxique chez l'animal. Des études expérimentales ont montré des faibles poids de naissances, des malformations osseuses et des dommages de la moelle osseuse.

Chez l'homme, Aucun effet sur le développement du fœtus ou sur la fertilité masculine n'est reconnu pour une exposition au benzène. Chez la femme, bien que quelques études suggèrent une fréquence accrue des avortements chez les femmes exposées au benzène, aucun élément ne permet de conclure à une tératogénicité ou à une foetotoxicité.

Autres effets toxiques

La cible principale du benzène après une exposition à long terme est le système sanguin, avec des conséquences sur la moelle osseuse, une diminution des globules rouges, une anémie ou plus rarement une polyglobulie (lignée des globules rouges), une leucopénie ou parfois une hyperleucocytose (globules blancs), une thrombopénies (plaquettes). Ces manifestations sont réversibles après cessation de l'exposition.

A un stade plus important cette toxicité hématologique peut se manifester par une aplasie médullaire, dépression totale de la reproduction des cellules sanguines. Ces atteintes ont été décrites dans plusieurs études épidémiologiques, notamment chez des travailleurs exposés à de fortes concentrations de benzène.

Le Syndrome psycho-organique (troubles de la mémoire, de la concentration, de la personnalité, insomnie, diminution des performances intellectuelles correspondant à des effets sur le système nerveux central) a été décrit lors d'exposition chronique au benzène. Ce syndrome est également noté pour le toluène et les sylènes.

Par ailleurs, des effets cardio-vasculaires ont été décrits lors de l'exposition par inhalation aux vapeurs de benzène.

Enfin, la myelotoxicité et la génotoxicité pourraient résulter de l'action synergique des divers composés issus du métabolisme hépatique du benzène (INCHEM, 1996).

Peu d'informations relatives aux autres effets toxiques du benzène sont disponibles chez l'homme.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets sans seuil du benzène et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS : version 2, janvier 2004).

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 134

Benzène (effets toxiques sans seuil)				
Voie d'exposition	Type d'effets considérés	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Leucémies	homme	ERUi = 2,2 à 7,8 10⁻⁶ (µg/m³)⁻¹	US EPA (2000)
		homme	ERUi = 6 10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹	OMS (1997)
		homme	CR = 5.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹	RIVM (2001)
		homme	ERUi = 2,9 10 ⁻⁵ (µg/m ³) ⁻¹	OEHHA (2002)
		homme	CT _{0.05} = 15 mg/m ³ , correspond à ERUi = 3 10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹	Santé Canada (1991)

La fourchette de valeurs proposée pour la voie respiratoire par l'US-EPA a été déterminée à partir de diverses observations chez l'homme et de diverses interprétations de ces observations (Rinsky et al, 1981, 1987, Crump et Allen, 1984 ; Paustenbach et al., 1993, Crump, 1992, 1994) chaque auteur appliquant des modèles de relations dose-réponse différents, ce qui conduit aux valeurs extrêmes de la fourchette.

La position de l'US-EPA est de considérer que ceci représente les incertitudes actuelles sur le mécanisme de cancérogénèse du benzène et aussi les insuffisances des études disponibles, notamment l'absence de précision sur les concentrations et les durées d'exposition, ce qui au total ne permet pas de sélectionner un modèle de relation dose-réponse pertinent.

L'OMS, au contraire, à partir des mêmes études a fait un choix différent en sélectionnant uniquement l'interprétation effectuée en 1994 par Crump (Journal of Toxicology and environmental health, 42 : 219-242), ce qui conduit à un ERUi de 6,0 10⁻⁶ (µg/m³)⁻¹.

Par dérivation de la voie inhalation à la voie orale, l'US-EPA définit une gamme d'ERUo à partir de la gamme des ERUi (en prenant un taux d'absorption par inhalation de 50%, 100% par voie orale, un débit respiratoire de 20 m³/j et un poids de 70 kg).

Par ailleurs, on note que l'US EPA propose un indice de risque unitaire (ERU) de cancer compris entre 4.4.10⁻⁷ et 1.6.10⁻⁶ par µg/l pour l'eau de boisson. On notera que l'OMS propose une valeur guide dans l'eau de boisson de 10 µg/l pour un excès de risque cancer de 10⁻⁵, soit un ERUo de 3 10⁻² (mg/kg/j)⁻¹. Cette valeur a été établie de deux manières : par extrapolation des ERUi calculés à partir d'observations chez l'homme et par extrapolation des résultats observés chez des rats et des souris exposés par voie orale. Les deux méthodes fournissent des résultats identiques.

Le RIVM et Santé Canada proposent des ERUi respectivement de 5.10⁻⁶ (µg/m³)⁻¹ et 3.10⁻⁶ (µg/m³)⁻¹, dans la gamme des valeurs de l'US-EPA. L'OEHHA propose un ERUi de 2,9.10⁻⁵ (µg/m³)⁻¹ établi à partir d'études épidémiologiques portant sur la survenue de leucémies et d'études expérimentales sur les animaux, cette valeur proposée en 1988 se situait dans la gamme des valeurs proposées par l'US-EPA (1979, 1985). Compte tenu de la mise à jour des données de l'US-EPA, la valeur de l'OEHHA n'est pas jugée pertinente. On notera que l'OEHHA a également dérivé l'ERUi en ERUo de 0,1 (mg/kg/j)⁻¹ pour lequel la critique est identique.

Benzène (effets toxiques à seuil)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe Critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Inhalation	Cellules sanguines	homme	10	MRL (0.003ppm)= 10 µg.m ⁻³	ATSDR (2007)
		Cellules sanguines	homme	300	RfC = 30 µg.m⁻³	US EPA (2003)
		Cellules sanguines, nerveux,	homme	10	REL = 60 µg.m ⁻³	OEHHA (2002)

La VTRi de 30 µg/m³ de l'US-EPA (2003), a été établie à partir d'une étude en ambiance professionnelle (Rothman et al., 1996), portant sur des travailleurs exposés aux vapeurs de benzène dans 3 entreprises différentes, entre 6 mois et 16 ans (durée moyenne 6 ans), en retenant comme effet critique la diminution du nombre de lymphocytes circulants et la concentration limite correspondant à un excès de risque de cette diminution de 10% par rapport à la normale, déterminée selon la méthode Benchmark. Après ajustement à une exposition continue il a été appliqué un facteur de sécurité de 300 (extrapolation du niveau d'effet (3), variation de la sensibilité humaine (10), prise en compte d'une étude subchronique (3) et données d'observations incomplètes (3), et il a été attribué un degré de confiance moyen à la RfC ainsi obtenue.

La VTRi de 60 µg/m³ de l'OEHHA (2002), a été établie à partir d'une étude en ambiance professionnelle (Tsai et al., 1983), portant sur des travailleurs exposés aux vapeurs de benzène dans une raffinerie durant 1 à 16 ans (durée moyenne 7,4 ans). Le facteur de sécurité de 10 appliqué tient compte uniquement de la variabilité au sein de la population.

L'ATSDR a estimé un MRL chronique de 0.003 ppm pour le benzène basé sur des benchmark dose (BMD) à partir d'études sur les ouvriers d'industries manufacturières de chaussure du Tianjin, en Chine (Lan et al. 2004). La dose expérimentale (BMCL_{0.25}) de 0.10 ppm a été ajustée à l'exposition continue en utilisant la méthodologie de l'US-EPA. Un facteur de sécurité de 10 (pour protéger des individus sensibles) a été appliqué.

La VTRo de 4 .10⁻³ mg/kg/j de l'US-EPA (2003), a été établie par dérivation à partir de la VTRi (en prenant un taux d'absorption par inhalation de 50%, 100% par voie orale, un débit respiratoire de 20 m³/j et un poids de 70 kg).

L'ATSDR a estimé un MRL oral chronique de 0.0005 mg/kg/jour pour le benzène basé sur l'estimation d'une dose équivalente qui entraînerait les mêmes effets que ceux observés chez les ouvriers professionnellement exposés (Lan et al. 2004). Le BMCL_{0.25SDADJ} de 0.03 ppm (0.096 mg/m³) a été converti en équivalent BMDL_{0.25sdADJ} de 0.014 mg/kg/jour pour le benzène ingéré en utilisant les paramètres de l'US EPA.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 136

Ethylbenzène

A) Propriétés intrinsèques de la substance

L'éthylbenzène (CAS n°100-41-4) est un liquide plus léger que l'eau (densité=0,87 à 15°C), incolore, d'odeur aromatique, perceptible à l'odorat à partir de 2.3 ppmV (INRS, 2004), Le facteur de conversion est 1ppmV = 4.42 mg/m³. Dans les eaux, le seuil olfactif est de 2,4 µg/l (INERIS, 2003).

L'éthylbenzène est un solvant utilisé dans le nombreux produits, y compris de consommation courante : diluants, adhésifs, peintures, vernis, encres, laques ou en tant que matière première en synthèse organique. Il est ajouté à l'essence automobile (environ 2 % en poids) pour son rôle antidétonant.

La fabrication de l'éthylbenzène et ses diverses utilisations le libèrent à l'atmosphère (trafic automobile, raffinage du pétrole, préparation et au transport d'asphalte chaud, rejets des incinérateurs, etc.).

Parmi les composés des hydrocarbures, l'éthylbenzène est rangé parmi les COV (composés organiques volatils) et plus précisément parmi les HAM (hydrocarbures aromatique monocyclique). Il est soluble (180 mg/l à 10°C), volatil : pression de vapeur de 510 Pa (10°C) et constante de Henry de 0.82 kPa.m³/mol (25°C) et biodégradable.

Voies d'exposition et absorption

La principale voie d'exposition à l'éthylbenzène est l'inhalation, puis dans une moindre mesure, l'ingestion et le contact cutané.

Les taux d'absorption sont : par inhalation 49 à 64% de l'éthylbenzène inhalé est absorbé (donnée sur l'homme pour une exposition de 8 h) ; par voie orale, chez l'animal, l'éthylbenzène est rapidement et facilement absorbé (absence de données sur l'homme). Par contact cutané avec les sols, aucune donnée n'est disponible.

Métabolisation

Non renseigné.

B) Concentrations dans l'environnement et valeurs guides

Concentrations dans l'environnement

Les concentrations ubiquitaires dans l'air (OMS) sont inférieures à 0.2 µg/m³ (IPCS, 1996).

Les concentrations retrouvées lors de la campagne nationale "logements" réalisée par l'OQAI¹ sont les suivantes :

pour l'air extérieur : médiane = 1 et P₉₅ = 2,6 µg/m³

pour l'air intérieur (lieu de vie) : médiane = 2,3 et P₉₅ = 15 µg/m³

Les données actuelles ne permettent pas d'établir de concentrations ubiquitaires dans les sols, les sédiments et les eaux souterraines.

Le potentiel de bioaccumulation de l'éthylbenzène dans les organismes aquatiques est faible, le BCF varie pour les poissons de 1 à 4 (INERIS, 2004). Dans les organismes terrestres, ce potentiel n'a pas été quantifié.

Valeurs guides

La réglementation française (décret n°2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007) ne donne pas de valeur guide pour l'éthylbenzène dans les eaux de boisson. Par contre l'OMS (Guidelines for drinking-water quality, first addendum to third edition, 2006) donne une concentration admissible dans les eaux de boisson de 300 µg/l.

¹ Etat de la qualité de l'air dans les logements français - rapport final, nov 2006 (màj mai 2007)

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 137

On notera que l'OMS précise que la plus petite concentration à laquelle des odeurs peuvent être notées est de 2 µg/l, soit nettement en deçà de la valeur guide proposée.

En France le décret 2002-213 de février 2002 sur les objectifs de qualité de l'air ne propose pas de valeur guide pour l'éthylbenzène. L'OMS (Air quality Guidelines for Europe, 2000) ne propose pas non plus de valeur guide.

Dans les sols on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

C) Profil toxicologique

Classement

Le symbole classant l'éthylbenzène est **Xn** (nocif).

Les phrases de risque¹ qui le représentent sont : **R11** (facilement inflammable) et **R20** (nocif par inhalation).

Effets cancérogènes

En fonction des résultats d'études récentes le CIRC-IARC a placé l'éthylbenzène dans le groupe **2B** en considérant qu'il n'y a pas de preuves d'effets cancérogènes chez l'homme mais que les preuves sont suffisantes chez l'animal (aout 2000). La seule position connue de l'US-EPA (**classement en D**) est obsolète puisqu'elle date de 1991, et l'éthylbenzène n'est pas classé actuellement au sein de l'Union Européenne pour ses éventuels effets cancérogènes chez l'homme.

Comme le souligne l'IARC l'éthylbenzène est considéré globalement comme ne possédant pas de propriétés mutagènes ou génotoxiques directes. Il a été suggéré que dans certains cas c'est un métabolite de l'éthylbenzène qui pourrait induire les effets cancérogènes observés chez l'animal et il a aussi été envisagé un processus de cancérogénèse avec seuil d'effet.

De fait chez l'homme, les études disponibles n'ont montré aucune association entre l'apparition de cancers et l'exposition par inhalation sur une durée de 15 ans dans une unité de polymérisation du styrène, et il en est de même dans une unité de production sur une durée différente. Dans ces deux études, les méthodes de suivi et de mesures de l'exposition sont cependant insuffisantes pour permettre de valider les résultats. Par ailleurs aucune étude sur l'effet cancérogène de l'éthylbenzène par voie orale ou par voie cutanée n'est disponible chez l'homme.

Effets Mutagènes

L'éthylbenzène n'est pas considéré en l'état actuel des connaissances comme présentant des effets mutagènes (absence de classement par l'UE et avis formulé par l'IARC en 2000).

Effets sur la reproduction

La toxicité de l'éthylbenzène sur le développement a été étudiée chez le rat après administration par inhalation. Les concentrations supérieures à 1000 ppm ont provoqué une diminution significative du gain de poids maternel et une diminution du poids fœtal. Aucun effet tératogène n'a été observé jusqu'à 2000 ppm.

L'éthylbenzène n'est pas considéré en l'état actuel des connaissances comme présentant des effets sur la reproduction (absence de classement par l'UE).

Autres effets toxiques

L'exposition par voie respiratoire à l'éthylbenzène peut entraîner une somnolence, des céphalées, une fatigue, une irritation des voies respiratoires, des yeux, du nez.

Deux études réalisées chez des salariés ont montré des résultats contradictoires concernant les effets toxiques induits par une exposition chronique par voie pulmonaire à l'éthylbenzène (Angerer et Wulf., 1985, Cometto-Muniz et Cain., 1995, Thienes et Haley., 1972, Yant et al., 1930).

L'étude de Angerer et al., 1985 a mis en évidence chez des salariés exposés à des alkylbenzènes dont l'éthylbenzène une augmentation du nombre de lymphocytes ainsi qu'une diminution du taux d'hémoglobine, le système sanguin semble être l'organe cible des expositions chroniques aux alkylbenzènes. Compte tenu du

¹ La définition de ces phrases de risques est donnée dans le chapitre général méthodologique (chapitre 1)

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 138

manque d'information sur la concentration à laquelle ont été exposés les individus et compte tenu du mélange de substances (xylènes, n-butanol, hydrocarbures aromatiques) auquel les salariés ont été exposés, l'US EPA indique que les résultats de Angerer et Wulf., 1985 ne sont pas adéquats.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR). Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS : version 1, juin 2003).

Ethylbenzène (effets toxiques sans seuil)				
Voie d'exposition	Type d'effets considérés	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Cancer du rein	rat	ERUi = $2,5 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	OEHHA (2007)

Il n'y a que l'OEHHA qui propose à l'heure actuelle pour les effets toxiques sans seuil des VTR. L'Ethylbenzène est la seule substance de notre synthèse classée 2B par le CIRC et non classée par ailleurs. La pertinence de ces ERU est donc soumise à caution.

En 2007, l'OEHHA a établi des valeurs d'excès de risque unitaire pour l'éthylbenzène, pour les voies d'exposition par inhalation et ingestion.

L'ERUi est de $2,5 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$, basé sur l'incidence des cancers du rein (adénome ou carcinome des tubules rénaux) observés chez les rats males. Pour l'ingestion, la valeur d'ERUo est obtenue par dérivation de l'ERUi.

Ethylbenzène (effets toxiques à seuil)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe ou effet critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
chronique	Inhalation	Effets sur le développement	Rat et lapin	300	RfC = $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$	US EPA (1991)
		Syst. rénal	rat	300	MRL = 0,3 ppm soit $1300 \mu\text{g}/\text{m}^3$	ATSDR (DRAFT – 2007)
		Systèmes rénal et hépatique	animale	30	REL = $2 \text{ mg}/\text{m}^3$	OEHHA (2002)
			animale	100	TCA = $0,77 \text{ mg}/\text{m}^3$	RIVM (2001)

L'US-EPA propose une RfC de **1 mg/m³**, établie sur la base de deux études (Andrew et coll., 1981 et Hardin et coll., 1981). Des femelles de rats et de lapins ont été exposées avant gestation ou au cours de la gestation 6h/j et 7j/7, pendant les durées de gestation (19 à 24 jours) et sacrifiées 1 jour avant la mise bas. Les effets observés (réduction du nombre de petits vivants par portée chez le lapin et modification du nombre de côtes chez le lapin) ont permis de déterminer un NOAEL de $434 \text{ mg}/\text{m}^3$ et de dériver une RfC de $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ en appliquant un facteur de sécurité de 300 pour variation inter-espèce (3), absence d'études sur plusieurs générations (10) et prise en compte des populations sensibles (10). L'US-EPA n'accorde qu'un niveau de confiance faible à cette valeur en raison de l'absence de suivi sur au moins 2 générations.

Le RIVM à partir d'études récentes sur rats et souris (NTP, 1996) portant sur effets cancérogènes et non cancérogènes de l'éthylbenzène a dérivé une TCA de $0,77 \text{ mg}/\text{m}^3$ pour altérations du foie et des reins, les altérations retenues par le RIVM sont des atteintes faibles ou modérées, ainsi cette valeur surestime sans doute le danger.

L'ATSDR a établi un MRL chronique de 0.3 ppm pour ethylbenzène basé sur un LOAEL de 75 ppm pour une augmentation significative de la sévérité des effets sur le rein chez des rats femelles exposés à l'ethylbenzene

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 139

par inhalation pendant 5 jours/semaine, 6 heures/jour, pendant 104 semaines (NTP 1999). Le MRL a été établi en divisant le $LOAEL_{HEC}$ de 75 ppm par un facteur de sécurité de 300 (10 pour l'utilisation d'un $LOAEL$, 3 pour l'extrapolation à l'homme avec l'ajustement dosimétrique et 10 pour la variabilité humaine). Cette valeur est encore sous forme de draft.

L'US-EPA (1991) propose une RfD de 0.1 mg/kg/j. Cette valeur a été établie à partir de l'étude de Wolf et al., 1956. Après gavage des rats 5 jours par semaine pendant 182 jours à 13,6, 136, 408 ou à 680 mg/kg/j d'éthylbenzène en présence d'huile d'olive, un NOAEL de 97,1 mg/kg/j ($136 \times 5/7$) a été calculé pour une toxicité hépatique et rénale. Un facteur de sécurité de 1000 a été appliqué : un facteur de 10 pour la variation intra-espèce, un facteur de 10 pour la variabilité au sein de la population humaine et un facteur de 10 pour l'extrapolation des données sub-chroniques en données chroniques. Cette valeur a été reprise par le RIVM en 2001.

L'ATSDR a évalué un MRL oral pour une exposition subchronique de 0.5 mg/kg/jour pour l'éthylbenzène basé sur un $BMDL_{10}$ de 48.2 mg/kg/jour pour des effets sur le foie (hypertrophie des hépatocytes centrolobulaires) chez des rats mâles exposés à l'éthylbenzène par le gavage pendant 13 semaines (Mellert et al. 2007). Le MRL a été estimé en divisant le $BMDL_{10}$ de 48.2 mg/kg/jour par un facteur de sécurité de 100 (10 pour l'extrapolation à l'homme avec l'ajustement dosimétrique et 10 pour la variabilité humaine).



RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 140

Formaldéhyde

A) Propriétés intrinsèques de la substance

Le formaldéhyde (cas n° 50-00-0) est un liquide ($d=0,736$) ou un gaz ($d=1,036$) incolore d'odeur piquante et suffocante. Le seuil olfactif est compris entre 0,06 ppm et 1 ppm, il est donné à 0,05 ppmV par l'iNRS (2005) avec $1 \text{ ppm} = 1,25 \text{ mg/m}^3$.

Il est préparé par oxydation catalytique de méthanol en phase vapeur en utilisant de l'air comme agent oxydant et de l'argent chauffé à une température de 600 à 720 °C ou des oxydes de fer ou de molybdène portés à une température de 270 à 380°C comme catalyseurs.

Le formaldéhyde est utilisé dans la fabrication des résines phénoplastes, aminoplastes, polyacétals. Il est également employé comme germicide, insecticide, fongicide et comme fixateur pour les spécimens histologiques. Il est d'autre part utilisé dans des domaines divers tels que l'industrie du papier, le tannage du cuir, la photographie, l'analyse chimique, la fabrication de substances chimiques organiques, de soie artificielle, d'esters de cellulose, de teintures et d'explosifs.

Le formaldéhyde (masse molaire 30,03 g/mol) est hautement mobile dans l'eau et dans l'air, ses caractéristiques physico-chimiques sont : pression de vapeur saturante de 314 à 519 kPa (10 et 25°C), une solubilité de 10^6 mg/l (25°C), une constante de Henry de $3,4 \cdot 10^{-5} \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$ et une constante de partage octanol carbone de 1,07.

Principales voies d'exposition et absorption

Le taux d'absorption par inhalation est de 100%. Par ingestion, le taux d'absorption est de 90% (INERIS).

B) Concentrations dans l'environnement et valeurs guides

Concentrations dans l'environnement

Non renseigné

Valeurs guides

Pour les eaux potables, on ne dispose pas de valeur réglementaire au niveau Français ou européen ni de valeur guide de l'OMS (Guidelines for drinking-water quality, first addendum to third edition, 2006).

Pour l'air extérieur, la valeur guide recommandée par l'OMS (Air quality Guidelines for Europe) est de $100 \mu\text{g/m}^3$ pour une exposition de courte durée : 30 min.

Dans l'air intérieur, Le rapport final du projet INDEX : « Critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU », 2005 élaboré par l'institut de la protection de la santé et du consommateur établit pour le formaldéhyde une concentration à partir de laquelle sa présence est préoccupante sur le long terme de $1 \mu\text{g/m}^3$. Les concentrations médianes dans l'air intérieur en Europe sont cependant généralement plus élevées, la médiane est de $26 \pm 6 \mu\text{g/m}^3$, le centile 90 étant de $59 \pm 7 \mu\text{g/m}^3$ (INDEX, 2005).

Les valeurs guide proposées par l'AFSSET en 2007 sont les suivantes :

- $10 \mu\text{g/m}^3$ pour une exposition long terme ;
- $50 \mu\text{g/m}^3$ pour une exposition sur 2 heures.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 141

C) Profil toxicologique

Classement

Le symbole classant le formaldéhyde est **T** (toxique).

Les phrases de risque qui représentent le formaldéhyde sont : **R23/24/25** (toxique par inhalation, par contact cutané, par ingestion), **R34** (provoque des brûlures), **R40** (possibilité d'effets irréversibles), **R43** (peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau).

Effets cancérogènes

La substance est probablement cancérogène pour les humains (US-EPA : **B1**, IARC : **2A**), puisque les preuves chez les humains sont limitées, mais suffisantes chez les animaux.

L'Union Européenne le classe en **catégorie 3** : substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles.

Les différentes classifications énoncées dans ce paragraphe font uniquement référence aux propriétés cancérogènes du formaldéhyde par inhalation. Le formaldéhyde par voie digestive ne conduit pas au développement de tumeurs cancéreuses (OMS, 1996).

Des études épidémiologiques ont observé une relation entre exposition au formaldéhyde à des concentrations supérieures à 1 mg.m⁻³ et des cas de cancers nasopharyngé et sino nasal. Sur le plan expérimental, des preuves de cancer nasal chez le rat exposé au formaldéhyde ont été avancées.

Effets Mutagènes

Le Formaldéhyde n'est pas classé mutagène par l'Union Européenne.

La plupart des tests de mutagenèse réalisés in vitro sont positifs, quel que soit le matériel utilisé. Le formaldéhyde est très réactif, il se lie de manière covalente avec les protéines et l'ADN monocaténaire : il se forme des ponts ADN-protéines.

Les résultats des tests réalisés in vivo sont discordants, mais ils sont généralement négatifs. Le formaldéhyde est susceptible de se lier avec l'ADN de la muqueuse respiratoire nasale de rat pour former des adduits et des ponts ADN-protéines.

En revanche, on n'a pas d'effet mutagène ou de liaison covalente de formaldéhyde avec l'ADN à distance du point de contact avec l'organisme, chez les mammifères.

Les tests réalisés sur des cellules humaines in vitro sont tous positifs. Les résultats des examens effectués dans des populations humaines exposées sont discordants ; ils sont encore trop peu nombreux pour permettre d'apprécier les effets mutagènes du formaldéhyde chez l'homme.

Effets sur la reproduction

Le Formaldéhyde n'est pas classé reprotoxique par l'Union Européenne.

En étude expérimentale, aucun effet tératogène n'a été mis en évidence. Des effets foetotoxiques apparaissent aux plus fortes doses (supérieures ou égales à 1 mg/m³ pendant 22 heures par jour par inhalation ; 185 mg/kg par jour par voie orale).

Autres effets toxiques

Des études portant sur des professionnels exposés au formaldéhyde mettent en évidence une prévalence de signes d'irritation cutanée, d'irritation des muqueuses oculaires et des voies respiratoires, des manifestations évoquant une pathologie respiratoire chronique et des lésions de l'épithélium respiratoire nasal. Le formaldéhyde est également un puissant allergène sur les plans cutanés et respiratoires, pouvant aller jusqu'au choc anaphylactique.

Les études existantes ne permettent pas aujourd'hui d'affirmer que le formaldéhyde est, de lui même, cause d'allergie respiratoire. En milieu professionnel, plusieurs travaux ont en effet permis de constater l'absence d'effet sur le système immunitaire, avec en particulier une recherche infructueuse de la présence d'anticorps spécifiques (Dykewicz *et al.*, 1991; Grammar *et al.*, 1990; Kramps *et al.*, 1989).

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 142

Il semblerait, cependant, exister chez certains sujets une sensibilité particulière au formaldéhyde qui se traduit par des altérations du système immunitaire, à l'origine de pathologies asthmatiques.

La concentration la plus faible associée à une irritation des voies respiratoires chez les humains est de $0,1\text{mg.m}^{-3}$ après une exposition à court terme, même si certains individus peuvent détecter la présence de la substance à des concentrations inférieures. L'irritation des yeux et la diminution du flux de la muqueuse nasale débutent entre $0,5$ et 2mg.m^{-3} . Au delà, des sensations de piqûres apparaissent dans le nez et les yeux, ainsi qu'un mal de tête. Une diminution des fonctions respiratoires est observée à une concentration de $3,7\text{mg.m}^{-3}$ en cas d'exercice, notamment chez les personnes asthmatiques. Entre 5 et 25mg.m^{-3} , des larmolements tolérables puis intenses apparaissent de façon durable. Œdème pulmonaire et pneumonie pouvant être mortelle sont notés pour des concentrations comprises entre 37 et 60mg.m^{-3} . A des concentrations supérieures, la mort survient.

D) Relation Dose/effet et Dose/réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérogènes et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, USEPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France.

Formaldéhyde (effets toxiques sans seuil)				
Voie d'exposition	Type d'effet considéré	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Cancer nasal	rat	ERU _i = $1,3.10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	US EPA (1991)
		rat	ERU _i = $6.10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	OEHHA (2002)

L'US-EPA propose une valeur d'excès de risque unitaire par inhalation (ERU_i) de $1,3.10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ soit $1,1.10^{-5} \text{ppm}^{-1}$. Cette valeur a été calculée à partir de l'étude de Kerns *et al.*, (1983), qui avait pour but de déterminer l'incidence de tumeurs nasales malignes chez des rats Wistar mâles, exposés par inhalation à différentes concentrations d'aldéhyde pendant deux ans.

Formaldéhyde (effets toxiques à seuil)					
Voie d'exposition	Cible	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Inhalation	Système respiratoire	homme	30	MRL = $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$	ATSDR (1999)
			10	REL = $3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$	OEHHA (2003)

L'ATSDR propose un MRL de $0,008\text{ppm}$ ($0,01\text{mg}/\text{m}^3$) pour une exposition chronique par inhalation. Le MRL est dérivé d'un LOAEL de $0,24\text{ppm}$ ($0,3\text{mg}/\text{m}^3$) défini à partir d'une étude sur l'homme mettant en évidence l'augmentation de lésions de l'épithélium nasal en atmosphère professionnel (Holmstrom *et al.*, 1989). Un facteur de 30 est retenu (3 pour l'utilisation d'un LOAEL, 10 pour la variabilité au sein de la population).

L'OEHHA propose un REL de $3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition chronique par inhalation. Le MRL est dérivé d'un NOAEL de $0,032\text{mg}/\text{m}^3$ défini à partir d'une étude sur l'homme mettant en évidence l'augmentation de lésions de l'épithélium nasal en atmosphère professionnel (Holmstrom *et al.*, 1992). Dans ce cas, seul un facteur de 10 est retenu pour la variabilité au sein de la population.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 143

Dioxyde d'azote

A) Propriétés intrinsèques de la substance

Les oxydes d'azote NO et NO₂ désignés sous le terme générique NO_x sont des gaz composés d'au moins une molécule d'azote et une molécule d'oxygène. Le NO₂ (CAS n°10 102-44-0) est un gaz rouge brun à l'odeur âcre et piquante. Le dioxyde d'azote NO₂ présente le plus grand intérêt sur le plan sanitaire en raison de son caractère oxydant. En comparaison, le NO est 5 fois moins toxique.

Le dioxyde d'azote peut se former par combinaison de l'oxygène et de l'azote de l'air lors des phénomènes naturels (orages, éruptions volcaniques). Par ailleurs, les principales sources de NO₂ dans l'air extérieur sont les moteurs à essence (45%) suivi par la combustion du fuel et du charbon (35%).

Le dioxyde d'azote, à température ordinaire, est un liquide très volatil (pression de vapeur de 96 KPa à 20°C), plus lourd que l'air (densité du gaz : 1,58), d'odeur très irritante, perceptible dès 0,2 ppm (0,38 mg/m³). Il réagit lentement avec l'eau en donnant de l'acide nitreux (HNO₂) et de l'acide nitrique (HNO₃).

Voies d'exposition et absorption

Les oxydes d'azote pénètrent dans l'organisme essentiellement par inhalation, mais les passages cutanés sont également possibles. Le dioxyde d'azote, de par sa solubilité, peut être absorbé à tous les niveaux du tractus respiratoire.

Chez l'homme, l'absorption de dioxyde d'azote est de 81-90% pendant une respiration normale et de 90% pendant une respiration forcée.

B) Valeurs guides

Valeurs guides

L'objectif de qualité de l'air correspond en France à une concentration de 40 µg/m³ en moyenne annuelle (Décret 2002-213 de février 2002). Le seuil de recommandation et d'information est de 200 µg/m³ en moyenne horaire et les seuils d'alerte sont de 400 µg/m³ en moyenne horaire et 200 µg/m³ en moyenne horaire si la procédure d'information et de recommandation pour le dioxyde d'azote a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain.

L'OMS (Air quality guidelines, Global update 2005) donne une valeur guide de **40 µg/m³** pour une durée d'exposition d'une année et 200 µg/m³ pour une durée d'exposition d'une heure.

C) Profil toxicologique

Classement

Le symbole classant le dioxyde d'azote est **T+** (Très toxique).

Les phrases de risque qui le représentent sont : **R26** (très toxique par inhalation), **R37** (irritant pour les voies respiratoires),

Effets cancérigènes

Le dioxyde d'azote n'est pas classé comme agent cancérigène [**Groupe 3** de l'UE ou **groupe D** de l'US EPA].

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

A l'heure actuelle, il n'existe pas de VTR pour le NO₂.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 144

Dioxyde de soufre

A) Propriétés intrinsèques de la substance

Le dioxyde de soufre (CAS n°7446-09-05) peut être d'origine naturelle (océans et volcans) mais sa principale source est anthropique car il provient de la combustion de combustibles fossiles (pétrole et charbon) pour le chauffage et la production d'énergie.

Dans l'industrie, il sert essentiellement à la production d'acide sulfurique.

Le dioxyde de soufre ou anhydride sulfureux est gazeux dans les conditions normales de pression et de température. C'est un gaz incolore, plus lourd que l'air (densité de vapeur : 2,26), qui présente une forte odeur piquante, perceptible dès 1,1 ppm (3,14 mg/m³). Il est soluble dans l'eau (11,3% à 20°C).

Voies d'exposition et absorption

Le dioxyde de soufre pénètre dans l'organisme par inhalation. Fortement soluble, il est rapidement hydraté, dissocié en sulfite et bisulfite et absorbé dans le tractus respiratoire supérieur (nez et pharynx).

La pénétration dans les voies respiratoires inférieures est limitée dans le cas d'une respiration calme par le nez et augmente en cas de respiration profonde par la bouche. 90% sont absorbés à forte concentration et 5% ou moins pour des concentrations inférieures à 1 ppm.

Le dioxyde de soufre absorbé passe dans le sang et est rapidement distribué dans tout l'organisme.

B) Valeurs guides

Valeurs guides

L'objectif de qualité de l'air correspond en France à une concentration de 50 µg/m³ en moyenne annuelle (Décret 2002-213 de février 2002). Le seuil de recommandation et d'information est de 300 µg/m³ en moyenne horaire et le seuil d'alerte est de 500 µg/m³ en moyenne horaire, dépassé pendant trois heures consécutives.

Les valeurs guides recommandées par l'OMS en 2000 (Air Quality Guidelines for Europe, 2000) sont de **50 µg/m³** en moyenne annuelle et de 125 µg/m³ sur 24 heures.

La valeur guide sur 24 h a été abaissée en 2005 dans le document OMS (Air Quality Guidelines, global update, 2005), à 20 µg/m³.

C) Profil toxicologique

Classement

Le symbole classant le dioxyde de soufre est **T** (toxique).

Les phrases de risque qui le représentent sont : **R23** (toxique par inhalation), **R36/37** (irritant pour les yeux et les voies respiratoires),

Effets cancérigènes

Le CIRC classe le dioxyde de soufre dans le **groupe 3**, en raison de preuves très limitées chez l'animal. Il n'est pas classé par l'Union Européenne.

D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

A l'heure actuelle, il n'existe pas de VTR pour le SO₂.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 145

- Annexe 3 - Hypothèses et détails des calculs des doses d'exposition

Cette annexe contient 6 pages



RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 146

Inhalation de substances dans l'air extérieur et/ou intérieur

Inhalation de substances gazeuses et particulaires

Pour la voie respiratoire, la dose d'exposition est généralement remplacée par la concentration inhalée. Lorsque l'on considère des expositions de longue durée, on s'intéresse à la concentration moyenne inhalée par jour, retranscrite par l'équation générique suivante :

$$CI = \left(\sum (C_i \times t_i) \right) F \times \frac{T}{T_m}$$

Avec :

CI : concentration moyenne d'exposition

C_i : concentration de polluant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps t_i (en mg/m³)

t_i : fraction du temps d'exposition à la concentration C_i pendant une journée

F : fréquence ou taux d'exposition (nombre annuel d'heures ou de jours d'exposition ramené au nombre total annuel d'heures ou de jours – sans dimension)

T : durée d'exposition (en années)

T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée

Les périodes de temps sur lesquelles l'exposition est moyennée (T_m) sont prises égales à :

70 ans (correspondant à la durée de vie considérée par l'ensemble des organismes nationaux et internationaux pour l'établissement de valeurs toxicologiques et l'évaluation des risques) pour les effets cancérigènes quelque soit la cible considérée,

T (correspondant à durée d'exposition) pour les effets toxiques à seuil quelque soit la cible considérée.

Les volumes respiratoires moyens sont pris égaux à 20 m³/jour pour les adultes et les enfants à partir de 7 ans en référence aux débits considérés par les organismes internationaux pour la dérivation des valeurs toxicologiques. On notera cependant que la moyenne établie pour les hommes et les femmes adultes à partir des données de CIBLEX sont de 25,7 m³/jour en période active et 17,5 m³/jour en période de sommeil, pour les enfants de 7 à 12 ans, la moyenne est de 20,9 m³/jour et de 21,4 m³/jour pour les adolescents de 12 à 17 ans.

Pour les enfants de 0 à 7 ans, le volume respiratoire considéré est de 10 m³/jour (moyenne entre les garçons et les filles en période active à partir des données de CIBLEX).

Rappelons que ces volumes respiratoires ne sont pris en compte que pour la dérivation des valeurs toxicologiques de la voie orale à la voie inhalation le cas échéant ; en l'absence de dérivation, ils n'interviennent pas dans les calculs des risques sanitaires.

Ingestion de sols et poussières

Ingestion de sols et poussières

Le calcul de la dose a été réalisé avec l'équation générique suivante (guide EDR MEDD/BRGM/INERIS, 2000) :

$$DJE_{i,s} = \frac{C_{i,s} * Q_{sol} * T * F}{P * T_m}$$

Avec :

$DJE_{i,s}$: dose journalière du composé i liée à l'ingestion de sols (en mg/kg/j)

$C_{i,s}$: concentration du composé i dans les sols (mg/kg)

Q_{sol} : taux d'ingestion de sols (kg/j)

T : durée d'exposition (années)

F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an),

P : poids corporel de la cible (kg)

T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée ($T_m = T$ pour les effets à seuil et $T_m = 70$ ans pour les effets sans seuil)

Le choix de la valeur des paramètres d'exposition est explicité dans le présent rapport. Les quantités de sols et de poussières ingérées considérées sont argumentées ci-après.

Les taux d'ingestion de sols contaminés (en extérieur) couramment utilisées dans des études françaises et d'autres pays sont de 150 mg/j pour un enfant de 3 ans et de 50 mg/j pour un adulte. Ces données sont par ailleurs dans la fourchette des valeurs décrites dans la littérature : entre 0,6 et 480 mg/j chez l'adulte et entre 2 et 250 mg/j chez l'enfant (cité par KISSEL et al., 1998). La valeur de 480 mg/jour correspond à la réalisation de travaux de jardinage (Hawley 1985), non considérés de manière particulière dans la présente étude, la valeur de 250 mg/jour pour les enfants correspond à une valeur élevée surconservatoire donc non retenue.

Les valeurs retenues pour l'ingestion de sols et de poussières en extérieur sont donc de 150 mg/j pour un enfant en bas âge et 50 mg/j pour un adulte. Ces valeurs sont représentatives d'une journée d'activité en extérieur sans prise en compte d'un temps de présence sur la journée.

Ainsi, à ces taux d'ingestion de sols seront associées les fréquences d'exposition F_1 (j/an) et non à des facteurs F_2 (h/j) pour les adultes et enfants dans leurs jardins.

Le poids corporel moyen d'un adulte est fixé à 60 kg pour les adultes à partir de 17 ans, 15 kg pour les enfants d'âge inférieur à 7 ans et 31 kg pour les enfants jusqu'à 12 ans. Les données ayant permis de faire ce choix sont les suivantes :

une moyenne de 62.55 kg pour les adultes (CIBLEX), le minimum et maximum étant respectivement de 42 et 83 kg,

une moyenne de 14.4 kg pour les enfants âgés de 0 à 2 ans (CIBLEX), le minimum et maximum étant respectivement de 2 et 13 kg,

une moyenne de 17.2 kg pour les enfants âgés de 2 à 7 ans (CIBLEX), le minimum et maximum étant respectivement de 12 et 21 kg,

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 148

une moyenne de 30.6 kg pour un enfant âgé de 7 à 12 ans (CIBLEX), le minimum et maximum étant respectivement de 19 et 42 kg,

une moyenne de 51.7 pour un adolescent âgé de 12 à 17 ans (CIBLEX), le minimum et maximum étant respectivement de 33 et 71 kg,

60 kg pour les adultes (INSERM et l'OMS),

70 kg pour les adultes (USEPA).

A la différence des volumes respiratoires, le poids des cibles intervient dans les calculs des doses d'exposition et donc des risques sanitaires.

Concentration dans le sol

Dans le cadre de dispersion des pollutions par voie atmosphérique, la concentration dans les sols est déterminée à partir des dépôts surfaciques obtenus par modélisation.

Le calcul de la concentration dans un sol de surface (1 cm) est, dans ce cas, réalisé avec l'équation générique suivante issue du modèle intégré CALTOX :

$$C_{i,s} = \left(\frac{\text{dépôt} \times T_{\text{sol}}}{d_{\text{sol}} \times p_{\text{dépôt}}} \right)$$

Avec :

$C_{i,s}$: concentration du composé i dans les sols (mg/kg)

dépôt : dépôts totaux en moyenne annuelle issus de la modélisation de la dispersion atmosphérique (mg/m²/s)

T_{sol} : Durée d'accumulation dans le sol superficiel - Valeur généralement utilisée : 10 ans. Par ailleurs, l'hypothèse que l'ensemble des dépôts va s'accumuler sans aucune perte (lixiviation, lessivage, érosion...) est posée.

d_{sol} : densité moyenne du sol (kg/m³) – Valeur utilisée : 1700 kg/m³

$p_{\text{dépôt}}$: profondeur du dépôt (m) – Valeur utilisée pour le sol : 1cm.

La durée d'accumulation dans les sols est prise égale à 10 ans pour les sols superficiels. Aucune perte par lixiviation, lessivage ou érosion n'est considérée dans ce calcul de premier niveau d'approche. De même, nous ne considérons pas de phénomène de dégradation des substances. Des phénomènes tels que la volatilisation ou de photodégradation ne sont pas considérés. Ainsi, l'hypothèse que tout ce qui se dépose s'accumule dans le sol sans aucune perte est prise en compte, ce qui constitue une hypothèse majorante.

De plus, l'INERIS considère, une demi-vie de l'ordre de 10 ans, pour les polluants très persistant (i.e. Dioxines), pour la couche de sol végétal.

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 149

Consommation de végétaux produits localement

Ingestion de végétaux

La dose journalière d'exposition par ingestion de végétaux (DJE_i) contenant un polluant *i* s'exprime par l'équation générique suivante:

$$DJE_{\text{végétaux},i} = \frac{C_{\text{vgt},i} \times Q_{\text{vgt}} \times f_{\text{vgt}} \times f_{a,\text{ing}} \times T \times F}{P \times T_m}$$

Avec :

$C_{\text{vgt},i}$: concentration moyenne du contaminant *i* dans les produits du jardin, en mg/kg de poids frais

Q_{vgt} : consommation journalière de végétaux, en kg/j

f_{vgt} : fraction de végétaux consommés produits sur le site

$f_{a,\text{ing}}$: fraction de polluants ingérés qui sont absorbés

F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an),

P : poids corporel de la cible (kg)

T : durée d'exposition (années)

T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée ($T_m = T$ pour les effets à seuil et $T_m = 70$ ans pour les effets sans seuil)

Les paramètres suivants ont été considérés :

Le taux de consommation de légumes provenant du potager sur une année est variable. La base CIBLEX (juin 2003) donne une autarcie de la population pour la consommation de végétaux de 34.6 % pour les légumes feuilles et 35 % pour les légumes racinaires (population non agricole).

Ne connaissant pas les végétaux cultivés à l'avenir sur le site (légumes-racines, légumes-feuilles, verger...), nous avons considéré un mélange de végétaux défini par la base de données CIBLEX pour des enfants et adultes vivant dans les Bouches du Rhône. Les résultats sont repris dans le tableau suivant.

	Consommation totale	
	légumes racines (g/j)	légumes feuilles (g/j)
Adultes	29.46	45.43
Enfants (0-6ans)	17.76	39.08

	Quantité réellement ingérée (prise en compte autarcie, rapport poids sec/poids frais, ...)	
	légumes racines (g/j)	légumes feuilles (g/j)
Adultes	0.50	1.50
Enfants (0-6ans)	0.30	1.29

La fraction de polluant réellement ingéré a été prise égale à 100%.

Concentration dans le sol

Dans le cadre d'une étude de risque sanitaire d'une étude d'impact, la concentration dans les sols est déterminée soit par la mesure soit à partir des dépôts surfaciques obtenus par modélisation atmosphérique.

Le calcul de la concentration dans un sol racinaire a été réalisé avec l'équation générique suivante issue du modèle intégré CALTOX :

$$C_{\text{vgt}} = \left(\frac{\text{dépôt} \times T_{\text{vég}}}{d_{\text{sol}} \times p_{\text{dépôt}_{\text{vég}}}} \right)$$

Avec :

$C_{\text{vgt},i}$: concentration moyenne du contaminant i dans les produits du jardin, en mg/kg de poids frais

Dépôt : dépôts totaux en moyenne annuelle issus de la modélisation de la dispersion atmosphérique (mg/m²/s)

$T_{\text{vég}}$: Durée d'accumulation dans les sols – Valeur généralement utilisée : 30 ans

d_{sol} : densité moyenne du sol (kg/m³) – Valeur utilisée : 1700 kg/m³

$p_{\text{dépôt}}$: profondeur du dépôt (m) - Valeur utilisée pour les végétaux : 30 cm

Les paramètres suivants ont été considérés :

La profondeur du dépôt dans le sol « racinaire » est prise égale à 30 cm en référence aux recommandations de l'INERIS (INERIS DRC-04-45959-ERSA-RBn-n° 097/caltox3) : " Par défaut, la valeur définie dans CALTOX est de 0,887 m. Elle correspond à la moyenne californienne des profondeurs d'affleurement de la roche-mère ou du sol aggloméré moins l'épaisseur du sol superficiel. Dans la mesure où les différents compartiments environnementaux sont caractérisés sous CALTOX par une concentration uniforme, plus le volume d'un compartiment sera grand, plus le flux de polluant entrant dans ce compartiment se trouvera dilué et la concentration résultante sera faible. Par conséquent, il semble préférable pour des substances persistantes se déposant sur le sol après émission atmosphérique de définir une hauteur plus faible que celle définie par défaut. Une hauteur de l'ordre de 30 cm, prise conventionnellement, pour représenter l'emprise des racines des cultures potagères, semble ainsi plus adaptée et plus protecteur.

Concentration dans les végétaux

Les mécanismes de transfert sont complexes et les facteurs de bioconcentration (BCF) traduisant l'accumulation d'un composé dans une plante varient d'une plante à une autre en fonction des mécanismes de transferts (racines, feuilles, ...) et sont spécifiques de chaque composé.

Les BCF (en poids sec) peuvent être estimés à partir de mesures sur le site, de données de la littérature, ou en l'absence de mesures, calculés par des modèles plus ou moins simples. Généralement, en dehors des métaux et métalloïdes, ces BCF ne sont que peu disponibles dans la littérature.

Nous avons évalué le transfert du polluant du sol vers les plantes à partir des équations suivantes (réécrites par nos soins dans excel), en distinguant la partie racinaire, la partie aérienne (tige et feuille) de la plante, pour les sols (comme pour les eaux) les équations de transfert sont:

$$C_{\text{aerien},i} (\text{poids sec}) = BCF_{\text{sol-aerien}} (\text{poids sec}) \times C_{\text{sol}}$$

$$C_{\text{racine},i} (\text{poids sec}) = BCF_{\text{sol-racine}} (\text{poids sec}) \times C_{\text{sol}}$$

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 151

Avec :

C_{sol} : concentration dans le sol, en mg/kg MS.

$Caerien,i$: concentration de la substance i dans partie aérienne du végétal (tige et feuille) mg/kg de poids sec

$Cracine,i$: concentration de la substance i dans la racine du végétal mg/kg de poids sec

Rapport poids frais / poids sec

Pour passer de la concentration en poids sec à la concentration en poids frais dans le végétal, le taux d'humidité du végétal doit être considéré. Ce taux varie en fonction des végétaux entre 0.95 pour la salade et 0.74 pour les petits pois). Les valeurs proposées par les modèles intégrés HESP et VOLASOIL sont retenues.

Pour les parties racinaires du végétal (taux d'humidité de 0.798) :

$$C_{racine,i}(\text{poids - humide}) = C_{racine,i}(\text{poids - sec}) \times 0,202$$

pour les parties aériennes du végétal (taux d'humidité de 0.883) :

$$C_{aerien,i}(\text{poids - humide}) = C_{aerien,i}(\text{poids - sec}) \times 0,117$$

Facteurs de bioconcentration

Calcul des BCF depuis les sols – composés inorganiques

L'estimation d'un facteur de bioconcentration pour les composés inorganiques à partir de la constantes Kow n'est pas appropriée.

En l'absence de mesures, les valeurs disponibles dans la littérature sont considérées.

BCF considérées dans la présente étude

Substance	Cas Number	BCF feuilles (mg/kg plant) / (mg/kg sol)	BCF racines (mg/kg plant) / (mg/kg sol)	Source BCF feuilles	Source BCF racines
Arsenic (As)	7440-38-2	0.00633	0.008	HHRAP	HHRAP
Cadmium (Cd)	7440-49-3	0.125	0.064	HHRAP	HHRAP
Cobalt (Co)	7440-48-4	0.0003	0.0028	INERIS	INERIS
Chrome III (CrIII)	7440-47-3	0.00488	0.0045	HHRAP	HHRAP
Chrome VI (CrVI)	7440-47-3	0.00488	0.0045	HHRAP	HHRAP
Cuivre (Cu)	7440-50-8	0.8	0.61	RAIS	INERIS
Manganèse (Mn)	7439-96-5	0.68	0.68	RAIS	RAIS
Mercuré (Hg)	7439-97-6	0.0145	0.036	HHRAP	HHRAP
Nickel (Ni)	7440-02-0	0.00931	0.008	HHRAP	HHRAP
Plomb (Pb)	7759-95-4	0.0136	0.009	HHRAP	HHRAP
Étain (Sn)	7440-31-5	1	1	RAIS	RAIS
Sélénium (Se)	7782-49-2	0.0195	0.022	HHRAP	HHRAP
Thallium (Tl)	7440-28-0	8.58E-04	4.00E-04	HHRAP	HHRAP
Tellure (Te)	13494-80-9	-	-	-	-
Antimoine (Sb)	7440-36-0	0.0319	0.03	HHRAP	HHRAP
Benzo(a)Pyrène	50-32-8	0.0132	0.0605	HHRAP	HHRAP
Vanadium (V)*	7440-62-2	1	1	EHC	EHC
Zinc	7440-66-6	0.097	0.9	HHRAP	HHRAP
PM2.5	-	-	-	-	-
PM10	-	-	-	-	-

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 152

- Annexe 4 - Résumé des paramètres du modèle

Cette annexe contient 3 pages



RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 153

1. SETUP INFORMATION:

Site name : RIO TINTO - Gardanne
 Project name: ERS 2011 - Modélisation - Polluants particulaires (métaux 1)

Input file pathname : C:\Documents and Settings\NGU\Mes documents\RBO\RIO TINTO\Modèle RIO TINTO métaux 1.APL
 Command-line options : /E1 /Flow

Model information:
 - Pathname C:\Program Files\CERC\ADMS 4\ADMSH.EXE
 - Version 4.2.2.0
 - Build number 11.1
 - Release date February 2010

2. MODEL OPTIONS:

Dry deposition
 Wet deposition
 - All source / pollutant combinations will be modelled using a standard washout coefficient
 Complex terrain
 - Modelling hills
 - Pathname of hills data C:\Documents and Settings\NGU\Mes documents\RBO\RIO TINTO\Relief RIO TINTO.ter
 - Modelling variable roughness
 - Pathname of roughness data C:\Documents and Settings\NGU\Mes documents\RBO\RIO TINTO\Rugosité.ruf
 - Calculation grid resolution = Testing (16x16)

3. SOURCE OPTIONS:

Your run includes the following sources:

6 point sources
 - 'Chaudière 2'
 - 'Chaudière 3'
 - 'Chaudière BP1/2/3'
 - 'Calcination 4'
 - 'Calcination 3'
 - 'Calcination 5'
 1 volume source
 - 'Diffus bauxite'

POINT SOURCE GEOMETRY:

Source name	Height(m)	Location	Diameter(m)
Chaudière 2,	81.00,	(852553.0, 3132809.0),	2.50,
Chaudière 3,	81.00,	(852570.0, 3132784.0),	2.50,
Chaudière BP1/2/3,	40.00,	(852581.0, 3132845.0),	1.90,
Calcination 4,	50.00,	(852883.0, 3132901.0),	2.00,
Calcination 3,	50.00,	(852893.0, 3132892.0),	2.00,
Calcination 5,	50.00,	(852935.0, 3132884.0),	2.00,

VOLUME SOURCE GEOMETRY:

Source name	Height(m)	1st vertex	No. of vertices	Total area(m2)	Depth(m)
Diffus bauxite,	4.00,	(852954.0, 3133155.0),	5,	4891.00,	8.00,

SOURCE CHARACTERISTICS:

Source name	Exit velocity(m/s)	Temp(degC)	Actual/NTP	Mol. mass(g)	Cp(J/degC/Kg)
Chaudière 2,	11.000,	140.000,	Actual,	28.966,	1012.00,
Chaudière 3,	10.000,	160.000,	Actual,	28.966,	1012.00,
Chaudière BP1/2/3,	8.000,	200.000,	Actual,	28.966,	1012.00,
Calcination 4,	18.000,	125.000,	Actual,	28.966,	1012.00,
Calcination 3,	4.800,	195.000,	Actual,	28.966,	1012.00,
Calcination 5,	13.000,	125.000,	Actual,	28.966,	1012.00,
Diffus bauxite,	---	---	---	---	---

EMISSION DATA:

Source name,	Units,	PM10,	PM2.5,	HAP,	Cd,	Hg,	As,	Sb,	Cr,	Al,	Pb,
Chaudière 2,	g/s,	0.065,	0.048,	0.6659E-04,	0.4122E-04,	0.6025E-04,	0.6229E-04,	---	0.1963E-03,	---	0.1205E-03
Chaudière 3,	g/s,	0.394,	0.289,	0.4122E-04,	0.3171E-04,	0.4756E-04,	0.7314E-04,	0.8853E-03,	0.1843E-03,	---	0.1807E-03
Chaudière BP1/2/3,	g/s,	0.085,	0.062,	0.1585E-04,	0.5391E-04,	0.7927E-04,	0.4530E-04,	---	0.2557E-03,	---	0.1427E-03
Calcination 4,	g/s,	0.905,	0.664,	---	---	---	---	---	0.479,	---	---
Calcination 3,	g/s,	0.142,	0.104,	---	---	---	---	---	0.075,	---	---
Calcination 5,	g/s,	1.624,	1.192,	---	---	---	---	---	0.859,	---	---
Diffus bauxite,	g/m3/s,	0.2900E-04,	0.2129E-04,	---	---	---	---	---	0.6240E-06,	---	---

Source name,	Units,	Cob,	Mn,	Ni,	V,	Zn,	Naphtalène,	Acenaphtène,
Chaudière 2,	g/s,	0.1178E-04,	0.5329E-04,	0.2945E-03,	0.3225E-03,	0.4066E-02,	---	---
Chaudière 3,	g/s,	0.1015E-02,	0.5059E-03,	0.014,	0.5363E-02,	0.4907E-02,	0.3543E-02,	0.6616E-04
Chaudière BP1/2/3,	g/s,	0.1534E-04,	0.6940E-04,	0.3835E-03,	0.4201E-03,	0.5296E-02,	---	---

Source name,	Units,	NOx,	SO2,	BENZENE,	Ethylbenzène,	Formaldéhyde,
Chaudière 2,	g/s,	1.961,	0.204,	---	---	0.4317E-04,
Chaudière 3,	g/s,	3.968,	13.410,	0.6710E-03,	0.1994E-03,	0.104,
Chaudière BP1/2/3,	g/s,	2.029,	0.592,	---	---	0.5620E-04,
Calcination 4,	g/s,	16.810,	---	---	---	---
Calcination 3,	g/s,	5.540,	---	---	---	---
Calcination 5,	g/s,	15.140,	---	---	---	---

SUMMARY OF OUTPUT GROUP CONTENTS:

Group name,	Source name,
All sources,	Chaudière 2,
,	Chaudière 3,
,	Chaudière BP1/2/3,
,	Calcination 4,
,	Calcination 3,
,	Calcination 5,
,	Diffus bauxite,

4. METEOROLOGY:

Site data:

- Latitude (degrees) = 43.46
- Dispersion site:
 - > Surface roughness calculated from values in roughness file
 - ~ Using model default Minimum Monin-Obukhov length (m)
 - ~ Surface albedo = 0.230 (Model default)
 - ~ Priestley-Taylor parameter = 1.000 (Model default)
 - ~ Precipitation at dispersion site same as at met site
- Meteorological measurement site:
 - > Surface roughness same as dispersion site
 - ~ Minimum Monin-Obukhov length same as at dispersion site
 - ~ Surface albedo same as at dispersion site
 - ~ Priestley-Taylor parameter same as at dispersion site

Meteorological data:

- From file C:\Documents and Settings\NGU\Mes documents\RBO\RIO TINTO\données météo rio tinto sans vents faibles.met
- Non-sequential met data
- Height of recorded wind (m) = 10.0
- Met lines with wind speed at 10m less than 0.75m/s are not modelled
- Met data in sectors, size (degrees) = 10.0

5. BACKGROUND DATA:

6. GRID OPTIONS:

Cartesian co-ordinate system

Gridded output

- Regular spacing
- 101x101
- South-West corner at (849700.0, 3129900.0)
- North-East corner at (855700.0, 3135900.0)
- Number of heights = 1
- Minimum height(m) = 1.5
- Maximum height(m) = 1.5

Specified points output

- 'R1' at (852212.0, 3133029.0, 1.5)
- 'R2' at (852500.0, 3133329.0, 1.5)
- 'R3' at (853218.0, 3133176.0, 1.5)
- 'R4' at (853489.0, 3132375.0, 1.5)
- 'R5' at (852918.0, 3131754.0, 1.5)
- 'R6' at (852344.0, 3131615.0, 1.5)
- 'R7' at (851086.0, 3132471.0, 1.5)
- 'R8' at (851356.0, 3131781.0, 1.5)
- 'R9' at (853894.0, 3133199.0, 1.5)
- 'R10' at (852493.0, 3133756.0, 1.5)
- 'R11' at (852126.0, 3132550.0, 1.5)
- 'E1' at (853699.0, 3132998.0, 1.5)
- 'E2' at (853087.0, 3130825.0, 1.5)
- 'E3' at (852691.0, 3133622.0, 1.5)
- 'E4' at (854506.0, 3132926.0, 1.5)
- 'E5' at (854771.0, 3133109.0, 1.5)
- 'E6' at (854992.0, 3133025.0, 1.5)
- 'E7' at (850806.0, 3130452.0, 1.5)
- 'E8' at (854520.0, 3133972.0, 1.5)
- 'H1' at (850855.0, 3132317.0, 1.5)
- 'MR1' at (851088.0, 3130307.0, 1.5)
- This includes 21 specified points from file:
 - > C:\Documents and Settings\NGU\Mes documents\RBO\RIO TINTO\Recepteurs RIO TINTO.asp

7. OUTPUT OPTIONS:

Groups modelled

- 'All sources'

POLLUTANT OUTPUT DATA:

Pollutant,	Statistic, Percentiles, Exceedences,		
PM10,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
PM2.5,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
HAP,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
Al,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
Cd,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
Hg,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
As,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
Pb,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
Sb,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
Cr,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
NOx,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
SO2,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
BENZENE,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
Ethylbenzène,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
Formaldéhyde,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
Mn,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
Ni,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
V,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
Zn,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
Naphtalène,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
Acenaphène,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,
Cob,	Long-term 1-hourly non-rolling ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),	None,	None,

End of Report File

- Annexe 5 - Résultats de la modélisation aux récepteurs (concentrations et dépôts)

Cette annexe contient 4 pages

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 157

Concentrations au niveau des récepteurs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Récepteur	NOX	SO2	Benzène	Ethylbenzène	Formaldéhyde	PM10
R1	5.01E+00	2.89E-01	8.94E-06	2.66E-06	1.39E-03	1.01E+00
R2	2.22E+00	2.82E-01	1.13E-05	3.36E-06	1.75E-03	1.87E+00
R3	3.50E+00	5.62E-01	2.46E-05	7.31E-06	3.80E-03	2.13E+01
R4	8.84E+00	9.64E-01	4.27E-05	1.27E-05	6.60E-03	1.57E+00
R5	1.04E+00	4.56E-01	2.06E-05	6.12E-06	3.18E-03	3.31E-01
R6	5.67E-01	1.05E-01	4.58E-06	1.36E-06	7.07E-04	1.65E-01
R7	7.68E-01	1.80E-01	8.12E-06	2.41E-06	1.25E-03	1.23E-01
R8	4.33E-01	8.24E-02	3.60E-06	1.07E-06	5.57E-04	9.80E-02
R9	2.88E+00	4.98E-01	2.26E-05	6.71E-06	3.49E-03	9.67E-01
R10	1.45E+00	3.25E-01	1.44E-05	4.27E-06	2.22E-03	7.58E-01
R11	7.43E-01	7.30E-02	2.83E-06	8.42E-07	4.39E-04	3.67E-01
E1	3.90E+00	6.06E-01	2.73E-05	8.12E-06	4.22E-03	1.69E+00
E2	7.37E-01	2.12E-01	9.53E-06	2.83E-06	1.47E-03	1.32E-01
E3	1.81E+00	3.90E-01	1.71E-05	5.09E-06	2.65E-03	1.45E+00
E4	2.23E+00	4.25E-01	1.94E-05	5.78E-06	3.00E-03	3.87E-01
E5	1.81E+00	3.60E-01	1.65E-05	4.89E-06	2.54E-03	2.79E-01
E6	1.66E+00	3.37E-01	1.54E-05	4.58E-06	2.38E-03	2.29E-01
E7	3.80E-01	6.42E-02	2.76E-06	8.21E-07	4.27E-04	4.58E-02
E8	1.19E+00	2.47E-01	1.12E-05	3.33E-06	1.73E-03	2.31E-01
H1	6.04E-01	1.32E-01	5.91E-06	1.76E-06	9.13E-04	9.30E-02
MR1	3.89E-01	6.65E-02	2.87E-06	8.53E-07	4.44E-04	4.79E-02

Récepteur	PM2.5	HAP	Al	Cd	Hg	As
R1	1.33E+00	3.93E-06	1.91E-01	1.00E-05	1.48E-05	9.31E-06
R2	2.34E+00	3.09E-06	1.36E-01	5.76E-06	8.48E-06	6.04E-06
R3	1.96E+01	5.78E-06	6.79E-01	8.55E-06	1.26E-05	9.95E-06
R4	2.02E+00	9.32E-06	3.45E-01	1.32E-05	1.94E-05	1.57E-05
R5	4.88E-01	4.32E-06	4.04E-02	5.53E-06	8.15E-06	6.95E-06
R6	2.40E-01	1.22E-06	2.32E-02	1.68E-06	2.47E-06	2.03E-06
R7	1.88E-01	1.61E-06	2.67E-02	2.08E-06	3.07E-06	2.62E-06
R8	1.46E-01	9.27E-07	1.86E-02	1.23E-06	1.81E-06	1.52E-06
R9	1.27E+00	4.65E-06	1.28E-01	5.82E-06	8.57E-06	7.40E-06
R10	9.73E-01	3.20E-06	6.81E-02	4.59E-06	6.76E-06	5.43E-06
R11	5.15E-01	9.12E-07	4.26E-02	1.90E-06	2.79E-06	1.90E-06
E1	2.13E+00	5.64E-06	1.87E-01	7.33E-06	1.08E-05	9.14E-06
E2	2.03E-01	1.99E-06	2.57E-02	2.46E-06	3.63E-06	3.15E-06
E3	1.75E+00	4.10E-06	1.02E-01	6.05E-06	8.91E-06	7.06E-06
E4	5.33E-01	3.65E-06	8.01E-02	4.38E-06	6.46E-06	5.71E-06
E5	3.88E-01	3.05E-06	6.31E-02	3.64E-06	5.37E-06	4.76E-06
E6	3.19E-01	2.79E-06	5.52E-02	3.32E-06	4.89E-06	4.35E-06
E7	6.04E-02	6.02E-07	1.06E-02	7.98E-07	1.18E-06	9.86E-07
E8	3.27E-01	2.19E-06	4.36E-02	2.65E-06	3.91E-06	3.43E-06
H1	1.42E-01	1.23E-06	2.11E-02	1.60E-06	2.36E-06	2.01E-06
MR1	6.28E-02	6.40E-07	1.08E-02	8.34E-07	1.23E-06	1.04E-06

Récepteur	Pb	Sb	Cr	CrIII	CrVI	Mn
R1	2.79E-05	1.09E-05	4.80E-05	4.32E-05	4.80E-06	1.87E-05
R2	1.70E-05	1.46E-05	2.79E-05	2.51E-05	2.79E-06	1.51E-05
R3	2.66E-05	3.26E-05	4.18E-05	3.76E-05	4.18E-06	2.81E-05
R4	4.16E-05	5.57E-05	6.46E-05	5.81E-05	6.46E-06	4.62E-05
R5	1.80E-05	2.73E-05	2.73E-05	2.46E-05	2.73E-06	2.15E-05
R6	5.33E-06	7.25E-06	8.25E-06	7.43E-06	8.25E-07	5.97E-06
R7	6.79E-06	1.06E-05	1.03E-05	9.25E-06	1.03E-06	8.24E-06
R8	3.96E-06	5.82E-06	6.05E-06	5.45E-06	6.05E-07	4.64E-06
R9	1.91E-05	2.99E-05	2.88E-05	2.59E-05	2.88E-06	2.32E-05
R10	1.44E-05	1.86E-05	2.25E-05	2.02E-05	2.25E-06	1.57E-05
R11	5.47E-06	3.75E-06	9.14E-06	8.22E-06	9.14E-07	4.41E-06
E1	2.37E-05	3.56E-05	3.61E-05	3.25E-05	3.61E-06	2.81E-05
E2	8.09E-06	1.29E-05	1.22E-05	1.10E-05	1.22E-06	9.96E-06
E3	1.89E-05	2.34E-05	2.96E-05	2.66E-05	2.96E-06	2.01E-05
E4	1.46E-05	2.42E-05	2.17E-05	1.96E-05	2.17E-06	1.84E-05
E5	1.21E-05	2.03E-05	1.81E-05	1.63E-05	1.81E-06	1.54E-05
E6	1.11E-05	1.86E-05	1.65E-05	1.48E-05	1.65E-06	1.41E-05
E7	2.57E-06	3.75E-06	3.93E-06	3.54E-06	3.93E-07	3.00E-06
E8	8.77E-06	1.42E-05	1.31E-05	1.18E-05	1.31E-06	1.09E-05
H1	5.22E-06	7.99E-06	7.92E-06	7.13E-06	7.92E-07	6.26E-06
MR1	2.70E-06	4.03E-06	4.11E-06	3.70E-06	4.11E-07	3.19E-06

Récepteur	Ni	V	Zn	Naphtalène	Acénaphène	Cobalt
R1	2.45E-04	1.42E-04	1.01E-03	4.38E-05	8.18E-07	1.53E-05
R2	2.72E-04	1.29E-04	5.95E-04	5.83E-05	1.09E-06	1.82E-05
R3	5.77E-04	2.55E-04	9.06E-04	1.30E-04	2.43E-06	3.95E-05
R4	9.75E-04	4.24E-04	1.41E-03	2.23E-04	4.16E-06	6.70E-05
R5	4.73E-04	2.01E-04	5.99E-04	1.09E-04	2.04E-06	3.26E-05
R6	1.27E-04	5.50E-05	1.80E-04	2.90E-05	5.42E-07	8.72E-06
R7	1.83E-04	7.74E-05	2.26E-04	4.24E-05	7.91E-07	1.26E-05
R8	1.01E-04	4.32E-05	1.33E-04	2.33E-05	4.35E-07	6.96E-06
R9	5.15E-04	2.18E-04	6.32E-04	1.20E-04	2.23E-06	3.56E-05
R10	3.28E-04	1.43E-04	4.89E-04	7.45E-05	1.39E-06	2.25E-05
R11	7.29E-05	3.65E-05	1.94E-04	1.50E-05	2.80E-07	4.80E-06
E1	6.16E-04	2.63E-04	7.92E-04	1.42E-04	2.66E-06	4.25E-05
E2	2.22E-04	9.38E-05	2.68E-04	5.17E-05	9.65E-07	1.54E-05
E3	4.14E-04	1.82E-04	6.42E-04	9.36E-05	1.75E-06	2.83E-05
E4	4.15E-04	1.74E-04	4.80E-04	9.69E-05	1.81E-06	2.88E-05
E5	3.48E-04	1.46E-04	3.99E-04	8.13E-05	1.52E-06	2.41E-05
E6	3.19E-04	1.34E-04	3.64E-04	7.46E-05	1.39E-06	2.21E-05
E7	6.51E-05	2.79E-05	8.61E-05	1.50E-05	2.81E-07	4.49E-06
E8	2.45E-04	1.03E-04	2.90E-04	5.70E-05	1.06E-06	1.69E-05
H1	1.38E-04	5.87E-05	1.74E-04	3.20E-05	5.97E-07	9.54E-06
MR1	6.98E-05	2.98E-05	9.02E-05	1.61E-05	3.01E-07	4.82E-06

Dépôt au sol au niveau des récepteurs ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)

Récepteur	PM10	PM2.5	HAP	Al	Cd	Hg
R1	6.27E-02	1.50E-02	1.51E-07	4.22E-03	2.83E-07	4.17E-07
R2	9.10E-02	2.62E-02	8.13E-08	2.44E-03	1.15E-07	1.69E-07
R3	6.38E-01	1.62E-01	8.44E-08	6.29E-03	1.13E-07	1.66E-07
R4	1.17E-01	2.46E-02	1.62E-07	6.75E-03	2.17E-07	3.19E-07
R5	1.07E-02	3.77E-03	1.10E-07	6.29E-04	1.26E-07	1.86E-07
R6	4.54E-03	1.91E-03	2.70E-08	2.72E-04	3.09E-08	4.56E-08
R7	5.76E-03	2.01E-03	4.63E-08	5.33E-04	5.17E-08	7.62E-08
R8	3.29E-03	1.43E-03	2.66E-08	3.37E-04	2.95E-08	4.34E-08
R9	3.76E-02	1.15E-02	5.77E-08	1.43E-03	6.95E-08	1.02E-07
R10	2.70E-02	8.40E-03	6.20E-08	1.09E-03	7.72E-08	1.14E-07
R11	1.16E-02	4.87E-03	7.09E-08	8.00E-04	8.13E-08	1.20E-07
E1	6.85E-02	2.01E-02	7.28E-08	2.15E-03	9.01E-08	1.33E-07
E2	4.98E-03	1.93E-03	4.40E-08	4.10E-04	4.92E-08	7.26E-08
E3	4.71E-02	1.49E-02	6.45E-08	1.36E-03	8.60E-08	1.27E-07
E4	1.74E-02	5.02E-03	4.67E-08	9.64E-04	5.43E-08	8.00E-08
E5	1.22E-02	3.53E-03	3.75E-08	7.19E-04	4.32E-08	6.37E-08
E6	1.02E-02	2.94E-03	3.48E-08	6.43E-04	3.99E-08	5.89E-08
E7	1.41E-03	5.54E-04	1.04E-08	1.54E-04	1.20E-08	1.77E-08
E8	8.85E-03	2.82E-03	2.90E-08	5.17E-04	3.33E-08	4.91E-08
H1	4.09E-03	1.53E-03	3.25E-08	3.96E-04	3.64E-08	5.37E-08
MR1	1.41E-03	5.31E-04	8.95E-09	1.38E-04	1.05E-08	1.55E-08

Récepteur	As	Pb	Sb	Cr	CrIII	CrVI
R1	2.96E-07	8.33E-07	6.83E-07	1.37E-06	1.23E-06	1.37E-07
R2	1.37E-07	3.62E-07	4.73E-07	5.64E-07	5.07E-07	5.64E-08
R3	1.39E-07	3.62E-07	5.23E-07	5.55E-07	5.00E-07	5.55E-08
R4	2.66E-07	6.97E-07	1.00E-06	1.07E-06	9.61E-07	1.07E-07
R5	1.69E-07	4.25E-07	7.44E-07	6.29E-07	5.66E-07	6.29E-08
R6	4.13E-08	1.04E-07	1.81E-07	1.54E-07	1.38E-07	1.54E-08
R7	7.05E-08	1.77E-07	3.30E-07	2.58E-07	2.32E-07	2.58E-08
R8	4.02E-08	1.01E-07	1.86E-07	1.47E-07	1.32E-07	1.47E-08
R9	9.03E-08	2.30E-07	3.80E-07	3.44E-07	3.10E-07	3.44E-08
R10	9.83E-08	2.53E-07	3.94E-07	3.82E-07	3.44E-07	3.82E-08
R11	1.08E-07	2.73E-07	4.71E-07	4.04E-07	3.64E-07	4.04E-08
E1	1.15E-07	2.96E-07	4.71E-07	4.46E-07	4.01E-07	4.46E-08
E2	6.68E-08	1.67E-07	3.04E-07	2.45E-07	2.21E-07	2.45E-08
E3	1.06E-07	2.77E-07	4.06E-07	4.24E-07	3.81E-07	4.24E-08
E4	7.20E-08	1.82E-07	3.14E-07	2.70E-07	2.43E-07	2.70E-08
E5	5.76E-08	1.45E-07	2.54E-07	2.15E-07	1.94E-07	2.15E-08
E6	5.34E-08	1.35E-07	2.36E-07	1.99E-07	1.79E-07	1.99E-08
E7	1.60E-08	4.04E-08	7.14E-08	5.96E-08	5.36E-08	5.96E-09
E8	4.44E-08	1.12E-07	1.96E-07	1.66E-07	1.49E-07	1.66E-08
H1	4.95E-08	1.24E-07	2.30E-07	1.82E-07	1.64E-07	1.82E-08
MR1	1.39E-08	3.52E-08	6.07E-08	5.21E-08	4.69E-08	5.21E-09

Récepteur	Mn	Ni	V	Zn	Naphtalène	Acénaphène	Cobalt
R1	7.23E-07	1.28E-05	6.15E-06	2.92E-05	2.73E-06	5.10E-08	8.56E-07
R2	3.97E-07	8.31E-06	3.63E-06	1.23E-05	1.89E-06	3.54E-08	5.70E-07
R3	4.20E-07	9.09E-06	3.90E-06	1.21E-05	2.09E-06	3.91E-08	6.26E-07
R4	8.07E-07	1.75E-05	7.49E-06	2.33E-05	4.02E-06	7.51E-08	1.20E-06
R5	5.54E-07	1.27E-05	5.28E-06	1.39E-05	2.98E-06	5.56E-08	8.81E-07
R6	1.35E-07	3.09E-06	1.29E-06	3.41E-06	7.25E-07	1.35E-08	2.15E-07
R7	2.40E-07	5.60E-06	2.31E-06	5.75E-06	1.32E-06	2.47E-08	3.90E-07
R8	1.35E-07	3.15E-06	1.30E-06	3.27E-06	7.42E-07	1.39E-08	2.19E-07
R9	2.89E-07	6.51E-06	2.74E-06	7.60E-06	1.52E-06	2.84E-08	4.52E-07
R10	3.07E-07	6.80E-06	2.88E-06	8.39E-06	1.58E-06	2.95E-08	4.70E-07
R11	3.52E-07	8.04E-06	3.36E-06	8.95E-06	1.89E-06	3.52E-08	5.58E-07
E1	3.64E-07	8.11E-06	3.43E-06	9.81E-06	1.89E-06	3.52E-08	5.61E-07
E2	2.23E-07	5.16E-06	2.14E-06	5.45E-06	1.21E-06	2.27E-08	3.59E-07
E3	3.24E-07	7.05E-06	3.02E-06	9.28E-06	1.63E-06	3.03E-08	4.86E-07
E4	2.35E-07	5.37E-06	2.24E-06	5.97E-06	1.26E-06	2.35E-08	3.73E-07
E5	1.89E-07	4.33E-06	1.80E-06	4.77E-06	1.02E-06	1.90E-08	3.01E-07
E6	1.75E-07	4.02E-06	1.68E-06	4.41E-06	9.45E-07	1.76E-08	2.80E-07
E7	5.29E-08	1.22E-06	5.06E-07	1.32E-06	2.86E-07	5.33E-09	8.45E-08
E8	1.46E-07	3.34E-06	1.39E-06	3.67E-06	7.83E-07	1.46E-08	2.32E-07
H1	1.68E-07	3.90E-06	1.61E-06	4.05E-06	9.20E-07	1.72E-08	2.72E-07
MR1	4.54E-08	1.04E-06	4.33E-07	1.15E-06	2.43E-07	4.54E-09	7.20E-08



- Annexe 6 -
Tableaux et résultats des calculs
de risque pour l'inhalation aux
récepteurs – rejets
atmosphériques

Cette annexe contient 7 pages

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 162

CI non cancérigène

Récepteur	As	Cd	Co	Cr III	Cr VI	Hg	Mn	Ni
R1	9.31E-06	1.00E-05	1.53E-05	4.32E-05	4.80E-06	1.48E-05	1.87E-05	2.45E-04
R2	6.04E-06	5.76E-06	1.82E-05	2.51E-05	2.79E-06	8.48E-06	1.51E-05	2.72E-04
R3	9.95E-06	8.55E-06	3.95E-05	3.76E-05	4.18E-06	1.26E-05	2.81E-05	5.77E-04
R4	1.57E-05	1.32E-05	6.70E-05	5.81E-05	6.46E-06	1.94E-05	4.62E-05	9.75E-04
R5	6.95E-06	5.53E-06	3.26E-05	2.46E-05	2.73E-06	8.15E-06	2.15E-05	4.73E-04
R6	2.03E-06	1.68E-06	8.72E-06	7.43E-06	8.25E-07	2.47E-06	5.97E-06	1.27E-04
R7	2.62E-06	2.08E-06	1.26E-05	9.25E-06	1.03E-06	3.07E-06	8.24E-06	1.83E-04
R8	1.52E-06	1.23E-06	6.96E-06	5.45E-06	6.05E-07	1.81E-06	4.64E-06	1.01E-04
R9	7.40E-06	5.82E-06	3.56E-05	2.59E-05	2.88E-06	8.57E-06	2.32E-05	5.15E-04
R10	5.43E-06	4.59E-06	2.25E-05	2.02E-05	2.25E-06	6.76E-06	1.57E-05	3.28E-04
R11	1.90E-06	1.90E-06	4.80E-06	8.22E-06	9.14E-07	2.79E-06	4.41E-06	7.29E-05
E1	1.50E-06	1.20E-06	6.99E-06	5.35E-06	5.94E-07	1.77E-06	4.62E-06	1.01E-04
E2	5.18E-07	4.04E-07	2.53E-06	1.80E-06	2.00E-07	5.96E-07	1.64E-06	3.65E-05
E3	1.16E-06	9.94E-07	4.65E-06	4.38E-06	4.87E-07	1.46E-06	3.30E-06	6.80E-05
E4	9.39E-07	7.21E-07	4.73E-06	3.22E-06	3.57E-07	1.06E-06	3.02E-06	6.82E-05
E5	7.83E-07	5.99E-07	3.97E-06	2.67E-06	2.97E-07	8.83E-07	2.53E-06	5.72E-05
E6	7.15E-07	5.45E-07	3.64E-06	2.44E-06	2.71E-07	8.04E-07	2.31E-06	5.24E-05
E7	1.62E-07	1.31E-07	7.39E-07	5.82E-07	6.47E-08	1.93E-07	4.93E-07	1.07E-05
E8	5.64E-07	4.36E-07	2.79E-06	1.94E-06	2.16E-07	6.43E-07	1.79E-06	4.02E-05
H1	2.01E-06	1.60E-06	9.54E-06	7.13E-06	7.92E-07	2.36E-06	6.26E-06	1.38E-04
MR1	1.04E-06	8.34E-07	4.82E-06	3.70E-06	4.11E-07	1.23E-06	3.19E-06	6.98E-05

Récepteur	Pb	Sb	Benzo(a)pyrène	Acénaphthène	Naphtalène	Benzène	Ethylbenzène	Formaldéhyde
R1	2.79E-05	1.09E-05	3.93E-06	8.18E-07	4.38E-05	8.94E-06	2.66E-06	1.39E-03
R2	1.70E-05	1.46E-05	3.09E-06	1.09E-06	5.83E-05	1.13E-05	3.36E-06	1.75E-03
R3	2.66E-05	3.26E-05	5.78E-06	2.43E-06	1.30E-04	2.46E-05	7.31E-06	3.80E-03
R4	4.16E-05	5.57E-05	9.32E-06	4.16E-06	2.23E-04	4.27E-05	1.27E-05	6.60E-03
R5	1.80E-05	2.73E-05	4.32E-06	2.04E-06	1.09E-04	2.06E-05	6.12E-06	3.18E-03
R6	5.33E-06	7.25E-06	1.22E-06	5.42E-07	2.90E-05	4.58E-06	1.36E-06	7.07E-04
R7	6.79E-06	1.06E-05	1.61E-06	7.91E-07	4.24E-05	8.12E-06	2.41E-06	1.25E-03
R8	3.96E-06	5.82E-06	9.27E-07	4.35E-07	2.33E-05	3.60E-06	1.07E-06	5.57E-04
R9	1.91E-05	2.99E-05	4.65E-06	2.23E-06	1.20E-04	2.26E-05	6.71E-06	3.49E-03
R10	1.44E-05	1.86E-05	3.20E-06	1.39E-06	7.45E-05	1.44E-05	4.27E-06	2.22E-03
R11	5.47E-06	3.75E-06	9.12E-07	2.80E-07	1.50E-05	2.83E-06	8.42E-07	4.39E-04
E1	3.90E-06	5.85E-06	9.27E-07	4.37E-07	2.34E-05	4.49E-06	1.34E-06	6.94E-04
E2	1.33E-06	2.12E-06	3.26E-07	1.59E-07	8.50E-06	1.57E-06	4.66E-07	2.42E-04
E3	3.10E-06	3.84E-06	6.75E-07	2.87E-07	1.54E-05	2.81E-06	8.36E-07	4.35E-04
E4	2.39E-06	3.98E-06	6.00E-07	2.97E-07	1.59E-05	3.20E-06	9.50E-07	4.94E-04
E5	1.99E-06	3.34E-06	5.02E-07	2.50E-07	1.34E-05	2.71E-06	8.04E-07	4.18E-04
E6	1.82E-06	3.06E-06	4.59E-07	2.29E-07	1.23E-05	2.53E-06	7.52E-07	3.91E-04
E7	4.23E-07	6.17E-07	9.90E-08	4.61E-08	2.47E-06	4.54E-07	1.35E-07	7.02E-05
E8	1.44E-06	2.34E-06	3.59E-07	1.75E-07	9.37E-06	1.84E-06	5.48E-07	2.85E-04
H1	5.22E-06	7.99E-06	1.23E-06	5.97E-07	3.20E-05	5.91E-06	1.76E-06	9.13E-04
MR1	2.70E-06	4.03E-06	6.40E-07	3.01E-07	1.61E-05	2.87E-06	8.53E-07	4.44E-04

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 163

CI cancérigène adulte

Récepteur	As	Cd	Cr VI	Ni	Pb	Benzo(a)pyrène
R1	3.99E-06	4.30E-06	2.06E-06	1.05E-04	1.20E-05	1.69E-06
R2	2.59E-06	2.47E-06	1.19E-06	1.16E-04	7.29E-06	1.32E-06
R3	4.27E-06	3.66E-06	1.79E-06	2.47E-04	1.14E-05	2.48E-06
R4	6.74E-06	5.64E-06	2.77E-06	4.18E-04	1.78E-05	3.99E-06
R5	2.98E-06	2.37E-06	1.17E-06	2.03E-04	7.71E-06	1.85E-06
R6	8.68E-07	7.20E-07	3.54E-07	5.44E-05	2.29E-06	5.21E-07
R7	1.12E-06	8.92E-07	4.41E-07	7.82E-05	2.91E-06	6.90E-07
R8	6.51E-07	5.26E-07	2.59E-07	4.32E-05	1.70E-06	3.97E-07
R9	3.17E-06	2.49E-06	1.23E-06	2.21E-04	8.17E-06	1.99E-06
R10	2.33E-06	1.97E-06	9.64E-07	1.40E-04	6.18E-06	1.37E-06
R11	8.15E-07	8.12E-07	3.92E-07	3.13E-05	2.35E-06	3.91E-07
E1	6.44E-07	5.16E-07	2.55E-07	4.34E-05	1.67E-06	3.97E-07
E2	2.22E-07	1.73E-07	8.58E-08	1.56E-05	5.70E-07	1.40E-07
E3	4.98E-07	4.26E-07	2.09E-07	2.91E-05	1.33E-06	2.89E-07
E4	4.02E-07	3.09E-07	1.53E-07	2.92E-05	1.03E-06	2.57E-07
E5	3.36E-07	2.57E-07	1.27E-07	2.45E-05	8.54E-07	2.15E-07
E6	3.06E-07	2.34E-07	1.16E-07	2.25E-05	7.79E-07	1.97E-07
E7	6.94E-08	5.62E-08	2.77E-08	4.59E-06	1.81E-07	4.24E-08
E8	2.42E-07	1.87E-07	9.26E-08	1.72E-05	6.18E-07	1.54E-07
H1	8.61E-07	6.87E-07	3.39E-07	5.91E-05	2.24E-06	5.29E-07
MR1	4.45E-07	3.58E-07	1.76E-07	2.99E-05	1.16E-06	2.74E-07

Récepteur	Acénaphthène	Naphtalène	Benzène	Ethylbenzène	Formaldéhyde
R1	3.51E-07	1.88E-05	3.83E-06	1.14E-06	5.96E-04
R2	4.67E-07	2.50E-05	4.85E-06	1.44E-06	7.50E-04
R3	1.04E-06	5.59E-05	1.05E-05	3.13E-06	1.63E-03
R4	1.78E-06	9.55E-05	1.83E-05	5.44E-06	2.83E-03
R5	8.76E-07	4.69E-05	8.82E-06	2.62E-06	1.36E-03
R6	2.32E-07	1.24E-05	1.96E-06	5.83E-07	3.03E-04
R7	3.39E-07	1.82E-05	3.48E-06	1.03E-06	5.38E-04
R8	1.86E-07	9.98E-06	1.54E-06	4.59E-07	2.39E-04
R9	9.57E-07	5.13E-05	9.68E-06	2.88E-06	1.50E-03
R10	5.96E-07	3.19E-05	6.15E-06	1.83E-06	9.51E-04
R11	1.20E-07	6.44E-06	1.21E-06	3.61E-07	1.88E-04
E1	1.87E-07	1.00E-05	1.93E-06	5.72E-07	2.98E-04
E2	6.80E-08	3.64E-06	6.71E-07	2.00E-07	1.04E-04
E3	1.23E-07	6.59E-06	1.21E-06	3.58E-07	1.86E-04
E4	1.27E-07	6.83E-06	1.37E-06	4.07E-07	2.12E-04
E5	1.07E-07	5.73E-06	1.16E-06	3.45E-07	1.79E-04
E6	9.81E-08	5.25E-06	1.08E-06	3.22E-07	1.68E-04
E7	1.98E-08	1.06E-06	1.95E-07	5.78E-08	3.01E-05
E8	7.50E-08	4.02E-06	7.90E-07	2.35E-07	1.22E-04
H1	2.56E-07	1.37E-05	2.53E-06	7.53E-07	3.91E-04
MR1	1.29E-07	6.91E-06	1.23E-06	3.66E-07	1.90E-04

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 164

CI cancérigène enfant

Récepteur	As	Cd	Cr VI	Ni	Pb	Benzo(a)pyrène
R1	7.98E-07	8.61E-07	4.12E-07	2.10E-05	2.39E-06	3.37E-07
R2	5.18E-07	4.94E-07	2.39E-07	2.33E-05	1.46E-06	2.64E-07
R3	8.53E-07	7.32E-07	3.58E-07	4.95E-05	2.28E-06	4.96E-07
R4	1.35E-06	1.13E-06	5.53E-07	8.36E-05	3.57E-06	7.98E-07
R5	5.96E-07	4.74E-07	2.34E-07	4.05E-05	1.54E-06	3.70E-07
R6	1.74E-07	1.44E-07	7.07E-08	1.09E-05	4.57E-07	1.04E-07
R7	2.24E-07	1.78E-07	8.81E-08	1.56E-05	5.82E-07	1.38E-07
R8	1.30E-07	1.05E-07	5.19E-08	8.65E-06	3.40E-07	7.94E-08
R9	6.34E-07	4.99E-07	2.47E-07	4.41E-05	1.63E-06	3.98E-07
R10	4.66E-07	3.93E-07	1.93E-07	2.81E-05	1.24E-06	2.74E-07
R11	1.63E-07	1.62E-07	7.83E-08	6.25E-06	4.69E-07	7.82E-08
E1	1.29E-07	1.03E-07	5.09E-08	8.68E-06	3.35E-07	7.95E-08
E2	4.44E-08	3.47E-08	1.72E-08	3.13E-06	1.14E-07	2.80E-08
E3	9.95E-08	8.52E-08	4.17E-08	5.83E-06	2.66E-07	5.78E-08
E4	8.05E-08	6.18E-08	3.06E-08	5.84E-06	2.05E-07	5.14E-08
E5	6.71E-08	5.13E-08	2.55E-08	4.90E-06	1.71E-07	4.30E-08
E6	6.13E-08	4.68E-08	2.32E-08	4.49E-06	1.56E-07	3.93E-08
E7	1.39E-08	1.12E-08	5.54E-09	9.18E-07	3.62E-08	8.48E-09
E8	4.83E-08	3.74E-08	1.85E-08	3.45E-06	1.24E-07	3.08E-08
H1	1.72E-07	1.37E-07	6.79E-08	1.18E-05	4.47E-07	1.06E-07
MR1	-	-	-	-	-	-

Récepteur	Acénaphthène	Naphtalène	Benzène	Ethylbenzène	Formaldéhyde
R1	7.01E-08	3.76E-06	7.66E-07	2.28E-07	1.19E-04
R2	9.33E-08	5.00E-06	9.69E-07	2.88E-07	1.50E-04
R3	2.09E-07	1.12E-05	2.11E-06	6.27E-07	3.26E-04
R4	3.57E-07	1.91E-05	3.66E-06	1.09E-06	5.65E-04
R5	1.75E-07	9.38E-06	1.76E-06	5.24E-07	2.73E-04
R6	4.65E-08	2.49E-06	3.92E-07	1.17E-07	6.06E-05
R7	6.78E-08	3.63E-06	6.96E-07	2.07E-07	1.08E-04
R8	3.73E-08	2.00E-06	3.09E-07	9.18E-08	4.77E-05
R9	1.91E-07	1.03E-05	1.94E-06	5.75E-07	2.99E-04
R10	1.19E-07	6.39E-06	1.23E-06	3.66E-07	1.90E-04
R11	2.40E-08	1.29E-06	2.43E-07	7.22E-08	3.76E-05
E1	3.75E-08	2.01E-06	3.85E-07	1.14E-07	5.95E-05
E2	1.36E-08	7.28E-07	1.34E-07	3.99E-08	2.07E-05
E3	2.46E-08	1.32E-06	2.41E-07	7.17E-08	3.73E-05
E4	2.55E-08	1.37E-06	2.74E-07	8.14E-08	4.23E-05
E5	2.14E-08	1.15E-06	2.32E-07	6.90E-08	3.58E-05
E6	1.96E-08	1.05E-06	2.17E-07	6.45E-08	3.35E-05
E7	3.95E-09	2.12E-07	3.89E-08	1.16E-08	6.02E-06
E8	1.50E-08	8.04E-07	1.58E-07	4.69E-08	2.44E-05
H1	5.12E-08	2.74E-06	5.07E-07	1.51E-07	7.83E-05
MR1	-	-	-	-	-

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 165

Quotient de Danger par polluant

Récepteur	As	Cd	Co	Cr III	Cr VI	Hg	Mn
R1	9.31E-06	5.02E-04	1.53E-04	7.21E-07	4.80E-05	4.92E-05	3.74E-04
R2	6.04E-06	2.88E-04	1.82E-04	4.18E-07	2.79E-05	2.83E-05	3.01E-04
R3	9.95E-06	4.27E-04	3.95E-04	6.27E-07	4.18E-05	4.20E-05	5.63E-04
R4	1.57E-05	6.58E-04	6.70E-04	9.68E-07	6.46E-05	6.46E-05	9.24E-04
R5	6.95E-06	2.76E-04	3.26E-04	4.09E-07	2.73E-05	2.72E-05	4.30E-04
R6	2.03E-06	8.40E-05	8.72E-05	1.24E-07	8.25E-06	8.25E-06	1.19E-04
R7	2.62E-06	1.04E-04	1.26E-04	1.54E-07	1.03E-05	1.02E-05	1.65E-04
R8	1.52E-06	6.14E-05	6.96E-05	9.08E-08	6.05E-06	6.03E-06	9.28E-05
R9	7.40E-06	2.91E-04	3.56E-04	4.31E-07	2.88E-05	2.86E-05	4.64E-04
R10	5.43E-06	2.29E-04	2.25E-04	3.37E-07	2.25E-05	2.25E-05	3.14E-04
R11	1.90E-06	9.48E-05	4.80E-05	1.37E-07	9.14E-06	9.30E-06	8.83E-05
E1	1.50E-06	6.02E-05	6.99E-05	8.91E-08	5.94E-06	5.92E-06	9.25E-05
E2	5.18E-07	2.02E-05	2.53E-05	3.00E-08	2.00E-06	1.99E-06	3.27E-05
E3	1.16E-06	4.97E-05	4.65E-05	7.30E-08	4.87E-06	4.88E-06	6.60E-05
E4	9.39E-07	3.60E-05	4.73E-05	5.36E-08	3.57E-06	3.54E-06	6.04E-05
E5	7.83E-07	2.99E-05	3.97E-05	4.46E-08	2.97E-06	2.94E-06	5.05E-05
E6	7.15E-07	2.73E-05	3.64E-05	4.06E-08	2.71E-06	2.68E-06	4.62E-05
E7	1.62E-07	6.56E-06	7.39E-06	9.70E-09	6.47E-07	6.45E-07	9.87E-06
E8	5.64E-07	2.18E-05	2.79E-05	3.24E-08	2.16E-06	2.14E-06	3.58E-05
H1	2.01E-06	8.02E-05	9.54E-05	1.19E-07	7.92E-06	7.88E-06	1.25E-04
MR1	1.04E-06	4.17E-05	4.82E-05	6.17E-08	4.11E-06	4.10E-06	6.39E-05

Récepteur	Ni	Sb	Naphtalène	Benzène	Ethylbenzène	Formaldéhyde
R1	2.72E-03	5.47E-05	1.46E-05	2.98E-07	2.66E-09	1.39E-04
R2	3.02E-03	7.28E-05	1.94E-05	3.77E-07	3.36E-09	1.75E-04
R3	6.41E-03	1.63E-04	4.35E-05	8.20E-07	7.31E-09	3.80E-04
R4	1.08E-02	2.78E-04	7.43E-05	1.42E-06	1.27E-08	6.60E-04
R5	5.25E-03	1.37E-04	3.65E-05	6.86E-07	6.12E-09	3.18E-04
R6	1.41E-03	3.63E-05	9.68E-06	1.53E-07	1.36E-09	7.07E-05
R7	2.03E-03	5.29E-05	1.41E-05	2.71E-07	2.41E-09	1.25E-04
R8	1.12E-03	2.91E-05	7.76E-06	1.20E-07	1.07E-09	5.57E-05
R9	5.72E-03	1.49E-04	3.99E-05	7.53E-07	6.71E-09	3.49E-04
R10	3.64E-03	9.31E-05	2.48E-05	4.79E-07	4.27E-09	2.22E-04
R11	8.11E-04	1.88E-05	5.01E-06	9.44E-08	8.42E-10	4.39E-05
E1	1.12E-03	2.92E-05	7.80E-06	1.50E-07	1.34E-09	6.94E-05
E2	4.06E-04	1.06E-05	2.83E-06	5.22E-08	4.66E-10	2.42E-05
E3	7.55E-04	1.92E-05	5.13E-06	9.38E-08	8.36E-10	4.35E-05
E4	7.57E-04	1.99E-05	5.31E-06	1.07E-07	9.50E-10	4.94E-05
E5	6.35E-04	1.67E-05	4.46E-06	9.02E-08	8.04E-10	4.18E-05
E6	5.82E-04	1.53E-05	4.09E-06	8.44E-08	7.52E-10	3.91E-05
E7	1.19E-04	3.09E-06	8.23E-07	1.51E-08	1.35E-10	7.02E-06
E8	4.47E-04	1.17E-05	3.12E-06	6.14E-08	5.48E-10	2.85E-05
H1	1.53E-03	4.00E-05	1.07E-05	1.97E-07	1.76E-09	9.13E-05
MR1	7.76E-04	2.02E-05	5.38E-06	9.57E-08	8.53E-10	4.44E-05

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 166

Quotient de Danger par organe cible

Récepteur	QD Système respiratoire	QD Effets reprotoxiques	QD Système nerveux	QD Système hépatique	QD Système rénal	QD Système immunitaire	QD sommé
R1	3.14E-03	2.66E-09	4.23E-04	7.21E-07	5.02E-04	2.98E-07	4.07E-03
R2	3.50E-03	3.36E-09	3.30E-04	4.18E-07	2.88E-04	3.77E-07	4.12E-03
R3	7.44E-03	7.31E-09	6.04E-04	6.27E-07	4.27E-04	8.20E-07	8.48E-03
R4	1.26E-02	1.27E-08	9.88E-04	9.68E-07	6.58E-04	1.42E-06	1.42E-02
R5	6.10E-03	6.12E-09	4.57E-04	4.09E-07	2.76E-04	6.86E-07	6.84E-03
R6	1.62E-03	1.36E-09	1.28E-04	1.24E-07	8.40E-05	1.53E-07	1.84E-03
R7	2.36E-03	2.41E-09	1.75E-04	1.54E-07	1.04E-04	2.71E-07	2.64E-03
R8	1.29E-03	1.07E-09	9.88E-05	9.08E-08	6.14E-05	1.20E-07	1.45E-03
R9	6.65E-03	6.71E-09	4.92E-04	4.31E-07	2.91E-04	7.53E-07	7.44E-03
R10	4.23E-03	4.27E-09	3.36E-04	3.37E-07	2.29E-04	4.79E-07	4.80E-03
R11	9.37E-04	8.42E-10	9.76E-05	1.37E-07	9.48E-05	9.44E-08	1.13E-03
E1	1.31E-03	1.34E-09	9.84E-05	8.91E-08	6.02E-05	1.50E-07	1.47E-03
E2	4.71E-04	4.66E-10	3.47E-05	3.00E-08	2.02E-05	5.22E-08	5.26E-04
E3	8.76E-04	8.36E-10	7.09E-05	7.30E-08	4.97E-05	9.38E-08	9.97E-04
E4	8.84E-04	9.50E-10	6.39E-05	5.36E-08	3.60E-05	1.07E-07	9.84E-04
E5	7.42E-04	8.04E-10	5.35E-05	4.46E-08	2.99E-05	9.02E-08	8.25E-04
E6	6.81E-04	7.52E-10	4.89E-05	4.06E-08	2.73E-05	8.44E-08	7.57E-04
E7	1.38E-04	1.35E-10	1.05E-05	9.70E-09	6.56E-06	1.51E-08	1.55E-04
E8	5.21E-04	5.48E-10	3.80E-05	3.24E-08	2.18E-05	6.14E-08	5.81E-04
H1	1.78E-03	1.76E-09	1.33E-04	1.19E-07	8.02E-05	1.97E-07	1.99E-03
MR1	8.99E-04	8.53E-10	6.79E-05	6.17E-08	4.17E-05	9.57E-08	1.01E-03

Excès de risque individuel – adulte

Récepteur	As	Cd	Cr VI	Ni	Pb	Benzo(a)pyrène
R1	1.72E-08	7.75E-09	2.47E-08	3.99E-08	1.43E-10	1.47E-07
R2	1.11E-08	4.44E-09	1.43E-08	4.43E-08	8.75E-11	1.15E-07
R3	1.83E-08	6.59E-09	2.15E-08	9.40E-08	1.37E-10	2.16E-07
R4	2.90E-08	1.01E-08	3.32E-08	1.59E-07	2.14E-10	3.47E-07
R5	1.28E-08	4.26E-09	1.40E-08	7.70E-08	9.25E-11	1.61E-07
R6	3.73E-09	1.30E-09	4.24E-09	2.07E-08	2.74E-11	4.53E-08
R7	4.82E-09	1.61E-09	5.29E-09	2.97E-08	3.49E-11	6.01E-08
R8	2.80E-09	9.47E-10	3.11E-09	1.64E-08	2.04E-11	3.45E-08
R9	1.36E-08	4.49E-09	1.48E-08	8.38E-08	9.80E-11	1.73E-07
R10	1.00E-08	3.54E-09	1.16E-08	5.34E-08	7.42E-11	1.19E-07
R11	3.50E-09	1.46E-09	4.70E-09	1.19E-08	2.82E-11	3.40E-08
E1	2.77E-09	9.29E-10	3.06E-09	1.65E-08	2.01E-11	3.46E-08
E2	9.54E-10	3.12E-10	1.03E-09	5.95E-09	6.84E-12	1.22E-08
E3	2.14E-09	7.67E-10	2.50E-09	1.11E-08	1.60E-11	2.52E-08
E4	1.73E-09	5.56E-10	1.84E-09	1.11E-08	1.23E-11	2.24E-08
E5	1.44E-09	4.62E-10	1.53E-09	9.31E-09	1.02E-11	1.87E-08
E6	1.32E-09	4.21E-10	1.39E-09	8.54E-09	9.35E-12	1.71E-08
E7	2.99E-10	1.01E-10	3.33E-10	1.74E-09	2.17E-12	3.69E-09
E8	1.04E-09	3.36E-10	1.11E-09	6.55E-09	7.41E-12	1.34E-08
H1	3.70E-09	1.24E-09	4.07E-09	2.25E-08	2.68E-11	4.60E-08
MR1	1.92E-09	6.44E-10	2.12E-09	1.14E-08	1.39E-11	2.39E-08

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 167

Récepteur	Acénaphthène	Naphtalène	Benzène	Ethylbenzène	Formaldéhyde	ERI sommé enfant
R1	3.05E-11	6.38E-10	2.99E-11	2.85E-12	7.74E-09	2.45E-07
R2	4.06E-11	8.50E-10	3.78E-11	3.60E-12	9.75E-09	2.00E-07
R3	9.08E-11	1.90E-09	8.22E-11	7.83E-12	2.12E-08	3.79E-07
R4	1.55E-10	3.25E-09	1.43E-10	1.36E-11	3.68E-08	6.19E-07
R5	7.62E-11	1.59E-09	6.88E-11	6.55E-12	1.77E-08	2.89E-07
R6	2.02E-11	4.23E-10	1.53E-11	1.46E-12	3.94E-09	7.97E-08
R7	2.95E-11	6.17E-10	2.72E-11	2.59E-12	6.99E-09	1.09E-07
R8	1.62E-11	3.39E-10	1.20E-11	1.15E-12	3.10E-09	6.13E-08
R9	8.33E-11	1.74E-09	7.55E-11	7.19E-12	1.94E-08	3.11E-07
R10	5.19E-11	1.09E-09	4.80E-11	4.57E-12	1.24E-08	2.11E-07
R11	1.05E-11	2.19E-10	9.47E-12	9.02E-13	2.44E-09	5.83E-08
E1	1.63E-11	3.41E-10	1.50E-11	1.43E-12	3.87E-09	6.21E-08
E2	5.92E-12	1.24E-10	5.24E-12	4.99E-13	1.35E-09	2.19E-08
E3	1.07E-11	2.24E-10	9.41E-12	8.96E-13	2.42E-09	4.43E-08
E4	1.11E-11	2.32E-10	1.07E-11	1.02E-12	2.75E-09	4.06E-08
E5	9.31E-12	1.95E-10	9.05E-12	8.62E-13	2.33E-09	3.40E-08
E6	8.54E-12	1.79E-10	8.46E-12	8.06E-13	2.18E-09	3.12E-08
E7	1.72E-12	3.60E-11	1.52E-12	1.45E-13	3.91E-10	6.60E-09
E8	6.53E-12	1.37E-10	6.16E-12	5.87E-13	1.59E-09	2.42E-08
H1	2.23E-11	4.66E-10	1.98E-11	1.88E-12	5.09E-09	8.31E-08
MR1	1.12E-11	2.35E-10	9.60E-12	9.14E-13	2.47E-09	4.26E-08

Excès de risque individuel – enfant

Récepteur	As	Cd	Cr VI	Ni	Pb	Benzo(a)pyrène
R1	3.43E-09	1.55E-09	4.94E-09	7.98E-09	2.87E-11	2.93E-08
R2	2.23E-09	8.88E-10	2.87E-09	8.85E-09	1.75E-11	2.30E-08
R3	3.67E-09	1.32E-09	4.30E-09	1.88E-08	2.74E-11	4.31E-08
R4	5.80E-09	2.03E-09	6.64E-09	3.18E-08	4.28E-11	6.95E-08
R5	2.56E-09	8.53E-10	2.81E-09	1.54E-08	1.85E-11	3.22E-08
R6	7.47E-10	2.59E-10	8.49E-10	4.13E-09	5.49E-12	9.07E-09
R7	9.65E-10	3.21E-10	1.06E-09	5.95E-09	6.99E-12	1.20E-08
R8	5.60E-10	1.89E-10	6.23E-10	3.29E-09	4.07E-12	6.91E-09
R9	2.73E-09	8.97E-10	2.96E-09	1.68E-08	1.96E-11	3.47E-08
R10	2.00E-09	7.08E-10	2.31E-09	1.07E-08	1.48E-11	2.38E-08
R11	7.01E-10	2.92E-10	9.40E-10	2.38E-09	5.63E-12	6.80E-09
E1	5.54E-10	1.86E-10	6.11E-10	3.30E-09	4.01E-12	6.92E-09
E2	1.91E-10	6.24E-11	2.06E-10	1.19E-09	1.37E-12	2.43E-09
E3	4.28E-10	1.53E-10	5.01E-10	2.21E-09	3.19E-12	5.03E-09
E4	3.46E-10	1.11E-10	3.68E-10	2.22E-09	2.46E-12	4.47E-09
E5	2.89E-10	9.24E-11	3.06E-10	1.86E-09	2.05E-12	3.74E-09
E6	2.63E-10	8.42E-11	2.78E-10	1.71E-09	1.87E-12	3.42E-09
E7	5.97E-11	2.02E-11	6.65E-11	3.49E-10	4.35E-13	7.38E-10
E8	2.08E-10	6.73E-11	2.22E-10	1.31E-09	1.48E-12	2.68E-09
H1	7.40E-10	2.47E-10	8.14E-10	4.49E-09	5.37E-12	9.21E-09
MR1	-	-	-	-	-	-

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 168

Récepteur	Acénaphthène	Naphtalène	Benzène	Ethylbenzène	Formaldéhyde	ERI sommé enfant
R1	6.10E-12	1.28E-10	5.98E-12	5.69E-13	1.55E-09	4.89E-08
R2	8.12E-12	1.70E-10	7.56E-12	7.20E-13	1.95E-09	4.00E-08
R3	1.82E-11	3.80E-10	1.64E-11	1.57E-12	4.24E-09	7.59E-08
R4	3.10E-11	6.49E-10	2.85E-11	2.72E-12	7.35E-09	1.24E-07
R5	1.52E-11	3.19E-10	1.38E-11	1.31E-12	3.54E-09	5.77E-08
R6	4.04E-12	8.46E-11	3.06E-12	2.91E-13	7.88E-10	1.59E-08
R7	5.90E-12	1.23E-10	5.43E-12	5.17E-13	1.40E-09	2.18E-08
R8	3.24E-12	6.79E-11	2.41E-12	2.29E-13	6.21E-10	1.23E-08
R9	1.67E-11	3.49E-10	1.51E-11	1.44E-12	3.89E-09	6.23E-08
R10	1.04E-11	2.17E-10	9.60E-12	9.14E-13	2.47E-09	4.23E-08
R11	2.09E-12	4.38E-11	1.89E-12	1.80E-13	4.89E-10	1.17E-08
E1	3.26E-12	6.82E-11	3.00E-12	2.86E-13	7.74E-10	1.24E-08
E2	1.18E-12	2.48E-11	1.05E-12	9.98E-14	2.70E-10	4.38E-09
E3	2.14E-12	4.48E-11	1.88E-12	1.79E-13	4.85E-10	8.86E-09
E4	2.22E-12	4.64E-11	2.14E-12	2.04E-13	5.50E-10	8.12E-09
E5	1.86E-12	3.90E-11	1.81E-12	1.72E-13	4.66E-10	6.80E-09
E6	1.71E-12	3.57E-11	1.69E-12	1.61E-13	4.36E-10	6.23E-09
E7	3.44E-13	7.20E-12	3.04E-13	2.89E-14	7.82E-11	1.32E-09
E8	1.31E-12	2.73E-11	1.23E-12	1.17E-13	3.17E-10	4.83E-09
H1	4.45E-12	9.32E-11	3.95E-12	3.76E-13	1.02E-09	1.66E-08
MR1	-	-	-	-	-	-

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 169

- Annexe 7 -
Tableaux et résultats des calculs
de risque pour l'ingestion aux
récepteurs – rejets
atmosphériques

Cette annexe contient 12 pages

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 170

DJE pour les effets à seuil – ingestion de sol - enfant

Récepteur	Benzo(a)Pyrene	Acenaphtène	Naphtalène	Al	As	Cd	Co	Cr III
R1	2.80E-08	9.46E-09	5.06E-07	7.83E-04	5.49E-08	5.25E-08	1.59E-07	2.29E-07
R2	1.51E-08	6.57E-09	3.51E-07	4.53E-04	2.54E-08	2.13E-08	1.06E-07	9.42E-08
R3	1.57E-08	7.25E-09	3.88E-07	1.17E-03	2.58E-08	2.10E-08	1.16E-07	9.27E-08
R4	3.01E-08	1.39E-08	7.46E-07	1.25E-03	4.93E-08	4.03E-08	2.23E-07	1.79E-07
R5	2.04E-08	1.03E-08	5.53E-07	1.17E-04	3.14E-08	2.34E-08	1.63E-07	1.05E-07
R6	5.01E-09	2.50E-09	1.34E-07	5.05E-05	7.66E-09	5.73E-09	3.99E-08	2.57E-08
R7	8.59E-09	4.58E-09	2.45E-07	9.89E-05	1.31E-08	9.59E-09	7.23E-08	4.31E-08
R8	4.93E-09	2.58E-09	1.38E-07	6.25E-05	7.46E-09	5.47E-09	4.06E-08	2.45E-08
R9	1.07E-08	5.27E-09	2.82E-07	2.65E-04	1.68E-08	1.29E-08	8.38E-08	5.74E-08
R10	1.15E-08	5.47E-09	2.93E-07	2.02E-04	1.82E-08	1.43E-08	8.72E-08	6.38E-08
R11	1.32E-08	6.53E-09	3.51E-07	1.48E-04	2.00E-08	1.51E-08	1.04E-07	6.74E-08
E1	6.66E-09	3.22E-09	1.73E-07	1.97E-04	1.05E-08	8.24E-09	5.13E-08	3.67E-08
E2	4.03E-09	2.08E-09	1.11E-07	3.75E-05	6.11E-09	4.50E-09	3.28E-08	2.02E-08
E3	5.90E-09	2.77E-09	1.49E-07	1.24E-04	9.70E-09	7.87E-09	4.45E-08	3.49E-08
E4	4.27E-09	2.15E-09	1.15E-07	8.82E-05	6.59E-09	4.97E-09	3.41E-08	2.22E-08
E5	3.43E-09	1.74E-09	9.33E-08	6.58E-05	5.27E-09	3.95E-09	2.75E-08	1.77E-08
E6	3.18E-09	1.61E-09	8.65E-08	5.88E-05	4.89E-09	3.65E-09	2.56E-08	1.64E-08
E7	9.51E-10	4.88E-10	2.62E-08	1.41E-05	1.46E-09	1.10E-09	7.73E-09	4.91E-09
E8	2.65E-09	1.34E-09	7.16E-08	4.73E-05	4.06E-09	3.05E-09	2.12E-08	1.37E-08
H1	6.03E-09	3.19E-09	1.71E-07	7.35E-05	9.18E-09	6.75E-09	5.05E-08	3.04E-08
MR1	-	-	-	-	-	-	-	-

Récepteur	Cr VI	Hg	Mn sol	Ni	Pb	Sb	V	Zn
R1	2.54E-08	7.74E-08	1.34E-07	2.37E-06	1.55E-07	1.27E-07	1.14E-06	5.42E-06
R2	1.05E-08	3.14E-08	7.36E-08	1.54E-06	6.72E-08	8.77E-08	6.73E-07	2.28E-06
R3	1.03E-08	3.08E-08	7.79E-08	1.69E-06	6.72E-08	9.70E-08	7.23E-07	2.24E-06
R4	1.98E-08	5.92E-08	1.50E-07	3.25E-06	1.29E-07	1.86E-07	1.39E-06	4.32E-06
R5	1.17E-08	3.45E-08	1.03E-07	2.36E-06	7.88E-08	1.38E-07	9.79E-07	2.58E-06
R6	2.86E-09	8.46E-09	2.50E-08	5.73E-07	1.93E-08	3.36E-08	2.39E-07	6.33E-07
R7	4.79E-09	1.41E-08	4.45E-08	1.04E-06	3.28E-08	6.12E-08	4.29E-07	1.07E-06
R8	2.73E-09	8.05E-09	2.50E-08	5.84E-07	1.87E-08	3.45E-08	2.41E-07	6.07E-07
R9	6.38E-09	1.89E-08	5.36E-08	1.21E-06	4.27E-08	7.05E-08	5.08E-07	1.41E-06
R10	7.09E-09	2.11E-08	5.70E-08	1.26E-06	4.69E-08	7.31E-08	5.34E-07	1.56E-06
R11	7.49E-09	2.23E-08	6.53E-08	1.49E-06	5.06E-08	8.74E-08	6.23E-07	1.66E-06
E1	4.08E-09	1.22E-08	3.33E-08	7.42E-07	2.71E-08	4.31E-08	3.14E-07	8.97E-07
E2	2.24E-09	6.64E-09	2.04E-08	4.72E-07	1.53E-08	2.78E-08	1.96E-07	4.99E-07
E3	3.88E-09	1.16E-08	2.96E-08	6.45E-07	2.53E-08	3.71E-08	2.76E-07	8.49E-07
E4	2.47E-09	7.32E-09	2.15E-08	4.91E-07	1.66E-08	2.87E-08	2.05E-07	5.46E-07
E5	1.97E-09	5.83E-09	1.73E-08	3.96E-07	1.33E-08	2.32E-08	1.65E-07	4.36E-07
E6	1.82E-09	5.39E-09	1.60E-08	3.68E-07	1.24E-08	2.16E-08	1.54E-07	4.03E-07
E7	5.45E-10	1.62E-09	4.84E-09	1.12E-07	3.70E-09	6.53E-09	4.63E-08	1.21E-07
E8	1.52E-09	4.49E-09	1.34E-08	3.06E-07	1.02E-08	1.79E-08	1.27E-07	3.36E-07
H1	3.38E-09	9.96E-09	3.12E-08	7.23E-07	2.30E-08	4.27E-08	2.99E-07	7.51E-07
MR1	-	-	-	-	-	-	-	-

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 171

DJE pour les effets à seuil – ingestion de sol - adulte

Récepteur	Benzo(a)Pyrene	Acenaphtène	Naphtalène	Al	As	Cd	Co	Cr III
R1	2.33E-09	7.88E-10	4.22E-08	6.52E-05	4.58E-09	4.37E-09	1.32E-08	1.91E-08
R2	1.26E-09	5.47E-10	2.92E-08	3.77E-05	2.12E-09	1.78E-09	8.81E-09	7.85E-09
R3	1.30E-09	6.04E-10	3.23E-08	9.72E-05	2.15E-09	1.75E-09	9.68E-09	7.72E-09
R4	2.50E-09	1.16E-09	6.21E-08	1.04E-04	4.11E-09	3.35E-09	1.86E-08	1.49E-08
R5	1.70E-09	8.60E-10	4.61E-08	9.72E-06	2.61E-09	1.95E-09	1.36E-08	8.75E-09
R6	4.17E-10	2.09E-10	1.12E-08	4.20E-06	6.38E-10	4.78E-10	3.32E-09	2.14E-09
R7	7.16E-10	3.82E-10	2.04E-08	8.24E-06	1.09E-09	7.99E-10	6.03E-09	3.59E-09
R8	4.11E-10	2.15E-10	1.15E-08	5.21E-06	6.21E-10	4.56E-10	3.39E-09	2.05E-09
R9	8.92E-10	4.39E-10	2.35E-08	2.21E-05	1.40E-09	1.07E-09	6.99E-09	4.79E-09
R10	9.58E-10	4.56E-10	2.44E-08	1.69E-05	1.52E-09	1.19E-09	7.27E-09	5.31E-09
R11	1.10E-09	5.44E-10	2.92E-08	1.24E-05	1.67E-09	1.26E-09	8.63E-09	5.62E-09
E1	5.55E-10	2.68E-10	1.44E-08	1.64E-05	8.77E-10	6.87E-10	4.28E-09	3.06E-09
E2	3.35E-10	1.73E-10	9.22E-09	3.13E-06	5.09E-10	3.75E-10	2.74E-09	1.68E-09
E3	4.92E-10	2.31E-10	1.24E-08	1.04E-05	8.08E-10	6.56E-10	3.71E-09	2.91E-09
E4	3.56E-10	1.79E-10	9.61E-09	7.35E-06	5.49E-10	4.14E-10	2.84E-09	1.85E-09
E5	2.86E-10	1.45E-10	7.78E-09	5.48E-06	4.39E-10	3.29E-10	2.29E-09	1.48E-09
E6	2.65E-10	1.34E-10	7.20E-09	4.90E-06	4.07E-10	3.04E-10	2.13E-09	1.37E-09
E7	7.93E-11	4.06E-11	2.18E-09	1.17E-06	1.22E-10	9.15E-11	6.44E-10	4.09E-10
E8	2.21E-10	1.11E-10	5.97E-09	3.94E-06	3.38E-10	2.54E-10	1.77E-09	1.14E-09
H1	5.02E-10	2.66E-10	1.42E-08	6.12E-06	7.65E-10	5.63E-10	4.20E-09	2.53E-09
MR1	1.38E-10	7.02E-11	3.76E-09	2.13E-06	2.15E-10	1.62E-10	1.11E-09	7.25E-10

Récepteur	Cr VI	Hg	Mn sol	Ni	Pb	Sb	V	Zn
R1	2.12E-09	6.45E-09	1.12E-08	1.98E-07	1.29E-08	1.06E-08	9.51E-08	4.51E-07
R2	8.72E-10	2.61E-09	6.14E-09	1.28E-07	5.60E-09	7.31E-09	5.61E-08	1.90E-07
R3	8.58E-10	2.57E-09	6.49E-09	1.41E-07	5.60E-09	8.08E-09	6.03E-08	1.87E-07
R4	1.65E-09	4.93E-09	1.25E-08	2.71E-07	1.08E-08	1.55E-08	1.16E-07	3.60E-07
R5	9.72E-10	2.88E-09	8.56E-09	1.96E-07	6.57E-09	1.15E-08	8.16E-08	2.15E-07
R6	2.38E-10	7.05E-10	2.09E-09	4.78E-08	1.61E-09	2.80E-09	1.99E-08	5.27E-08
R7	3.99E-10	1.18E-09	3.71E-09	8.66E-08	2.74E-09	5.10E-09	3.57E-08	8.89E-08
R8	2.27E-10	6.71E-10	2.09E-09	4.87E-08	1.56E-09	2.88E-09	2.01E-08	5.06E-08
R9	5.32E-10	1.58E-09	4.47E-09	1.01E-07	3.56E-09	5.87E-09	4.24E-08	1.17E-07
R10	5.91E-10	1.76E-09	4.75E-09	1.05E-07	3.91E-09	6.09E-09	4.45E-08	1.30E-07
R11	6.25E-10	1.86E-09	5.44E-09	1.24E-07	4.22E-09	7.28E-09	5.19E-08	1.38E-07
E1	3.40E-10	1.01E-09	2.77E-09	6.18E-08	2.26E-09	3.59E-09	2.61E-08	7.48E-08
E2	1.87E-10	5.53E-10	1.70E-09	3.93E-08	1.27E-09	2.32E-09	1.63E-08	4.15E-08
E3	3.23E-10	9.68E-10	2.47E-09	5.37E-08	2.11E-09	3.10E-09	2.30E-08	7.07E-08
E4	2.06E-10	6.10E-10	1.79E-09	4.09E-08	1.39E-09	2.39E-09	1.71E-08	4.55E-08
E5	1.64E-10	4.86E-10	1.44E-09	3.30E-08	1.11E-09	1.94E-09	1.37E-08	3.64E-08
E6	1.52E-10	4.49E-10	1.33E-09	3.06E-08	1.03E-09	1.80E-09	1.28E-08	3.36E-08
E7	4.54E-11	1.35E-10	4.03E-10	9.30E-09	3.08E-10	5.44E-10	3.86E-09	1.01E-08
E8	1.27E-10	3.74E-10	1.11E-09	2.55E-08	8.54E-10	1.49E-09	1.06E-08	2.80E-08
H1	2.81E-10	8.30E-10	2.60E-09	6.03E-08	1.92E-09	3.56E-09	2.49E-08	6.26E-08
MR1	8.05E-11	2.40E-10	7.02E-10	1.61E-08	5.44E-10	9.38E-10	6.69E-09	1.78E-08

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 172

DJE pour les effets sans seuil – ingestion de sol – enfant

Récepteur	Benzo(a)Pyrene	Acenaphtène	Naphtalène	As	Pb
R1	2.40E-09	8.11E-10	4.34E-08	4.71E-09	1.32E-08
R2	1.29E-09	5.63E-10	3.01E-08	2.18E-09	5.76E-09
R3	1.34E-09	6.22E-10	3.32E-08	2.21E-09	5.76E-09
R4	2.58E-09	1.19E-09	6.39E-08	4.23E-09	1.11E-08
R5	1.75E-09	8.84E-10	4.74E-08	2.69E-09	6.76E-09
R6	4.29E-10	2.15E-10	1.15E-08	6.57E-10	1.65E-09
R7	7.36E-10	3.93E-10	2.10E-08	1.12E-09	2.81E-09
R8	4.23E-10	2.21E-10	1.18E-08	6.39E-10	1.61E-09
R9	9.17E-10	4.52E-10	2.42E-08	1.44E-09	3.66E-09
R10	9.86E-10	4.69E-10	2.51E-08	1.56E-09	4.02E-09
R11	1.13E-09	5.60E-10	3.01E-08	1.72E-09	4.34E-09
E1	5.71E-10	2.76E-10	1.48E-08	9.02E-10	2.32E-09
E2	3.45E-10	1.78E-10	9.49E-09	5.24E-10	1.31E-09
E3	5.06E-10	2.38E-10	1.28E-08	8.31E-10	2.17E-09
E4	3.66E-10	1.84E-10	9.88E-09	5.65E-10	1.43E-09
E5	2.94E-10	1.49E-10	8.00E-09	4.52E-10	1.14E-09
E6	2.73E-10	1.38E-10	7.41E-09	4.19E-10	1.06E-09
E7	8.15E-11	4.18E-11	2.24E-09	1.25E-10	3.17E-10
E8	2.27E-10	1.14E-10	6.14E-09	3.48E-10	8.78E-10
H1	5.17E-10	2.73E-10	1.46E-08	7.87E-10	1.97E-09
MR1	-	-	-	-	-

DJE pour les effets sans seuil – ingestion de sol – adulte

Récepteur	Benzo(a)Pyrene	Acenaphtène	Naphtalène	As	Pb
R1	1.00E-09	3.38E-10	1.81E-08	1.96E-09	5.52E-09
R2	5.39E-10	2.35E-10	1.25E-08	9.08E-10	2.40E-09
R3	5.59E-10	2.59E-10	1.38E-08	9.21E-10	2.40E-09
R4	1.07E-09	4.98E-10	2.66E-08	1.76E-09	4.62E-09
R5	7.29E-10	3.68E-10	1.97E-08	1.12E-09	2.82E-09
R6	1.79E-10	8.94E-11	4.80E-09	2.74E-10	6.89E-10
R7	3.07E-10	1.64E-10	8.75E-09	4.67E-10	1.17E-09
R8	1.76E-10	9.21E-11	4.92E-09	2.66E-10	6.69E-10
R9	3.82E-10	1.88E-10	1.01E-08	5.98E-10	1.52E-09
R10	4.11E-10	1.95E-10	1.05E-08	6.51E-10	1.68E-09
R11	4.70E-10	2.33E-10	1.25E-08	7.16E-10	1.81E-09
E1	2.38E-10	1.15E-10	6.18E-09	3.76E-10	9.67E-10
E2	1.44E-10	7.42E-11	3.95E-09	2.18E-10	5.46E-10
E3	2.11E-10	9.90E-11	5.33E-09	3.46E-10	9.05E-10
E4	1.53E-10	7.68E-11	4.12E-09	2.35E-10	5.95E-10
E5	1.23E-10	6.21E-11	3.33E-09	1.88E-10	4.74E-10
E6	1.14E-10	5.75E-11	3.09E-09	1.74E-10	4.41E-10
E7	3.40E-11	1.74E-11	9.34E-10	5.23E-11	1.32E-10
E8	9.47E-11	4.77E-11	2.56E-09	1.45E-10	3.66E-10
H1	2.15E-10	1.14E-10	6.10E-09	3.28E-10	8.22E-10
MR1	5.93E-11	3.01E-11	1.61E-09	9.21E-11	2.33E-10

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 173

DJE pour les effets sans seuil – ingestion de sol – vie entière

Récepteur	Benzo(a)Pyrene	Acenaphtène	Naphtalène	As	Pb
R1	3.20E-09	1.08E-09	5.79E-08	6.28E-09	1.77E-08
R2	1.72E-09	7.51E-10	4.01E-08	2.90E-09	7.67E-09
R3	1.79E-09	8.29E-10	4.43E-08	2.95E-09	7.67E-09
R4	3.43E-09	1.59E-09	8.52E-08	5.64E-09	1.48E-08
R5	2.33E-09	1.18E-09	6.32E-08	3.58E-09	9.01E-09
R6	5.72E-10	2.86E-10	1.54E-08	8.76E-10	2.20E-09
R7	9.82E-10	5.24E-10	2.80E-08	1.49E-09	3.75E-09
R8	5.64E-10	2.95E-10	1.57E-08	8.52E-10	2.14E-09
R9	1.22E-09	6.02E-10	3.22E-08	1.91E-09	4.88E-09
R10	1.31E-09	6.25E-10	3.35E-08	2.08E-09	5.36E-09
R11	1.50E-09	7.46E-10	4.01E-08	2.29E-09	5.79E-09
E1	7.61E-10	3.68E-10	1.98E-08	1.20E-09	3.09E-09
E2	4.60E-10	2.37E-10	1.27E-08	6.98E-10	1.75E-09
E3	6.74E-10	3.17E-10	1.70E-08	1.11E-09	2.90E-09
E4	4.88E-10	2.46E-10	1.32E-08	7.53E-10	1.90E-09
E5	3.92E-10	1.99E-10	1.07E-08	6.02E-10	1.52E-09
E6	3.64E-10	1.84E-10	9.88E-09	5.58E-10	1.41E-09
E7	1.09E-10	5.57E-11	2.99E-09	1.67E-10	4.22E-10
E8	3.03E-10	1.53E-10	8.19E-09	4.64E-10	1.17E-09
H1	6.89E-10	3.65E-10	1.95E-08	1.05E-09	2.63E-09
MR1	-	-	-	-	-

DJE pour les effets à seuil – ingestion de végétaux - enfant

Récepteur	Benzo(a)Pyrene	Acenaphtène	Naphtalène	Al	As	Cd	Co	Cr III
R1	6.61E-10	2.17E-09	2.36E-07	0.00E+00	3.88E-10	6.33E-09	1.31E-10	1.17E-09
R2	3.56E-10	1.50E-09	1.64E-07	0.00E+00	1.80E-10	2.57E-09	8.73E-11	4.81E-10
R3	3.70E-10	1.66E-09	1.81E-07	0.00E+00	1.82E-10	2.53E-09	9.58E-11	4.73E-10
R4	7.10E-10	3.19E-09	3.48E-07	0.00E+00	3.49E-10	4.85E-09	1.84E-10	9.13E-10
R5	4.82E-10	2.36E-09	2.58E-07	0.00E+00	2.22E-10	2.82E-09	1.35E-10	5.37E-10
R6	1.18E-10	5.73E-10	6.28E-08	0.00E+00	5.41E-11	6.91E-10	3.29E-11	1.31E-10
R7	2.03E-10	1.05E-09	1.14E-07	0.00E+00	9.24E-11	1.16E-09	5.97E-11	2.20E-10
R8	1.17E-10	5.90E-10	6.42E-08	0.00E+00	5.27E-11	6.59E-10	3.35E-11	1.25E-10
R9	2.53E-10	1.21E-09	1.32E-07	0.00E+00	1.18E-10	1.55E-09	6.92E-11	2.93E-10
R10	2.72E-10	1.25E-09	1.37E-07	0.00E+00	1.29E-10	1.73E-09	7.19E-11	3.26E-10
R11	3.11E-10	1.50E-09	1.64E-07	0.00E+00	1.42E-10	1.82E-09	8.54E-11	3.45E-10
E1	-	-	-	-	-	-	-	-
E2	-	-	-	-	-	-	-	-
E3	-	-	-	-	-	-	-	-
E4	-	-	-	-	-	-	-	-
E5	-	-	-	-	-	-	-	-
E6	-	-	-	-	-	-	-	-
E7	-	-	-	-	-	-	-	-
E8	-	-	-	-	-	-	-	-
H1	-	-	-	-	-	-	-	-
MR1	-	-	-	-	-	-	-	-

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 174

Récepteur	Cr VI	Hg	Mn vx	Ni	Pb	Sb	V	Zn
R1	1.30E-10	1.53E-09	9.69E-08	2.29E-08	2.09E-09	4.25E-09	1.21E-06	1.44E-06
R2	5.35E-11	6.20E-10	5.32E-08	1.48E-08	9.08E-10	2.94E-09	7.16E-07	6.06E-07
R3	5.26E-11	6.09E-10	5.63E-08	1.62E-08	9.08E-10	3.25E-09	7.69E-07	5.96E-07
R4	1.01E-10	1.17E-09	1.08E-07	3.13E-08	1.75E-09	6.22E-09	1.48E-06	1.15E-06
R5	5.96E-11	6.82E-10	7.43E-08	2.27E-08	1.07E-09	4.63E-09	1.04E-06	6.85E-07
R6	1.46E-11	1.67E-10	1.81E-08	5.52E-09	2.61E-10	1.13E-09	2.54E-07	1.68E-07
R7	2.45E-11	2.79E-10	3.22E-08	1.00E-08	4.44E-10	2.05E-09	4.55E-07	2.83E-07
R8	1.39E-11	1.59E-10	1.81E-08	5.63E-09	2.53E-10	1.16E-09	2.56E-07	1.61E-07
R9	3.26E-11	3.74E-10	3.87E-08	1.16E-08	5.77E-10	2.36E-09	5.40E-07	3.75E-07
R10	3.62E-11	4.18E-10	4.12E-08	1.21E-08	6.35E-10	2.45E-09	5.68E-07	4.14E-07
R11	3.83E-11	4.40E-10	4.72E-08	1.44E-08	6.85E-10	2.93E-09	6.62E-07	4.41E-07
E1	-	-	-	-	-	-	-	-
E2	-	-	-	-	-	-	-	-
E3	-	-	-	-	-	-	-	-
E4	-	-	-	-	-	-	-	-
E5	-	-	-	-	-	-	-	-
E6	-	-	-	-	-	-	-	-
E7	-	-	-	-	-	-	-	-
E8	-	-	-	-	-	-	-	-
H1	-	-	-	-	-	-	-	-
MR1	-	-	-	-	-	-	-	-

DJE pour les effets à seuil – ingestion de végétaux - adulte

Récepteur	Benzo(a)Pyrene	Acenaptène	Naphtalène	Al	As	Cd	Co	Cr III
R1	2.35E-10	6.80E-10	7.21E-08	0.00E+00	1.24E-10	1.92E-09	4.93E-11	3.66E-10
R2	1.26E-10	4.72E-10	4.99E-08	0.00E+00	5.73E-11	7.82E-10	3.28E-11	1.50E-10
R3	1.31E-10	5.22E-10	5.52E-08	0.00E+00	5.81E-11	7.68E-10	3.60E-11	1.48E-10
R4	2.52E-10	1.00E-09	1.06E-07	0.00E+00	1.11E-10	1.47E-09	6.91E-11	2.86E-10
R5	1.71E-10	7.42E-10	7.87E-08	0.00E+00	7.07E-11	8.56E-10	5.07E-11	1.68E-10
R6	4.20E-11	1.80E-10	1.91E-08	0.00E+00	1.73E-11	2.10E-10	1.24E-11	4.11E-11
R7	7.20E-11	3.29E-10	3.49E-08	0.00E+00	2.95E-11	3.51E-10	2.24E-11	6.88E-11
R8	4.14E-11	1.85E-10	1.96E-08	0.00E+00	1.68E-11	2.00E-10	1.26E-11	3.92E-11
R9	8.97E-11	3.79E-10	4.01E-08	0.00E+00	3.78E-11	4.72E-10	2.60E-11	9.18E-11
R10	9.64E-11	3.93E-10	4.17E-08	0.00E+00	4.11E-11	5.25E-10	2.70E-11	1.02E-10
R11	1.10E-10	4.70E-10	4.99E-08	0.00E+00	4.52E-11	5.53E-10	3.21E-11	1.08E-10
E1	-	-	-	-	-	-	-	-
E2	-	-	-	-	-	-	-	-
E3	-	-	-	-	-	-	-	-
E4	-	-	-	-	-	-	-	-
E5	-	-	-	-	-	-	-	-
E6	-	-	-	-	-	-	-	-
E7	-	-	-	-	-	-	-	-
E8	-	-	-	-	-	-	-	-
H1	-	-	-	-	-	-	-	-
MR1	-	-	-	-	-	-	-	-

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 175

Récepteur	Cr VI	Hg	Mn vx	Ni	Pb	Sb	V	Zn
R1	4.06E-11	5.14E-10	3.05E-08	7.12E-09	6.42E-10	1.33E-09	3.81E-07	5.41E-07
R2	1.67E-11	2.08E-10	1.67E-08	4.62E-09	2.79E-10	9.21E-10	2.25E-07	2.28E-07
R3	1.65E-11	2.05E-10	1.77E-08	5.06E-09	2.79E-10	1.02E-09	2.42E-07	2.24E-07
R4	3.17E-11	3.93E-10	3.40E-08	9.74E-09	5.37E-10	1.95E-09	4.64E-07	4.32E-07
R5	1.86E-11	2.29E-10	2.33E-08	7.07E-09	3.28E-10	1.45E-09	3.27E-07	2.57E-07
R6	4.57E-12	5.62E-11	5.69E-09	1.72E-09	8.02E-11	3.52E-10	7.99E-08	6.32E-08
R7	7.65E-12	9.40E-11	1.01E-08	3.12E-09	1.36E-10	6.43E-10	1.43E-07	1.07E-07
R8	4.36E-12	5.35E-11	5.69E-09	1.75E-09	7.79E-11	3.62E-10	8.06E-08	6.06E-08
R9	1.02E-11	1.26E-10	1.22E-08	3.62E-09	1.77E-10	7.40E-10	1.70E-07	1.41E-07
R10	1.13E-11	1.41E-10	1.29E-08	3.78E-09	1.95E-10	7.67E-10	1.78E-07	1.55E-07
R11	1.20E-11	1.48E-10	1.48E-08	4.47E-09	2.11E-10	9.17E-10	2.08E-07	1.66E-07
E1	-	-	-	-	-	-	-	-
E2	-	-	-	-	-	-	-	-
E3	-	-	-	-	-	-	-	-
E4	-	-	-	-	-	-	-	-
E5	-	-	-	-	-	-	-	-
E6	-	-	-	-	-	-	-	-
E7	-	-	-	-	-	-	-	-
E8	-	-	-	-	-	-	-	-
H1	-	-	-	-	-	-	-	-
MR1	-	-	-	-	-	-	-	-

DJE pour les effets sans seuil – ingestion de végétaux – enfant

Récepteur	Benzo(a)Pyrene	Acenaphtène	Naphtalène	As	Pb
R1	5.67E-11	1.86E-10	2.03E-08	3.33E-11	1.79E-10
R2	3.05E-11	1.29E-10	1.40E-08	1.54E-11	7.78E-11
R3	3.17E-11	1.42E-10	1.55E-08	1.56E-11	7.78E-11
R4	6.08E-11	2.73E-10	2.98E-08	2.99E-11	1.50E-10
R5	4.13E-11	2.02E-10	2.21E-08	1.90E-11	9.14E-11
R6	1.01E-11	4.92E-11	5.38E-09	4.64E-12	2.24E-11
R7	1.74E-11	8.99E-11	9.79E-09	7.92E-12	3.81E-11
R8	9.99E-12	5.06E-11	5.50E-09	4.52E-12	2.17E-11
R9	2.17E-11	1.03E-10	1.13E-08	1.01E-11	4.95E-11
R10	2.33E-11	1.07E-10	1.17E-08	1.10E-11	5.44E-11
R11	2.66E-11	1.28E-10	1.40E-08	1.21E-11	5.87E-11
E1	-	-	-	-	-
E2	-	-	-	-	-
E3	-	-	-	-	-
E4	-	-	-	-	-
E5	-	-	-	-	-
E6	-	-	-	-	-
E7	-	-	-	-	-
E8	-	-	-	-	-
H1	-	-	-	-	-
MR1	-	-	-	-	-

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 176

DJE pour les effets sans seuil – ingestion de végétaux – adulte

Récepteur	Benzo(a)Pyrene	Acenaphtène	Naphtalène	As	Pb
R1	1.01E-10	2.92E-10	3.09E-08	5.31E-11	2.75E-10
R2	5.42E-11	2.02E-10	2.14E-08	2.46E-11	1.20E-10
R3	5.62E-11	2.24E-10	2.37E-08	2.49E-11	1.20E-10
R4	1.08E-10	4.29E-10	4.55E-08	4.77E-11	2.30E-10
R5	7.33E-11	3.18E-10	3.37E-08	3.03E-11	1.40E-10
R6	1.80E-11	7.72E-11	8.21E-09	7.40E-12	3.44E-11
R7	3.09E-11	1.41E-10	1.49E-08	1.26E-11	5.85E-11
R8	1.77E-11	7.95E-11	8.40E-09	7.21E-12	3.34E-11
R9	3.85E-11	1.62E-10	1.72E-08	1.62E-11	7.60E-11
R10	4.13E-11	1.69E-10	1.79E-08	1.76E-11	8.36E-11
R11	4.72E-11	2.01E-10	2.14E-08	1.94E-11	9.02E-11
E1	-	-	-	-	-
E2	-	-	-	-	-
E3	-	-	-	-	-
E4	-	-	-	-	-
E5	-	-	-	-	-
E6	-	-	-	-	-
E7	-	-	-	-	-
E8	-	-	-	-	-
H1	-	-	-	-	-
MR1	-	-	-	-	-

DJE pour les effets sans seuil – ingestion de végétaux – vie entière

Récepteur	Benzo(a)Pyrene	Acenaphtène	Naphtalène	As	Pb
R1	1.37E-10	4.19E-10	4.50E-08	7.57E-11	3.99E-10
R2	7.39E-11	2.91E-10	3.11E-08	3.50E-11	1.74E-10
R3	7.67E-11	3.21E-10	3.44E-08	3.56E-11	1.74E-10
R4	1.47E-10	6.17E-10	6.62E-08	6.80E-11	3.34E-10
R5	9.99E-11	4.57E-10	4.91E-08	4.32E-11	2.04E-10
R6	2.45E-11	1.11E-10	1.19E-08	1.06E-11	4.99E-11
R7	4.21E-11	2.03E-10	2.17E-08	1.80E-11	8.49E-11
R8	2.42E-11	1.14E-10	1.22E-08	1.03E-11	4.84E-11
R9	5.24E-11	2.33E-10	2.50E-08	2.31E-11	1.10E-10
R10	5.63E-11	2.42E-10	2.60E-08	2.51E-11	1.21E-10
R11	6.44E-11	2.89E-10	3.11E-08	2.76E-11	1.31E-10
E1	-	-	-	-	-
E2	-	-	-	-	-
E3	-	-	-	-	-
E4	-	-	-	-	-
E5	-	-	-	-	-
E6	-	-	-	-	-
E7	-	-	-	-	-
E8	-	-	-	-	-
H1	-	-	-	-	-
MR1	-	-	-	-	-

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 177

Quotient de danger par polluant - enfant

Récepteur	Acenaphène	Naphtalène	Al	As	Cd	Co	Cr III	Cr VI
R1	1.94E-07	3.71E-05	7.83E-04	1.84E-04	5.88E-05	1.14E-04	1.53E-07	8.51E-06
R2	1.35E-07	2.58E-05	4.53E-04	8.53E-05	2.39E-05	7.58E-05	6.31E-08	3.52E-06
R3	1.49E-07	2.85E-05	1.17E-03	8.66E-05	2.35E-05	8.29E-05	6.21E-08	3.45E-06
R4	2.85E-07	5.47E-05	1.25E-03	1.65E-04	4.52E-05	1.59E-04	1.20E-07	6.63E-06
R5	2.11E-07	4.06E-05	1.17E-04	1.05E-04	2.62E-05	1.17E-04	7.04E-08	3.92E-06
R6	5.12E-08	9.84E-06	5.05E-05	2.57E-05	6.42E-06	2.85E-05	1.72E-08	9.58E-07
R7	9.38E-08	1.80E-05	9.89E-05	4.40E-05	1.08E-05	5.17E-05	2.89E-08	1.60E-06
R8	5.28E-08	1.01E-05	6.25E-05	2.50E-05	6.13E-06	2.90E-05	1.64E-08	9.15E-07
R9	1.08E-07	2.07E-05	2.65E-04	5.64E-05	1.45E-05	5.99E-05	3.85E-08	2.14E-06
R10	1.12E-07	2.15E-05	2.02E-04	6.11E-05	1.60E-05	6.23E-05	4.28E-08	2.38E-06
R11	1.34E-07	2.58E-05	1.48E-04	6.71E-05	1.69E-05	7.43E-05	4.52E-08	2.51E-06
E1	5.37E-08	8.65E-06	1.97E-04	3.50E-05	8.24E-06	3.66E-05	2.45E-08	1.36E-06
E2	3.47E-08	5.55E-06	3.75E-05	2.04E-05	4.50E-06	2.34E-05	1.35E-08	7.47E-07
E3	4.62E-08	7.45E-06	1.24E-04	3.23E-05	7.87E-06	3.18E-05	2.33E-08	1.29E-06
E4	3.58E-08	5.75E-06	8.82E-05	2.20E-05	4.97E-06	2.44E-05	1.48E-08	8.23E-07
E5	2.90E-08	4.67E-06	6.58E-05	1.76E-05	3.95E-06	1.96E-05	1.18E-08	6.57E-07
E6	2.68E-08	4.33E-06	5.88E-05	1.63E-05	3.65E-06	1.83E-05	1.09E-08	6.07E-07
E7	8.13E-09	1.31E-06	1.41E-05	4.87E-06	1.10E-06	5.52E-06	3.27E-09	1.82E-07
E8	2.23E-08	3.58E-06	4.73E-05	1.35E-05	3.05E-06	1.51E-05	9.13E-09	5.07E-07
H1	5.32E-08	8.55E-06	7.35E-05	3.06E-05	6.75E-06	3.61E-05	2.03E-08	1.13E-06
MR1	-	-	-	-	-	-	-	-

Récepteur	Hg	Mn sol	Mn vx	Ni	Pb	Sb	V	Zn
R1	2.63E-04	2.91E-06	6.92E-07	1.20E-04	4.49E-05	3.28E-04	2.61E-04	2.29E-05
R2	1.07E-04	1.60E-06	3.80E-07	7.77E-05	1.95E-05	2.27E-04	1.54E-04	9.62E-06
R3	1.05E-04	1.69E-06	4.02E-07	8.53E-05	1.95E-05	2.51E-04	1.66E-04	9.45E-06
R4	2.01E-04	3.26E-06	7.71E-07	1.64E-04	3.74E-05	4.81E-04	3.19E-04	1.82E-05
R5	1.17E-04	2.24E-06	5.31E-07	1.19E-04	2.28E-05	3.57E-04	2.24E-04	1.09E-05
R6	2.88E-05	5.43E-07	1.29E-07	2.89E-05	5.59E-06	8.68E-05	5.48E-05	2.67E-06
R7	4.79E-05	9.67E-07	2.30E-07	5.25E-05	9.50E-06	1.58E-04	9.82E-05	4.51E-06
R8	2.74E-05	5.43E-07	1.29E-07	2.95E-05	5.42E-06	8.92E-05	5.52E-05	2.56E-06
R9	6.42E-05	1.17E-06	2.76E-07	6.11E-05	1.24E-05	1.82E-04	1.16E-04	5.95E-06
R10	7.17E-05	1.24E-06	2.94E-07	6.36E-05	1.36E-05	1.89E-04	1.22E-04	6.58E-06
R11	7.58E-05	1.42E-06	3.37E-07	7.52E-05	1.47E-05	2.26E-04	1.43E-04	7.00E-06
E1	4.07E-05	7.24E-07	0.00E+00	3.71E-05	7.74E-06	1.08E-04	3.49E-05	2.99E-06
E2	2.21E-05	4.43E-07	0.00E+00	2.36E-05	4.37E-06	6.95E-05	2.18E-05	1.66E-06
E3	3.87E-05	6.43E-07	0.00E+00	3.23E-05	7.23E-06	9.28E-05	3.07E-05	2.83E-06
E4	2.44E-05	4.67E-07	0.00E+00	2.46E-05	4.74E-06	7.18E-05	2.28E-05	1.82E-06
E5	1.94E-05	3.76E-07	0.00E+00	1.98E-05	3.80E-06	5.80E-05	1.83E-05	1.45E-06
E6	1.80E-05	3.48E-07	0.00E+00	1.84E-05	3.54E-06	5.40E-05	1.71E-05	1.34E-06
E7	5.40E-06	1.05E-07	0.00E+00	5.60E-06	1.06E-06	1.63E-05	5.14E-06	4.03E-07
E8	1.50E-05	2.91E-07	0.00E+00	1.53E-05	2.91E-06	4.48E-05	1.41E-05	1.12E-06
H1	3.32E-05	6.78E-07	0.00E+00	3.62E-05	6.57E-06	1.07E-04	3.32E-05	2.50E-06
MR1	-	-	-	-	-	-	-	-

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 178

Quotient de danger par polluant - adulte

Récepteur	Acenaphène	Naphtalène	Al	As	Cd	Co	Cr III	Cr VI
R1	2.45E-08	5.72E-06	6.52E-05	1.57E-05	6.29E-06	9.46E-06	1.30E-08	7.20E-07
R2	1.70E-08	3.96E-06	3.77E-05	7.26E-06	2.56E-06	6.32E-06	5.33E-09	2.96E-07
R3	1.88E-08	4.38E-06	9.72E-05	7.36E-06	2.52E-06	6.94E-06	5.25E-09	2.92E-07
R4	3.60E-08	8.41E-06	1.04E-04	1.41E-05	4.82E-06	1.33E-05	1.01E-08	5.61E-07
R5	2.67E-08	6.24E-06	9.72E-06	8.94E-06	2.81E-06	9.75E-06	5.95E-09	3.30E-07
R6	6.48E-09	1.52E-06	4.20E-06	2.18E-06	6.88E-07	2.38E-06	1.45E-09	8.09E-08
R7	1.19E-08	2.77E-06	8.24E-06	3.73E-06	1.15E-06	4.32E-06	2.44E-09	1.36E-07
R8	6.67E-09	1.56E-06	5.21E-06	2.13E-06	6.56E-07	2.43E-06	1.39E-09	7.71E-08
R9	1.36E-08	3.18E-06	2.21E-05	4.79E-06	1.54E-06	5.01E-06	3.25E-09	1.81E-07
R10	1.42E-08	3.31E-06	1.69E-05	5.20E-06	1.72E-06	5.21E-06	3.61E-09	2.01E-07
R11	1.69E-08	3.96E-06	1.24E-05	5.72E-06	1.81E-06	6.19E-06	3.82E-09	2.12E-07
E1	4.47E-09	7.20E-07	1.64E-05	2.92E-06	6.87E-07	3.06E-06	2.04E-09	1.13E-07
E2	2.88E-09	4.61E-07	3.13E-06	1.70E-06	3.75E-07	1.96E-06	1.12E-09	6.23E-08
E3	3.85E-09	6.20E-07	1.04E-05	2.69E-06	6.56E-07	2.65E-06	1.94E-09	1.08E-07
E4	2.98E-09	4.81E-07	7.35E-06	1.83E-06	4.14E-07	2.03E-06	1.23E-09	6.87E-08
E5	2.42E-09	3.89E-07	5.48E-06	1.46E-06	3.29E-07	1.64E-06	9.87E-10	5.47E-08
E6	2.23E-09	3.60E-07	4.90E-06	1.36E-06	3.04E-07	1.52E-06	9.13E-10	5.07E-08
E7	6.77E-10	1.09E-07	1.17E-06	4.07E-07	9.15E-08	4.60E-07	2.73E-10	1.51E-08
E8	1.85E-09	2.99E-07	3.94E-06	1.13E-06	2.54E-07	1.26E-06	7.60E-10	4.23E-08
H1	4.43E-09	7.10E-07	6.12E-06	2.55E-06	5.63E-07	3.00E-06	1.69E-09	9.37E-08
MR1	1.17E-09	1.88E-07	2.13E-06	7.17E-07	1.62E-07	7.93E-07	4.83E-10	2.68E-08

Récepteur	Hg	Mn sol	Mn vx	Ni	Pb	Sb	V	Zn
R1	2.32E-05	2.43E-07	2.18E-07	1.03E-05	3.87E-06	2.98E-05	5.29E-05	3.31E-06
R2	9.39E-06	1.33E-07	1.19E-07	6.63E-06	1.68E-06	2.06E-05	3.12E-05	1.39E-06
R3	9.25E-06	1.41E-07	1.26E-07	7.30E-06	1.68E-06	2.28E-05	3.36E-05	1.37E-06
R4	1.77E-05	2.72E-07	2.43E-07	1.40E-05	3.24E-06	4.36E-05	6.44E-05	2.64E-06
R5	1.04E-05	1.86E-07	1.66E-07	1.02E-05	1.97E-06	3.24E-05	4.54E-05	1.57E-06
R6	2.54E-06	4.54E-08	4.06E-08	2.48E-06	4.83E-07	7.88E-06	1.11E-05	3.86E-07
R7	4.25E-06	8.07E-08	7.21E-08	4.49E-06	8.22E-07	1.44E-05	1.99E-05	6.53E-07
R8	2.42E-06	4.54E-08	4.06E-08	2.52E-06	4.68E-07	8.11E-06	1.12E-05	3.71E-07
R9	5.69E-06	9.72E-08	8.71E-08	5.23E-06	1.07E-06	1.65E-05	2.36E-05	8.60E-07
R10	6.34E-06	1.03E-07	9.21E-08	5.44E-06	1.17E-06	1.71E-05	2.47E-05	9.50E-07
R11	6.69E-06	1.18E-07	1.06E-07	6.42E-06	1.27E-06	2.05E-05	2.89E-05	1.01E-06
E1	3.37E-06	6.02E-08	0.00E+00	3.09E-06	6.46E-07	8.98E-06	2.90E-06	2.49E-07
E2	1.84E-06	3.70E-08	0.00E+00	1.97E-06	3.63E-07	5.80E-06	1.81E-06	1.38E-07
E3	3.23E-06	5.37E-08	0.00E+00	2.69E-06	6.03E-07	7.75E-06	2.56E-06	2.36E-07
E4	2.03E-06	3.89E-08	0.00E+00	2.05E-06	3.97E-07	5.98E-06	1.90E-06	1.52E-07
E5	1.62E-06	3.13E-08	0.00E+00	1.65E-06	3.17E-07	4.85E-06	1.52E-06	1.21E-07
E6	1.50E-06	2.89E-08	0.00E+00	1.53E-06	2.94E-07	4.50E-06	1.42E-06	1.12E-07
E7	4.50E-07	8.76E-09	0.00E+00	4.65E-07	8.80E-08	1.36E-06	4.29E-07	3.37E-08
E8	1.25E-06	2.41E-08	0.00E+00	1.28E-06	2.44E-07	3.73E-06	1.18E-06	9.33E-08
H1	2.77E-06	5.65E-08	0.00E+00	3.02E-06	5.49E-07	8.90E-06	2.77E-06	2.09E-07
MR1	8.00E-07	1.53E-08	0.00E+00	8.05E-07	1.55E-07	2.35E-06	7.43E-07	5.93E-08

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 179

Quotient de danger par organe cible - enfant

Récepteur	QD Système cutané	QD Système rénal	QD Système respiratoire	QD Système nerveux	QD Système sanguin	QD Effets sur le développement	QD Système hépatique	QD système cardio-vasculaire	QD sommé
R1	1.84E-04	4.42E-04	3.37E-04	7.87E-04	1.05E-04	3.06E-04	3.28E-04	1.14E-04	2.23E-03
R2	8.53E-05	2.09E-04	2.31E-04	4.55E-04	5.49E-05	1.74E-04	2.27E-04	7.58E-05	1.26E-03
R3	8.66E-05	2.14E-04	2.54E-04	1.17E-03	5.75E-05	1.86E-04	2.51E-04	8.29E-05	2.03E-03
R4	1.65E-04	4.10E-04	4.88E-04	1.25E-03	1.10E-04	3.56E-04	4.81E-04	1.59E-04	2.91E-03
R5	1.05E-04	2.62E-04	3.61E-04	1.20E-04	7.43E-05	2.47E-04	3.57E-04	1.17E-04	1.26E-03
R6	2.57E-05	6.41E-05	8.78E-05	5.12E-05	1.81E-05	6.04E-05	8.69E-05	2.85E-05	3.30E-04
R7	4.40E-05	1.11E-04	1.60E-04	1.00E-04	3.20E-05	1.08E-04	1.58E-04	5.17E-05	5.97E-04
R8	2.50E-05	6.30E-05	9.01E-05	6.32E-05	1.81E-05	6.06E-05	8.93E-05	2.90E-05	3.44E-04
R9	5.64E-05	1.40E-04	1.84E-04	2.66E-04	3.91E-05	1.28E-04	1.82E-04	5.99E-05	8.62E-04
R10	6.11E-05	1.51E-04	1.91E-04	2.04E-04	4.17E-05	1.36E-04	1.89E-04	6.23E-05	8.33E-04
R11	6.71E-05	1.68E-04	2.29E-04	1.50E-04	4.75E-05	1.58E-04	2.26E-04	7.43E-05	8.78E-04
E1	3.50E-05	8.60E-05	1.09E-04	1.98E-04	1.94E-05	4.26E-05	1.08E-04	3.66E-05	5.19E-04
E2	2.04E-05	5.02E-05	7.02E-05	3.79E-05	1.16E-05	2.62E-05	6.95E-05	2.34E-05	2.36E-04
E3	3.23E-05	7.89E-05	9.41E-05	1.25E-04	1.75E-05	3.79E-05	9.29E-05	3.18E-05	4.10E-04
E4	2.20E-05	5.40E-05	7.26E-05	8.87E-05	1.23E-05	2.75E-05	7.19E-05	2.44E-05	2.97E-04
E5	1.76E-05	4.32E-05	5.87E-05	6.62E-05	9.92E-06	2.21E-05	5.80E-05	1.96E-05	2.33E-04
E6	1.63E-05	4.01E-05	5.46E-05	5.91E-05	9.21E-06	2.06E-05	5.40E-05	1.83E-05	2.15E-04
E7	4.87E-06	1.21E-05	1.65E-05	1.42E-05	2.77E-06	6.20E-06	1.63E-05	5.52E-06	6.11E-05
E8	1.35E-05	3.34E-05	4.53E-05	4.76E-05	7.61E-06	1.70E-05	4.48E-05	1.51E-05	1.77E-04
H1	3.06E-05	7.62E-05	1.08E-04	7.42E-05	1.76E-05	3.98E-05	1.07E-04	3.61E-05	3.76E-04
MR1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Quotient de danger par organe cible - adulte

Récepteur	QD Système cutané	QD Système rénal	QD Système respiratoire	QD Système nerveux	QD Système sanguin	QD Effets sur le développement	QD Système hépatique	QD système cardio-vasculaire	QD sommé
R1	1.57E-05	3.98E-05	3.05E-05	6.57E-05	1.29E-05	5.68E-05	2.98E-05	9.46E-06	2.27E-04
R2	7.26E-06	1.86E-05	2.09E-05	3.80E-05	7.03E-06	3.29E-05	2.06E-05	6.32E-06	1.29E-04
R3	7.36E-06	1.91E-05	2.31E-05	9.75E-05	7.43E-06	3.53E-05	2.28E-05	6.94E-06	1.95E-04
R4	1.41E-05	3.65E-05	4.42E-05	1.05E-04	1.43E-05	6.76E-05	4.36E-05	1.33E-05	2.91E-04
R5	8.94E-06	2.34E-05	3.27E-05	1.01E-05	9.78E-06	4.74E-05	3.24E-05	9.75E-06	1.40E-04
R6	2.18E-06	5.71E-06	7.96E-06	4.29E-06	2.39E-06	1.16E-05	7.89E-06	2.38E-06	3.60E-05
R7	3.73E-06	9.89E-06	1.45E-05	8.39E-06	4.25E-06	2.07E-05	1.44E-05	4.32E-06	6.50E-05
R8	2.13E-06	5.60E-06	8.19E-06	5.30E-06	2.40E-06	1.17E-05	8.12E-06	2.43E-06	3.72E-05
R9	4.79E-06	1.25E-05	1.67E-05	2.23E-05	5.11E-06	2.47E-05	1.65E-05	5.01E-06	9.00E-05
R10	5.20E-06	1.35E-05	1.73E-05	1.71E-05	5.43E-06	2.59E-05	1.71E-05	5.21E-06	8.85E-05
R11	5.72E-06	1.49E-05	2.07E-05	1.26E-05	6.24E-06	3.02E-05	2.05E-05	6.19E-06	9.53E-05
E1	2.92E-06	7.15E-06	9.09E-06	1.65E-05	1.62E-06	3.55E-06	8.99E-06	3.06E-06	4.32E-05
E2	1.70E-06	4.19E-06	5.86E-06	3.17E-06	9.62E-07	2.17E-06	5.80E-06	1.96E-06	1.97E-05
E3	2.69E-06	6.58E-06	7.86E-06	1.05E-05	1.46E-06	3.16E-06	7.76E-06	2.65E-06	3.43E-05
E4	1.83E-06	4.49E-06	6.05E-06	7.39E-06	1.03E-06	2.30E-06	5.98E-06	2.03E-06	2.47E-05
E5	1.46E-06	3.60E-06	4.90E-06	5.51E-06	8.27E-07	1.84E-06	4.85E-06	1.64E-06	1.95E-05
E6	1.36E-06	3.33E-06	4.55E-06	4.93E-06	7.66E-07	1.71E-06	4.50E-06	1.52E-06	1.79E-05
E7	4.07E-07	1.01E-06	1.38E-06	1.18E-06	2.31E-07	5.17E-07	1.36E-06	4.60E-07	5.09E-06
E8	1.13E-06	2.78E-06	3.77E-06	3.96E-06	6.36E-07	1.42E-06	3.73E-06	1.26E-06	1.47E-05
H1	2.55E-06	6.35E-06	8.99E-06	6.18E-06	1.47E-06	3.32E-06	8.91E-06	3.00E-06	3.13E-05
MR1	7.17E-07	1.77E-06	2.38E-06	2.15E-06	4.02E-07	8.98E-07	2.35E-06	7.93E-07	8.95E-06

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 180

Excès de risque individuel – enfant

Récepteur	Benzo(a)Pyrene	Acenaphtène	Naphtalène	As	Pb	ERIsomme enfant
R1	1.79E-08	7.28E-12	4.65E-10	7.11E-09	1.14E-10	2.56E-08
R2	9.64E-09	5.05E-12	3.22E-10	3.29E-09	4.96E-11	1.33E-08
R3	1.00E-08	5.58E-12	3.56E-10	3.34E-09	4.96E-11	1.38E-08
R4	1.93E-08	1.07E-11	6.84E-10	6.39E-09	9.56E-11	2.65E-08
R5	1.31E-08	7.93E-12	5.07E-10	4.06E-09	5.82E-11	1.77E-08
R6	3.21E-09	1.93E-12	1.23E-10	9.92E-10	1.42E-11	4.34E-09
R7	5.50E-09	3.53E-12	2.25E-10	1.69E-09	2.42E-11	7.44E-09
R8	3.16E-09	1.98E-12	1.26E-10	9.65E-10	1.39E-11	4.27E-09
R9	6.85E-09	4.05E-12	2.59E-10	2.18E-09	3.15E-11	9.32E-09
R10	7.37E-09	4.20E-12	2.69E-10	2.36E-09	3.46E-11	1.00E-08
R11	8.44E-09	5.02E-12	3.22E-10	2.60E-09	3.74E-11	1.14E-08
E1	4.17E-09	2.01E-12	1.08E-10	1.35E-09	1.97E-11	5.65E-09
E2	2.52E-09	1.30E-12	6.93E-11	7.86E-10	1.11E-11	3.39E-09
E3	3.69E-09	1.74E-12	9.34E-11	1.25E-09	1.84E-11	5.05E-09
E4	2.67E-09	1.34E-12	7.21E-11	8.48E-10	1.22E-11	3.60E-09
E5	2.15E-09	1.09E-12	5.84E-11	6.78E-10	9.69E-12	2.90E-09
E6	1.99E-09	1.01E-12	5.41E-11	6.29E-10	9.01E-12	2.68E-09
E7	5.95E-10	3.05E-13	1.64E-11	1.88E-10	2.69E-12	8.02E-10
E8	1.66E-09	8.32E-13	4.48E-11	5.22E-10	7.46E-12	2.24E-09
H1	3.77E-09	1.99E-12	1.07E-10	1.18E-09	1.67E-11	5.08E-09
MR1	-	-	-	-	-	-

Excès de risque individuel – adulte

Récepteur	Benzo(a)Pyrene	Acenaphtène	Naphtalène	As	Pb	ERIsomme adulte
R1	8.04E-09	4.60E-12	3.58E-10	3.02E-09	4.93E-11	1.15E-08
R2	4.33E-09	3.19E-12	2.47E-10	1.40E-09	2.14E-11	6.00E-09
R3	4.49E-09	3.53E-12	2.74E-10	1.42E-09	2.14E-11	6.21E-09
R4	8.60E-09	6.77E-12	5.26E-10	2.71E-09	4.12E-11	1.19E-08
R5	5.86E-09	5.01E-12	3.90E-10	1.73E-09	2.52E-11	8.01E-09
R6	1.44E-09	1.22E-12	9.50E-11	4.22E-10	6.15E-12	1.96E-09
R7	2.47E-09	2.23E-12	1.73E-10	7.19E-10	1.04E-11	3.37E-09
R8	1.41E-09	1.25E-12	9.72E-11	4.10E-10	5.97E-12	1.92E-09
R9	3.07E-09	2.56E-12	1.99E-10	9.21E-10	1.36E-11	4.21E-09
R10	3.30E-09	2.66E-12	2.07E-10	1.00E-09	1.50E-11	4.52E-09
R11	3.78E-09	3.17E-12	2.47E-10	1.10E-09	1.62E-11	5.15E-09
E1	1.74E-09	8.40E-13	4.51E-11	5.64E-10	8.22E-12	2.36E-09
E2	1.05E-09	5.42E-13	2.88E-11	3.27E-10	4.64E-12	1.41E-09
E3	1.54E-09	7.23E-13	3.89E-11	5.19E-10	7.69E-12	2.11E-09
E4	1.12E-09	5.61E-13	3.01E-11	3.53E-10	5.06E-12	1.51E-09
E5	8.98E-10	4.53E-13	2.43E-11	2.82E-10	4.03E-12	1.21E-09
E6	8.32E-10	4.20E-13	2.26E-11	2.61E-10	3.75E-12	1.12E-09
E7	2.48E-10	1.27E-13	6.82E-12	7.85E-11	1.12E-12	3.35E-10
E8	6.91E-10	3.48E-13	1.87E-11	2.18E-10	3.11E-12	9.31E-10
H1	1.57E-09	8.32E-13	4.45E-11	4.92E-10	6.99E-12	2.11E-09
MR1	4.33E-10	2.20E-13	1.18E-11	1.38E-10	1.98E-12	5.85E-10

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099

RBO – CLD – OL

05/05/2011

Page : 181

Excès de risque individuel – vie entière

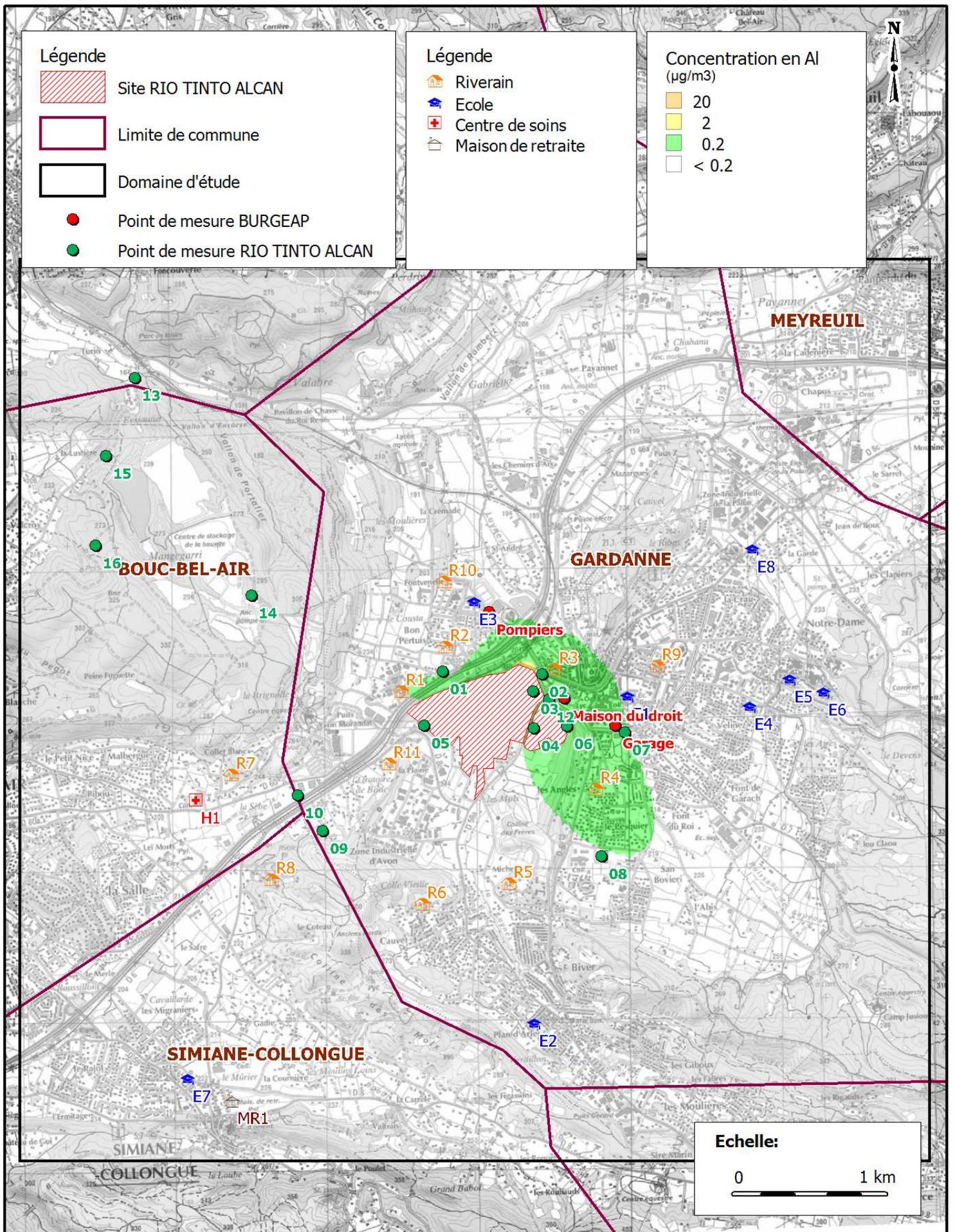
Récepteur	Benzo(a)Pyrene	Acenaphtène	Naphtalène	As	Pb	ERIsomme vie entière
R1	2.44E-08	1.09E-11	7.51E-10	9.53E-09	1.54E-10	3.48E-08
R2	1.31E-08	7.61E-12	5.20E-10	4.40E-09	6.67E-11	1.81E-08
R3	1.36E-08	8.40E-12	5.75E-10	4.48E-09	6.67E-11	1.87E-08
R4	2.61E-08	1.61E-11	1.11E-09	8.56E-09	1.29E-10	3.59E-08
R5	1.77E-08	1.20E-11	8.20E-10	5.43E-09	7.83E-11	2.40E-08
R6	4.35E-09	2.90E-12	1.99E-10	1.33E-09	1.91E-11	5.90E-09
R7	7.48E-09	5.31E-12	3.63E-10	2.26E-09	3.26E-11	1.01E-08
R8	4.29E-09	2.99E-12	2.04E-10	1.29E-09	1.86E-11	5.81E-09
R9	9.29E-09	6.10E-12	4.18E-10	2.90E-09	4.24E-11	1.27E-08
R10	9.97E-09	6.33E-12	4.34E-10	3.16E-09	4.66E-11	1.36E-08
R11	1.14E-08	7.56E-12	5.20E-10	3.48E-09	5.03E-11	1.55E-08
E1	-	-	-	-	-	-
E2	-	-	-	-	-	-
E3	-	-	-	-	-	-
E4	-	-	-	-	-	-
E5	-	-	-	-	-	-
E6	-	-	-	-	-	-
E7	-	-	-	-	-	-
E8	-	-	-	-	-	-
H1	-	-	-	-	-	-
MR1	-	-	-	-	-	-

- Annexe 8 - Principales cartes de résultats

Cette annexe contient 7 pages



RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 183



Légende

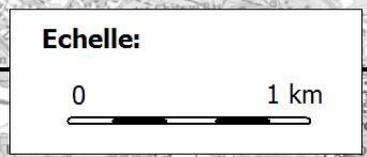
- Site RIO TINTO ALCAN
- Limite de commune
- Domaine d'étude
- Point de mesure BURGEAP
- Point de mesure RIO TINTO ALCAN

Légende

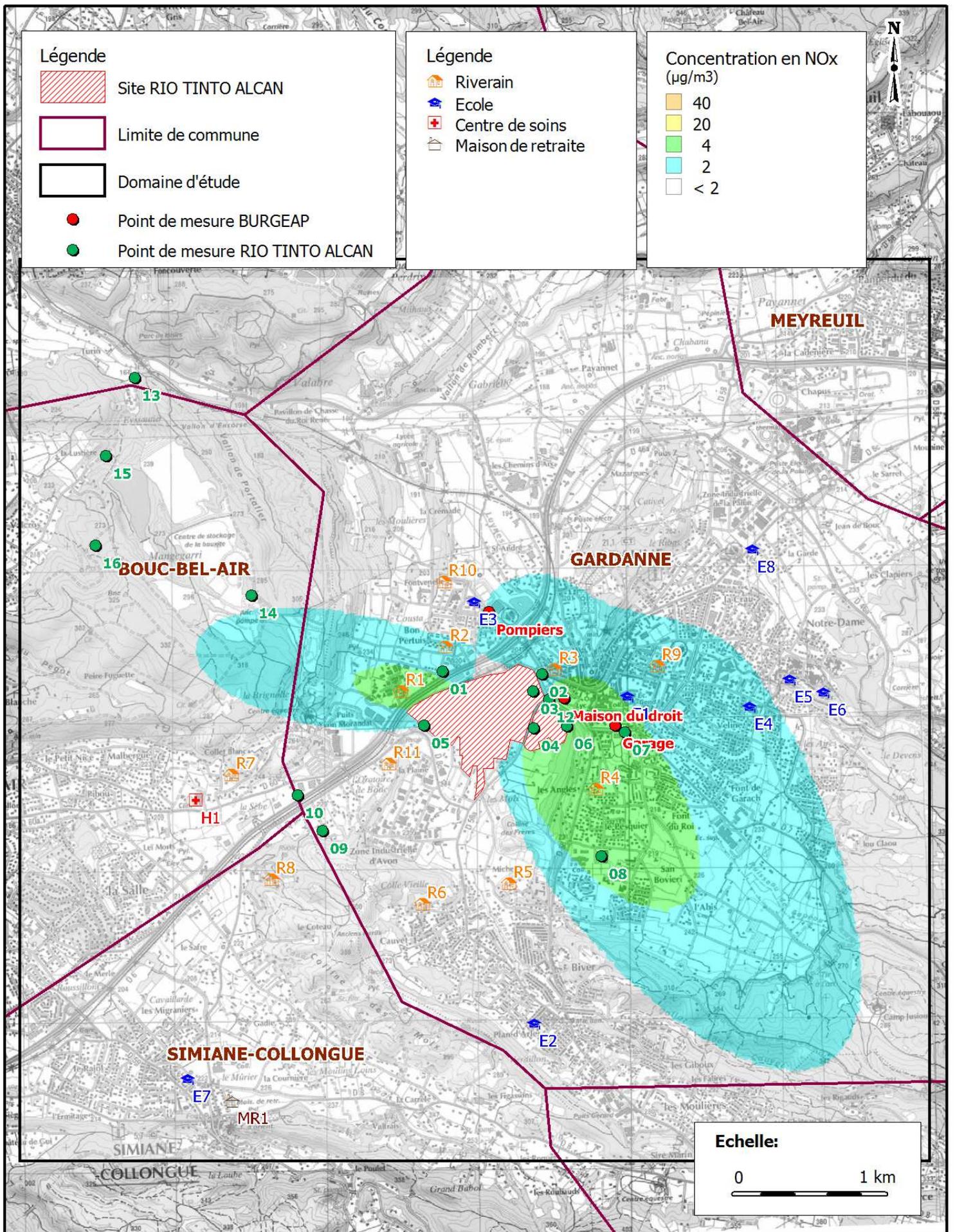
- Riverain
- Ecole
- Centre de soins
- Maison de retraite

Concentration en Al (µg/m3)

- 20
- 2
- 0.2
- < 0.2



	RIO TINTO ALCAN (Gardanne - 13)	RACISE00067 CACISE110099	Bâtiment 6, Parc de la Bastide Blanche 13127 VITROLLES FRANCE Tél : (33-4) 42 77 05 15 Fax : (33-4) 42 31 41 23
	Concentration moyenne annuelle en Al		



Légende

- Site RIO TINTO ALCAN
- Limite de commune
- Domaine d'étude
- Point de mesure BURGEAP
- Point de mesure RIO TINTO ALCAN

Légende

- Riverain
- Ecole
- Centre de soins
- Maison de retraite

Concentration en NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- 40
- 20
- 4
- 2
- <math>< 2</math>



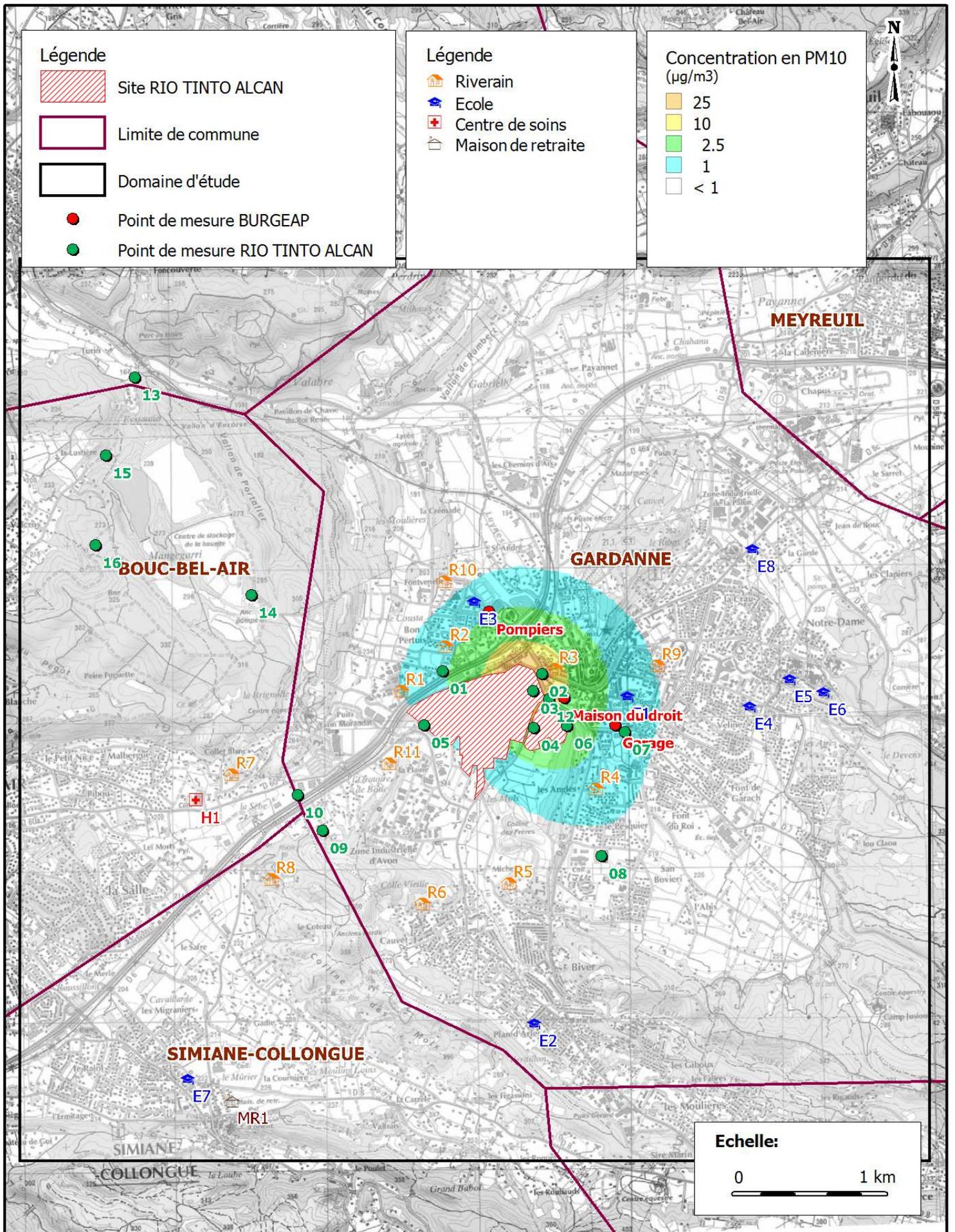
RIO TINTO ALCAN (Gardanne - 13)

RACISE00067
CACISE110099

Concentration moyenne annuelle en NOx

Echelle:
0 1 km

Bâtiment 6, Parc de la Bastide Blanche
13127 VITROLLES
FRANCE
Tél : (33-4) 42 77 05 15
Fax : (33-4) 42 31 41 23

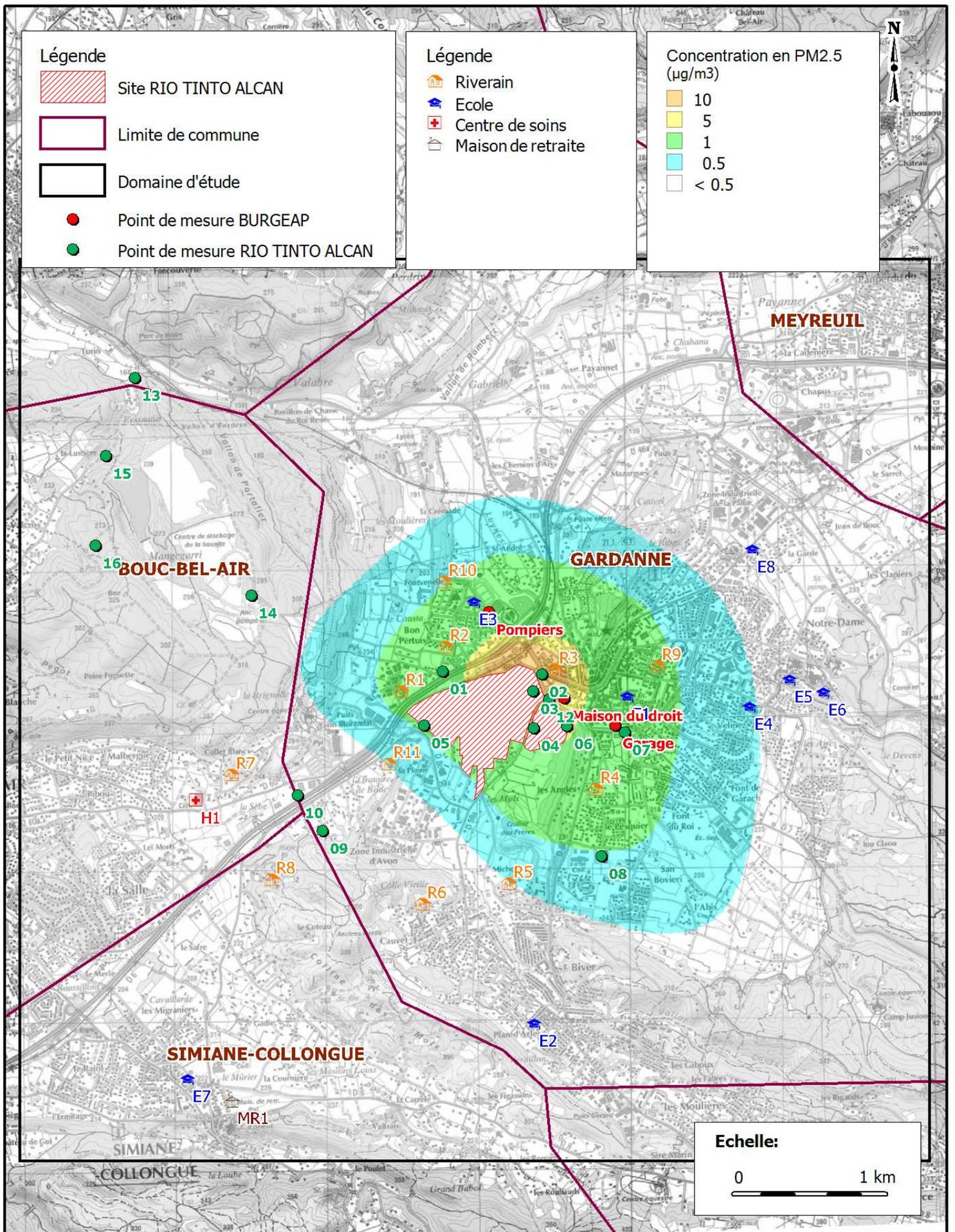


RIO TINTO ALCAN (Gardanne - 13)

RACISE00067
CACISE110099

Concentration moyenne annuelle en PM10

Bâtiment 6, Parc de la Bastide Blanche
13127 VITROLLES
FRANCE
Tél : (33-4) 42 77 05 15
Fax : (33-4) 42 31 41 23



Légende

- Site RIO TINTO ALCAN
- Limite de commune
- Domaine d'étude
- Point de mesure BURGEAP
- Point de mesure RIO TINTO ALCAN

Légende

- Riverain
- Ecole
- Centre de soins
- Maison de retraite

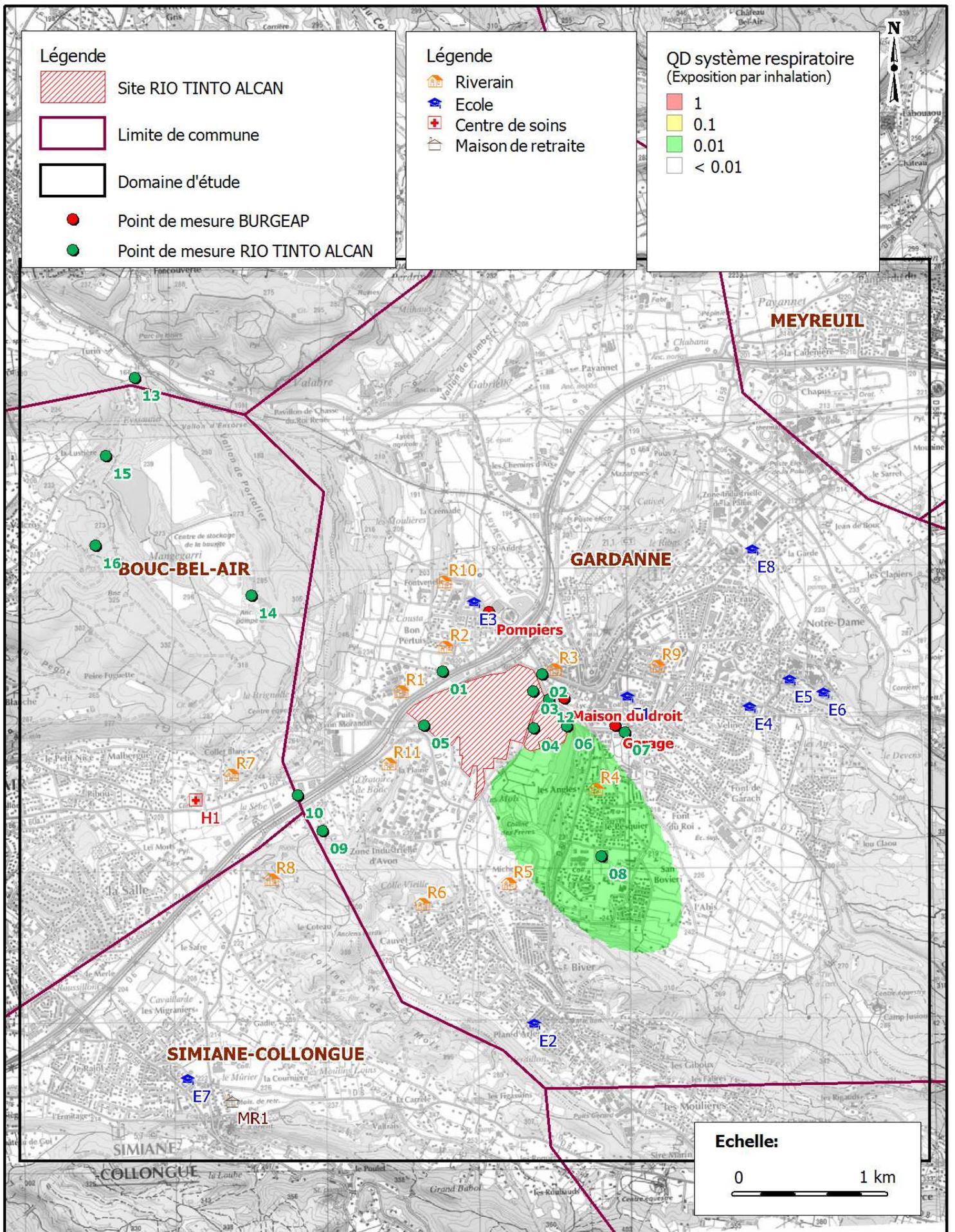
Concentration en PM2.5 (µg/m3)

- 10
- 5
- 1
- 0.5
- < 0.5

Echelle:

0 ————— 1 km

	RIO TINTO ALCAN (Gardanne - 13)	RACISE00067 CACISE110099	Bâtiment 6, Parc de la Bastide Blanche 13127 VITROLLES FRANCE Tél : (33-4) 42 77 05 15 Fax : (33-4) 42 31 41 23
	Concentration moyenne annuelle en PM2.5		



Légende

- Site RIO TINTO ALCAN
- Limite de commune
- Domaine d'étude
- Point de mesure BURGEAP
- Point de mesure RIO TINTO ALCAN

Légende

- Riverain
- Ecole
- Centre de soins
- Maison de retraite

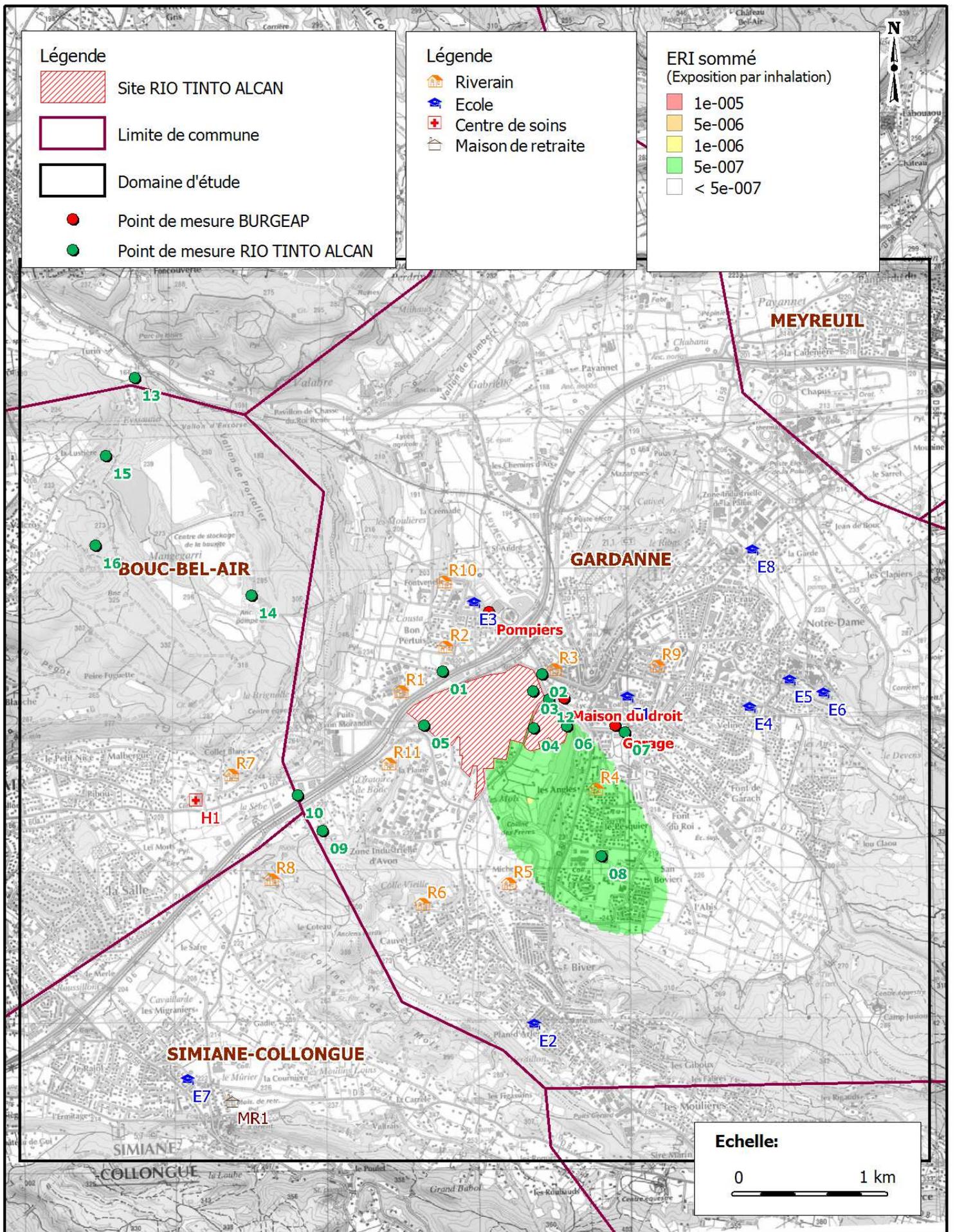
QD système respiratoire (Exposition par inhalation)

- 1
- 0.1
- 0.01
- < 0.01

Echelle:

0 ————— 1 km

	RIO TINTO ALCAN (Gardanne - 13)	RACISE00067 CACISE110099	Bâtiment 6, Parc de la Bastide Blanche 13127 VITROLLES FRANCE Tél : (33-4) 42 77 05 15 Fax : (33-4) 42 31 41 23
	QD système respiratoire Exposition par inhalation		



Légende

- Site RIO TINTO ALCAN
- Limite de commune
- Domaine d'étude
- Point de mesure BURGEAP
- Point de mesure RIO TINTO ALCAN

Légende

- Riverain
- Ecole
- Centre de soins
- Maison de retraite

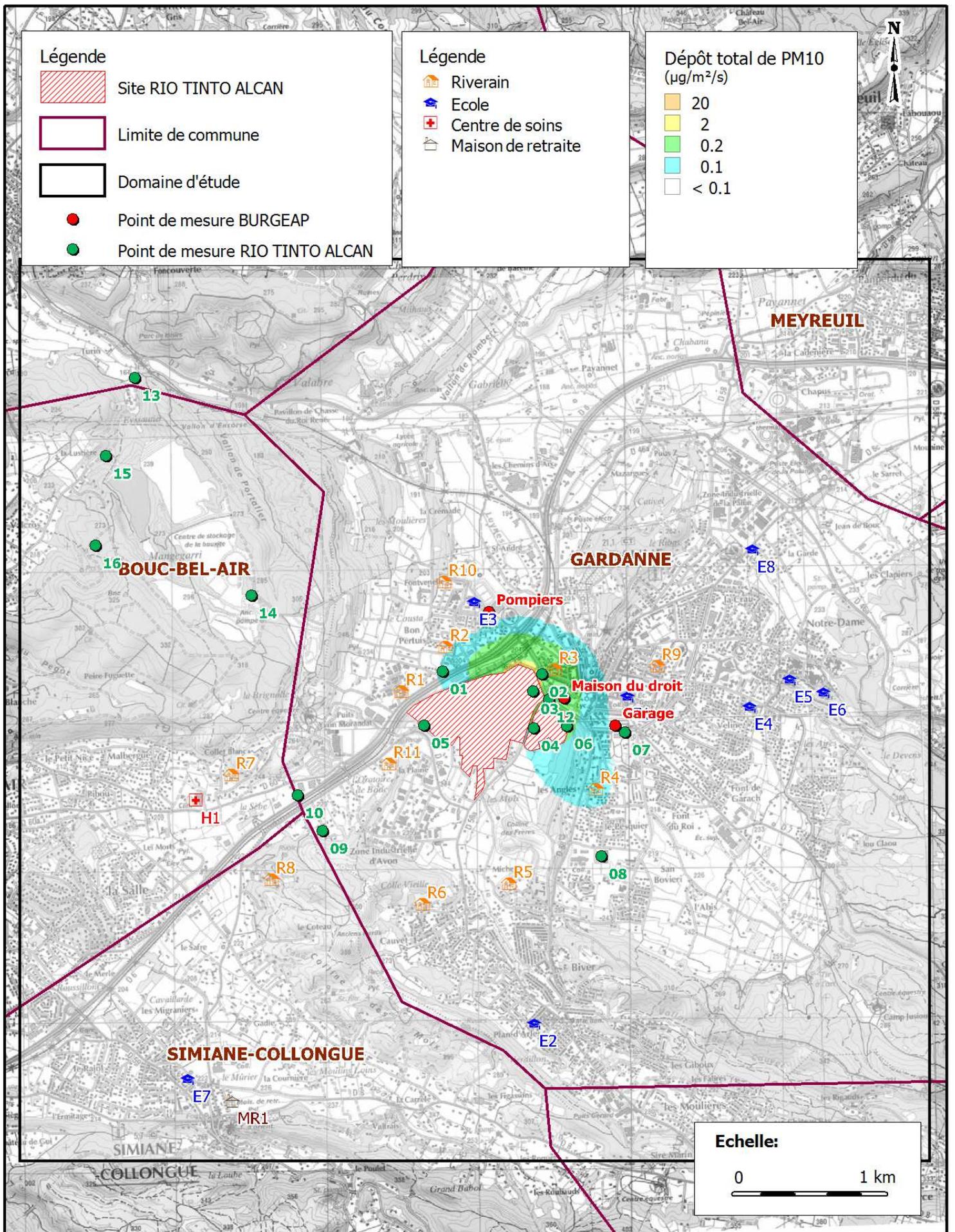
ERI sommé
(Exposition par inhalation)

- 1e-005
- 5e-006
- 1e-006
- 5e-007
- < 5e-007

Echelle:

0 ————— 1 km

	RIO TINTO ALCAN (Gardanne - 13)	RACISE00067 CACISE110099	Bâtiment 6, Parc de la Bastide Blanche 13127 VITROLLES FRANCE Tél : (33-4) 42 77 05 15 Fax : (33-4) 42 31 41 23
	Excès de risque individuel sommé Exposition par inhalation		



Légende

- Site RIO TINTO ALCAN
- Limite de commune
- Domaine d'étude
- Point de mesure BURGEAP
- Point de mesure RIO TINTO ALCAN

Légende

- Riverain
- Ecole
- Centre de soins
- Maison de retraite

Dépôt total de PM10 (µg/m²/s)

- 20
- 2
- 0.2
- 0.1
- < 0.1

Echelle:

0 ————— 1 km

	RIO TINTO ALCAN (Gardanne - 13)	RACISE00067 CACISE110099	Bâtiment 6, Parc de la Bastide Blanche 13127 VITROLLES FRANCE Tél : (33-4) 42 77 05 15 Fax : (33-4) 42 31 41 23
	Dépôt moyen annuel total en PM10		

- Annexe 9 - Signification des principales abréviations

Cette annexe contient 3 pages



RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 191

A

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, USA

ADI : Acceptable Daily Intake – USEPA

AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

ATSDR Toxicological Profiles : US Agency for Toxic Substances and Disease Registry

C

CI : Concentration inhalée

CIRC : Centre international de recherche contre le cancer

CITEPA : Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique

CMA : Concentrations maximales autorisées

COV : Composés organiques volatiles

COVNM : Composés organiques non méthaniques

CSHSP : Conseil supérieur d'Hygiène et de santé publique

D

DJE : Dose journalière d'exposition en mg/kg/j

DJT : Dose journalière tolérable exprimée en mg/kg/j

E

EPA : Environmental Protection Agency

ERC : Excès de Risque Collectif

ERI : Excès de Risque Individuel, probabilité d'apparition d'un excès de cancer pour un individu exposé à une dose ou une concentration de substance, durant sa vie entière

ERU : Excès de Risque Unitaire

ERUi : Excès de Risque Unitaire par Inhalation, correspond à la probabilité d'excès de risque cancer pour une exposition vie entière à une concentration standard de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans l'air ambiant

ERUo : Excès de risque unitaire par ingestion, ou probabilité d'excès de risque pour l'absorption par ingestion d'une dose exprimée en mg/kg/jour ou en $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$, durant vie entière, soit 70 ans

G

GV : Guide value (valeur guide)

I

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

InVS : Institut de Veille Sanitaire, France

IR : Indice de risque

IRIS US-EPA : Integrated Risk Information System ; US Environmental Protecting Agency

RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 192

J

JECFA : Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, comité mixte d'experts OMS et ONU relatif aux additifs alimentaires et par extension aux apports de substances par cette voie

L

LOAEC : Lowest Observed Adverse Effect Critic

LOAEL : Lowest Observed Adverse Effect Level, plus petit effet toxique observé, correspond en français à DMENO, dose minimale pour laquelle un effet nocif est observé

LOEL : Lowest observed effect level

M

MRL : Minimal Risk Level, terminologie de l'ATSDR, comprenant les MRL or. relatifs à l'exposition par voie orale et les MRL inh. Relatifs à l'exposition par voie respiratoire, avec 3 durées d'exposition possibles : acute (ac) : 1-14 jours, intermediate (int) : 15-364 jours et chronic (ch) : 365 jours et plus

N

NOAEL : No Observed Adverse Effect Level, niveau de concentration d'un polluant ou dose expérimentale n'ayant pas entraîné d'effet nocif ou adverse, correspond en français à DSENO

NOEC : No Observed Effects Concentration

NOEL : No Observed Effect Level

O

OMS : Organisation Mondiale pour la Santé

Q

QD : Quotient de danger

R

RfC : Reference Concentration, terminologie de US-EPA, estimation de l'exposition continue par inhalation qui ne présente pas de risque appréciable d'effets néfastes durant une vie entière ; elle est exprimée en masse de substance par m³ inhalé

RfD : Reference Dose, terminologie de US-EPA, dose exprimée en mg/kg/jour et correspondant à une absence d'effets nocifs, sur toute la durée de vie, y compris pour les populations sensibles et qui est relative à l'exposition par ingestion

S

Sfo : Oral Slope Factor

T

TDI : Tolerable Daily Intake –RIVM

TERA : Société sans but lucratif, pour le meilleur usage des données toxicologiques, USA

TLV-TWA : Threshold Limit Value-Time Weighted Average, concentration sans effet sur la santé pour une exposition répétée 8 heures par jour, 40 heures par semaine

TRD : Total Resorbierte Dosis – UBA Umweltbundesamt

U

UE : Union Européenne

US EPA : United States Environmental Protection Agency, agence nationale de protection de l'environnement,

V

VLEP : Valeur Limite d'exposition professionnelle

VTR : Valeur Toxicologique de Référence, valeur exprimée en dose journalière ou en concentration dans l'air ambiant qui matérialise une relation dose-effet dans le cas d'une exposition par l'environnement ; les VTR sont établies par diverses instances nationales ou internationales



- Annexe 10 - Prise en compte des facteurs d'émission issus de l'AP42

Cette annexe contient 2 pages



RACISE00067-b – A18687 – CACISE110099	
RBO – CLD – OL	
05/05/2011	Page : 195

Si aucune donnée n'est disponible, il peut être réalisé une spéciation à partir des données fournies par l'AP42 dans son document « AP 42, fifth edition, volume 1 – Chapter 1 : External Combustion Sources »¹ qui présente, dans les paragraphes 1.3 (Fuel Oil Combustion) et 1.4 (Natural Gas Combustion), des facteurs d'émission propres à chaque métal et chaque COV. Ces facteurs d'émission sont présentés ci-dessous :

	Fuel	Gaz Naturel																																																																																																																																																																																						
COV	<p>Table 1.3-9. EMISSION FACTORS FOR SPECIATED ORGANIC COMPOUNDS FROM FUEL OIL COMBUSTION^a</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Organic Compound</th> <th>Average Emission Factor^a (lb/10³ Gal)</th> <th>EMISSION FACTOR RATING</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Benzene</td><td>2.14E-04</td><td>C</td></tr> <tr><td>Ethylbenzene</td><td>6.36E-05^c</td><td>E</td></tr> <tr><td>Formaldehyde^d</td><td>3.30E-02</td><td>C</td></tr> <tr><td>Naphthalene</td><td>1.13E-03</td><td>C</td></tr> <tr><td>1,1,1-Trichloroethane</td><td>2.36E-04^e</td><td>E</td></tr> <tr><td>Toluene</td><td>6.20E-03</td><td>D</td></tr> <tr><td>o-Xylene</td><td>1.09E-04^e</td><td>E</td></tr> <tr><td>Acenaphthene</td><td>2.11E-05</td><td>C</td></tr> <tr><td>Acenaphthylene</td><td>2.53E-07</td><td>D</td></tr> <tr><td>Anthracene</td><td>1.22E-06</td><td>C</td></tr> <tr><td>Benz(a)anthracene</td><td>4.01E-06</td><td>C</td></tr> <tr><td>Benzo(b,k)fluoranthene</td><td>1.48E-06</td><td>C</td></tr> <tr><td>Benzo(e,h,i)perylene</td><td>2.26E-06</td><td>C</td></tr> <tr><td>Chrysene</td><td>2.38E-06</td><td>C</td></tr> <tr><td>Dibenzo(a,h)anthracene</td><td>1.67E-06</td><td>D</td></tr> <tr><td>Fluoranthene</td><td>4.84E-06</td><td>C</td></tr> <tr><td>Fluorene</td><td>4.47E-06</td><td>C</td></tr> <tr><td>Indo(1,2,3-cd)pyrene</td><td>2.14E-06</td><td>C</td></tr> <tr><td>Phenanthrene</td><td>1.05E-05</td><td>C</td></tr> <tr><td>Pyrene</td><td>4.25E-06</td><td>C</td></tr> <tr><td>OCDD</td><td>3.10E-09^e</td><td>E</td></tr> </tbody> </table>	Organic Compound	Average Emission Factor ^a (lb/10 ³ Gal)	EMISSION FACTOR RATING	Benzene	2.14E-04	C	Ethylbenzene	6.36E-05 ^c	E	Formaldehyde ^d	3.30E-02	C	Naphthalene	1.13E-03	C	1,1,1-Trichloroethane	2.36E-04 ^e	E	Toluene	6.20E-03	D	o-Xylene	1.09E-04 ^e	E	Acenaphthene	2.11E-05	C	Acenaphthylene	2.53E-07	D	Anthracene	1.22E-06	C	Benz(a)anthracene	4.01E-06	C	Benzo(b,k)fluoranthene	1.48E-06	C	Benzo(e,h,i)perylene	2.26E-06	C	Chrysene	2.38E-06	C	Dibenzo(a,h)anthracene	1.67E-06	D	Fluoranthene	4.84E-06	C	Fluorene	4.47E-06	C	Indo(1,2,3-cd)pyrene	2.14E-06	C	Phenanthrene	1.05E-05	C	Pyrene	4.25E-06	C	OCDD	3.10E-09 ^e	E	<p>TABLE 1.4-3. EMISSION FACTORS FOR SPECIATED ORGANIC COMPOUNDS FROM NATURAL GAS COMBUSTION^a</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>CAS No.</th> <th>Pollutant</th> <th>Emission Factor (lb/10⁶ scf)</th> <th>Emission Factor Rating</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>91-57-6</td><td>2-Methylnaphthalene^{b,c}</td><td>2.4E-05</td><td>D</td></tr> <tr><td>56-49-5</td><td>3-Methylchloranthrene^{b,c}</td><td><1.8E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td></td><td>7,12-Dimethylbenz(a)anthracene^{b,c}</td><td><1.6E-05</td><td>E</td></tr> <tr><td>83-32-9</td><td>Acenaphthene^{b,c}</td><td><1.8E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td>203-96-8</td><td>Acenaphthylene^{b,c}</td><td><1.8E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td>120-12-7</td><td>Anthracene^{b,c}</td><td><2.4E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td>56-55-3</td><td>Benzo(a)anthracene^{b,c}</td><td><1.8E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td>71-43-2</td><td>Benzene^b</td><td>2.1E-03</td><td>B</td></tr> <tr><td>50-32-8</td><td>Benzo(a)pyrene^{b,c}</td><td><1.2E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td>205-99-2</td><td>Benzo(b)fluoranthene^{b,c}</td><td><1.8E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td>191-24-2</td><td>Benzo(g,h,i)perylene^{b,c}</td><td><1.2E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td>205-82-3</td><td>Benzo(k)fluoranthene^{b,c}</td><td><1.8E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td>106-97-8</td><td>Butane</td><td>2.1E+00</td><td>E</td></tr> <tr><td>118-01-9</td><td>Chrysene^{b,c}</td><td><1.8E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td>53-70-3</td><td>Dibenzo(a,h)anthracene^{b,c}</td><td><1.2E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td>25321-22-6</td><td>Dichlorobenzene^b</td><td>1.2E-03</td><td>E</td></tr> <tr><td>74-84-0</td><td>Ethane</td><td>3.1E+00</td><td>E</td></tr> <tr><td>206-44-0</td><td>Fluoranthene^{b,c}</td><td>3.0E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td>86-73-7</td><td>Fluorene^{b,c}</td><td>2.8E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td>50-00-0</td><td>Formaldehyde^b</td><td>7.5E-02</td><td>B</td></tr> <tr><td>110-54-3</td><td>Hexane^b</td><td>1.8E+00</td><td>E</td></tr> <tr><td>193-39-5</td><td>Indeno(1,2,3-cd)pyrene^{b,c}</td><td><1.8E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td>91-20-3</td><td>Naphthalene^b</td><td>6.1E+04</td><td>E</td></tr> <tr><td>109-66-0</td><td>Pentane</td><td>2.6E+00</td><td>E</td></tr> <tr><td>85-01-8</td><td>Phenanthrene^{b,c}</td><td>1.7E-05</td><td>D</td></tr> <tr><td>74-98-6</td><td>Propane</td><td>1.6E+00</td><td>E</td></tr> <tr><td>129-00-0</td><td>Pyrene^{b,c}</td><td>5.0E-06</td><td>E</td></tr> <tr><td>108-88-3</td><td>Toluene^b</td><td>3.4E-03</td><td>C</td></tr> </tbody> </table>	CAS No.	Pollutant	Emission Factor (lb/10 ⁶ scf)	Emission Factor Rating	91-57-6	2-Methylnaphthalene ^{b,c}	2.4E-05	D	56-49-5	3-Methylchloranthrene ^{b,c}	<1.8E-06	E		7,12-Dimethylbenz(a)anthracene ^{b,c}	<1.6E-05	E	83-32-9	Acenaphthene ^{b,c}	<1.8E-06	E	203-96-8	Acenaphthylene ^{b,c}	<1.8E-06	E	120-12-7	Anthracene ^{b,c}	<2.4E-06	E	56-55-3	Benzo(a)anthracene ^{b,c}	<1.8E-06	E	71-43-2	Benzene ^b	2.1E-03	B	50-32-8	Benzo(a)pyrene ^{b,c}	<1.2E-06	E	205-99-2	Benzo(b)fluoranthene ^{b,c}	<1.8E-06	E	191-24-2	Benzo(g,h,i)perylene ^{b,c}	<1.2E-06	E	205-82-3	Benzo(k)fluoranthene ^{b,c}	<1.8E-06	E	106-97-8	Butane	2.1E+00	E	118-01-9	Chrysene ^{b,c}	<1.8E-06	E	53-70-3	Dibenzo(a,h)anthracene ^{b,c}	<1.2E-06	E	25321-22-6	Dichlorobenzene ^b	1.2E-03	E	74-84-0	Ethane	3.1E+00	E	206-44-0	Fluoranthene ^{b,c}	3.0E-06	E	86-73-7	Fluorene ^{b,c}	2.8E-06	E	50-00-0	Formaldehyde ^b	7.5E-02	B	110-54-3	Hexane ^b	1.8E+00	E	193-39-5	Indeno(1,2,3-cd)pyrene ^{b,c}	<1.8E-06	E	91-20-3	Naphthalene ^b	6.1E+04	E	109-66-0	Pentane	2.6E+00	E	85-01-8	Phenanthrene ^{b,c}	1.7E-05	D	74-98-6	Propane	1.6E+00	E	129-00-0	Pyrene ^{b,c}	5.0E-06	E	108-88-3	Toluene ^b	3.4E-03	C
	Organic Compound	Average Emission Factor ^a (lb/10 ³ Gal)	EMISSION FACTOR RATING																																																																																																																																																																																					
Benzene	2.14E-04	C																																																																																																																																																																																						
Ethylbenzene	6.36E-05 ^c	E																																																																																																																																																																																						
Formaldehyde ^d	3.30E-02	C																																																																																																																																																																																						
Naphthalene	1.13E-03	C																																																																																																																																																																																						
1,1,1-Trichloroethane	2.36E-04 ^e	E																																																																																																																																																																																						
Toluene	6.20E-03	D																																																																																																																																																																																						
o-Xylene	1.09E-04 ^e	E																																																																																																																																																																																						
Acenaphthene	2.11E-05	C																																																																																																																																																																																						
Acenaphthylene	2.53E-07	D																																																																																																																																																																																						
Anthracene	1.22E-06	C																																																																																																																																																																																						
Benz(a)anthracene	4.01E-06	C																																																																																																																																																																																						
Benzo(b,k)fluoranthene	1.48E-06	C																																																																																																																																																																																						
Benzo(e,h,i)perylene	2.26E-06	C																																																																																																																																																																																						
Chrysene	2.38E-06	C																																																																																																																																																																																						
Dibenzo(a,h)anthracene	1.67E-06	D																																																																																																																																																																																						
Fluoranthene	4.84E-06	C																																																																																																																																																																																						
Fluorene	4.47E-06	C																																																																																																																																																																																						
Indo(1,2,3-cd)pyrene	2.14E-06	C																																																																																																																																																																																						
Phenanthrene	1.05E-05	C																																																																																																																																																																																						
Pyrene	4.25E-06	C																																																																																																																																																																																						
OCDD	3.10E-09 ^e	E																																																																																																																																																																																						
CAS No.	Pollutant	Emission Factor (lb/10 ⁶ scf)	Emission Factor Rating																																																																																																																																																																																					
91-57-6	2-Methylnaphthalene ^{b,c}	2.4E-05	D																																																																																																																																																																																					
56-49-5	3-Methylchloranthrene ^{b,c}	<1.8E-06	E																																																																																																																																																																																					
	7,12-Dimethylbenz(a)anthracene ^{b,c}	<1.6E-05	E																																																																																																																																																																																					
83-32-9	Acenaphthene ^{b,c}	<1.8E-06	E																																																																																																																																																																																					
203-96-8	Acenaphthylene ^{b,c}	<1.8E-06	E																																																																																																																																																																																					
120-12-7	Anthracene ^{b,c}	<2.4E-06	E																																																																																																																																																																																					
56-55-3	Benzo(a)anthracene ^{b,c}	<1.8E-06	E																																																																																																																																																																																					
71-43-2	Benzene ^b	2.1E-03	B																																																																																																																																																																																					
50-32-8	Benzo(a)pyrene ^{b,c}	<1.2E-06	E																																																																																																																																																																																					
205-99-2	Benzo(b)fluoranthene ^{b,c}	<1.8E-06	E																																																																																																																																																																																					
191-24-2	Benzo(g,h,i)perylene ^{b,c}	<1.2E-06	E																																																																																																																																																																																					
205-82-3	Benzo(k)fluoranthene ^{b,c}	<1.8E-06	E																																																																																																																																																																																					
106-97-8	Butane	2.1E+00	E																																																																																																																																																																																					
118-01-9	Chrysene ^{b,c}	<1.8E-06	E																																																																																																																																																																																					
53-70-3	Dibenzo(a,h)anthracene ^{b,c}	<1.2E-06	E																																																																																																																																																																																					
25321-22-6	Dichlorobenzene ^b	1.2E-03	E																																																																																																																																																																																					
74-84-0	Ethane	3.1E+00	E																																																																																																																																																																																					
206-44-0	Fluoranthene ^{b,c}	3.0E-06	E																																																																																																																																																																																					
86-73-7	Fluorene ^{b,c}	2.8E-06	E																																																																																																																																																																																					
50-00-0	Formaldehyde ^b	7.5E-02	B																																																																																																																																																																																					
110-54-3	Hexane ^b	1.8E+00	E																																																																																																																																																																																					
193-39-5	Indeno(1,2,3-cd)pyrene ^{b,c}	<1.8E-06	E																																																																																																																																																																																					
91-20-3	Naphthalene ^b	6.1E+04	E																																																																																																																																																																																					
109-66-0	Pentane	2.6E+00	E																																																																																																																																																																																					
85-01-8	Phenanthrene ^{b,c}	1.7E-05	D																																																																																																																																																																																					
74-98-6	Propane	1.6E+00	E																																																																																																																																																																																					
129-00-0	Pyrene ^{b,c}	5.0E-06	E																																																																																																																																																																																					
108-88-3	Toluene ^b	3.4E-03	C																																																																																																																																																																																					
Métaux Lourds	<p>Table 1.3-11. EMISSION FACTORS FOR METALS FROM UNCONTROLLED NO. 6 FUEL OIL COMBUSTION^a</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Metal</th> <th>Average Emission Factor^{b,d} (lb/10³ Gal)</th> <th>EMISSION FACTOR RATING</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Antimony</td><td>5.25E-03^e</td><td>E</td></tr> <tr><td>Arsenic</td><td>1.32E-03</td><td>C</td></tr> <tr><td>Barium</td><td>2.57E-03</td><td>D</td></tr> <tr><td>Beryllium</td><td>2.78E-05</td><td>C</td></tr> <tr><td>Cadmium</td><td>3.98E-04</td><td>C</td></tr> <tr><td>Chloride</td><td>3.47E-01</td><td>D</td></tr> <tr><td>Chromium</td><td>8.45E-04</td><td>C</td></tr> <tr><td>Chromium VI</td><td>2.48E-04</td><td>C</td></tr> <tr><td>Cobalt</td><td>6.02E-03</td><td>D</td></tr> <tr><td>Copper</td><td>1.76E-03</td><td>C</td></tr> <tr><td>Fluoride</td><td>3.73E-02</td><td>D</td></tr> <tr><td>Lead</td><td>1.51E-03</td><td>C</td></tr> <tr><td>Manganese</td><td>3.00E-03</td><td>C</td></tr> <tr><td>Mercury</td><td>1.13E-04</td><td>C</td></tr> <tr><td>Molybdenum</td><td>7.87E-04</td><td>D</td></tr> <tr><td>Nickel</td><td>8.45E-02</td><td>C</td></tr> <tr><td>Phosphorous</td><td>9.46E-03</td><td>D</td></tr> <tr><td>Selenium</td><td>6.83E-04</td><td>C</td></tr> <tr><td>Vanadium</td><td>3.18E-02</td><td>D</td></tr> <tr><td>Zinc</td><td>2.91E-02</td><td>D</td></tr> </tbody> </table>	Metal	Average Emission Factor ^{b,d} (lb/10 ³ Gal)	EMISSION FACTOR RATING	Antimony	5.25E-03 ^e	E	Arsenic	1.32E-03	C	Barium	2.57E-03	D	Beryllium	2.78E-05	C	Cadmium	3.98E-04	C	Chloride	3.47E-01	D	Chromium	8.45E-04	C	Chromium VI	2.48E-04	C	Cobalt	6.02E-03	D	Copper	1.76E-03	C	Fluoride	3.73E-02	D	Lead	1.51E-03	C	Manganese	3.00E-03	C	Mercury	1.13E-04	C	Molybdenum	7.87E-04	D	Nickel	8.45E-02	C	Phosphorous	9.46E-03	D	Selenium	6.83E-04	C	Vanadium	3.18E-02	D	Zinc	2.91E-02	D	<p>TABLE 1.4-4. EMISSION FACTORS FOR METALS FROM NATURAL GAS COMBUSTION^a</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>CAS No.</th> <th>Pollutant</th> <th>Emission Factor (lb/10⁶ scf)</th> <th>Emission Factor Rating</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>7440-38-2</td><td>Arsenic^b</td><td>2.0E-04</td><td>E</td></tr> <tr><td>7440-39-3</td><td>Barium</td><td>4.4E-03</td><td>D</td></tr> <tr><td>7440-41-7</td><td>Beryllium^b</td><td><1.2E-05</td><td>E</td></tr> <tr><td>7440-43-9</td><td>Cadmium^b</td><td>1.1E-03</td><td>D</td></tr> <tr><td>7440-47-3</td><td>Chromium^b</td><td>1.4E-03</td><td>D</td></tr> <tr><td>7440-48-4</td><td>Cobalt^b</td><td>8.4E-05</td><td>D</td></tr> <tr><td>7440-50-8</td><td>Copper</td><td>8.5E-04</td><td>C</td></tr> <tr><td>7439-96-5</td><td>Manganese^b</td><td>3.8E-04</td><td>D</td></tr> <tr><td>7439-97-6</td><td>Mercury^b</td><td>2.6E-04</td><td>D</td></tr> <tr><td>7439-98-7</td><td>Molybdenum</td><td>1.1E-03</td><td>D</td></tr> <tr><td>7440-02-0</td><td>Nickel^b</td><td>2.1E-03</td><td>C</td></tr> <tr><td>7782-49-2</td><td>Selenium^b</td><td><2.4E-05</td><td>E</td></tr> <tr><td>7440-62-2</td><td>Vanadium</td><td>2.3E-03</td><td>D</td></tr> <tr><td>7440-66-6</td><td>Zinc</td><td>2.9E-02</td><td>E</td></tr> </tbody> </table>	CAS No.	Pollutant	Emission Factor (lb/10 ⁶ scf)	Emission Factor Rating	7440-38-2	Arsenic ^b	2.0E-04	E	7440-39-3	Barium	4.4E-03	D	7440-41-7	Beryllium ^b	<1.2E-05	E	7440-43-9	Cadmium ^b	1.1E-03	D	7440-47-3	Chromium ^b	1.4E-03	D	7440-48-4	Cobalt ^b	8.4E-05	D	7440-50-8	Copper	8.5E-04	C	7439-96-5	Manganese ^b	3.8E-04	D	7439-97-6	Mercury ^b	2.6E-04	D	7439-98-7	Molybdenum	1.1E-03	D	7440-02-0	Nickel ^b	2.1E-03	C	7782-49-2	Selenium ^b	<2.4E-05	E	7440-62-2	Vanadium	2.3E-03	D	7440-66-6	Zinc	2.9E-02	E																																																											
	Metal	Average Emission Factor ^{b,d} (lb/10 ³ Gal)	EMISSION FACTOR RATING																																																																																																																																																																																					
Antimony	5.25E-03 ^e	E																																																																																																																																																																																						
Arsenic	1.32E-03	C																																																																																																																																																																																						
Barium	2.57E-03	D																																																																																																																																																																																						
Beryllium	2.78E-05	C																																																																																																																																																																																						
Cadmium	3.98E-04	C																																																																																																																																																																																						
Chloride	3.47E-01	D																																																																																																																																																																																						
Chromium	8.45E-04	C																																																																																																																																																																																						
Chromium VI	2.48E-04	C																																																																																																																																																																																						
Cobalt	6.02E-03	D																																																																																																																																																																																						
Copper	1.76E-03	C																																																																																																																																																																																						
Fluoride	3.73E-02	D																																																																																																																																																																																						
Lead	1.51E-03	C																																																																																																																																																																																						
Manganese	3.00E-03	C																																																																																																																																																																																						
Mercury	1.13E-04	C																																																																																																																																																																																						
Molybdenum	7.87E-04	D																																																																																																																																																																																						
Nickel	8.45E-02	C																																																																																																																																																																																						
Phosphorous	9.46E-03	D																																																																																																																																																																																						
Selenium	6.83E-04	C																																																																																																																																																																																						
Vanadium	3.18E-02	D																																																																																																																																																																																						
Zinc	2.91E-02	D																																																																																																																																																																																						
CAS No.	Pollutant	Emission Factor (lb/10 ⁶ scf)	Emission Factor Rating																																																																																																																																																																																					
7440-38-2	Arsenic ^b	2.0E-04	E																																																																																																																																																																																					
7440-39-3	Barium	4.4E-03	D																																																																																																																																																																																					
7440-41-7	Beryllium ^b	<1.2E-05	E																																																																																																																																																																																					
7440-43-9	Cadmium ^b	1.1E-03	D																																																																																																																																																																																					
7440-47-3	Chromium ^b	1.4E-03	D																																																																																																																																																																																					
7440-48-4	Cobalt ^b	8.4E-05	D																																																																																																																																																																																					
7440-50-8	Copper	8.5E-04	C																																																																																																																																																																																					
7439-96-5	Manganese ^b	3.8E-04	D																																																																																																																																																																																					
7439-97-6	Mercury ^b	2.6E-04	D																																																																																																																																																																																					
7439-98-7	Molybdenum	1.1E-03	D																																																																																																																																																																																					
7440-02-0	Nickel ^b	2.1E-03	C																																																																																																																																																																																					
7782-49-2	Selenium ^b	<2.4E-05	E																																																																																																																																																																																					
7440-62-2	Vanadium	2.3E-03	D																																																																																																																																																																																					
7440-66-6	Zinc	2.9E-02	E																																																																																																																																																																																					
	<p>^a Data are for residual oil fired boilers. Source Classification Codes (SCCs) 1-01-004-01/04.</p> <p>^b References 64-72. 18 of 19 sources were uncontrolled and 1 source was controlled with low efficiency ESP. To convert from lb/10³ gal to kg/10³ L, multiply by 0.12.</p> <p>^c References 29-32,40-44.</p> <p>^d For oil/water mixture, reduce factors in proportion to water content of the fuel (due to dilution). To adjust the listed values for water content, multiply the listed value by 1-decimal fraction of water (ex: For fuel with 9 percent water by volume, multiply by 1-0.9=0.91).</p>	<p>^a Reference 11. Units are in pounds of pollutant per million standard cubic feet of natural gas fired. Data are for all natural gas combustion sources. Emission factors preceded by a less-than symbol are based on method detection limits. To convert from lb/10⁶ scf to kg/10⁶ m³, multiply by 16. To convert from lb/10⁶ scf to lb/MMBtu, divide by 1,020.</p> <p>^b Hazardous Air Pollutant as defined by Section 112(b) of the Clean Air Act.</p>																																																																																																																																																																																						

¹ <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/index.html>

