

**EHESP**

---

**Ingénieur du Génie Sanitaire**

Promotion : 2008-2009

Date du Jury : **2 avril 2009**

---

**Evaluation des risques liés à  
l'utilisation des spirales anti-  
moustiques dans l'habitat intérieur**

---

**Manon ANTOINE  
Laure BELIN  
Julien CHEVE  
Gautier JUE  
Florent TESSIER  
Lucie TOME**

---

# Remerciements

---

Nous tenons à remercier Philippe Glorennec, notre tuteur, pour le soutien et l'aide qu'il nous a apporté tout au long de cette étude.

Nous remercions également, Nathalie Bonvallot et Barbara Le Bot qui ont pris le temps de répondre à nos questions.

Un grand merci aussi à l'équipe de l'AFSSET qui travaille sur les spirales anti-moustiques et qui a bien voulu nous aider pour la prise en compte du taux de renouvellement de l'air.

---

# Sommaire

---

Introduction.....	- 1 -
1 Identification des dangers .....	3
1.1 Les dangers présentés par l'utilisation des spirales anti-moustiques .....	3
1.1.1 Description des études épidémiologiques et toxicologiques .....	3
1.1.2 Voie d'exposition .....	3
1.1.3 Effets observés .....	3
1.1.4 Résultats .....	4
1.1.5 Interaction .....	4
1.1.6 Conclusion partielle .....	5
1.2 Dangers présentés par les produits entrant dans la composition des spirales anti-moustiques.....	5
1.2.1 Recherche de la composition des spirales anti-moustiques vendues en France...5	
1.2.2 Caractérisation des polluants identifiés dans les spirales ou dans leurs émissions.....	6
1.3 Hiérarchisation des substances et sélection .....	24
1.3.1 La démarche de hiérarchisation .....	24
1.3.2 Le cas des polluants n'ayant pas été intégrés à la hiérarchisation.....	28
1.3.3 Les polluants sélectionnés .....	28
2 Estimation des expositions et calculs du risque .....	30
2.1 Définition des expositions et des conditions d'exposition.....	30
2.2 Calcul des quotients de danger et des excès de risques individuels.....	31
2.3 Impact sanitaire .....	33
2.4 Analyse de sensibilité .....	33
2.5 Interprétation des résultats .....	35
3 Limites de l'étude et perspectives .....	36
3.1 Identification des limites .....	36
3.1.1 Limites liées à l'identification des polluants.....	36
3.1.2 Limites liées à la sélection des polluants pour lesquels le risque a été caractérisé .....	36
3.1.3 Limites liées aux calculs des concentrations de polluants dans l'air .....	37
3.1.4 Limites des études épidémiologiques .....	38
3.1.5 Limites liées aux calculs d'exposition .....	38
3.1.6 Limites liées à la définition de la population considérée.....	38
3.2 perspectives : .....	39
Conclusion.....	41
Bibliographie.....	- 43 -
Liste des annexes .....	- 49 -

---

## Liste des sigles utilisés

---

<b>AFSSAPS</b> : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé	<b>INERIS</b> : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
<b>AFSSET</b> : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail	<b>INRS</b> : Institut National de Recherche et de Sécurité
<b>ALAT</b> : Alanine Aminotransférase	<b>InVS</b> : Institut de Veille Sanitaire
<b>ARLA</b> : Agence de Réglementation de la Lutte Antiparasitaire	<b>IRIS</b> : Integrated Risk Information System
<b>ATSDR</b> : Agency For Toxic Substances And Disease Registry	<b>IS</b> : Impact Sanitaire
<b>BCME</b> : bis(chloro-méthyl)ether	<b>LOAEL</b> : Lowest Observed Adverse Effect Level
<b>BEH</b> : Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire	<b>Log Kow</b> : Logarithme du coefficient de partage octanol/eau
<b>BMC</b> : Benchmark Concentration	<b>MGK-264</b> : n-octyl bicycloheptene dicarboximide
<b>BMCL</b> : Benchmark Concentration Lower level	<b>mm Hg</b> : millimètre de mercure
<b>BMD</b> : Benchmark Dose	<b>MRL</b> : Minimal Risk Levels
<b>BMDL</b> : Benchmark Dose Lower Level	<b>ND</b> : Non Détecté
<b>BPO</b> : piperonyl butoxyde	<b>NOAEL</b> : No Observed Adverse Effect Level
<b>CA</b> : Concentration Admissible	<b>Nox</b> : Oxydes d'azote
<b>CAA</b> : Concentration Admissible dans l'Air	<b>OEHHA</b> : Office of Environmental Health Hazard Assessment
<b>CAS</b> : Chemical Abstracts Service	<b>OMS</b> : Organisation Mondiale de la Santé
<b>CCME</b> : chlorométhyl-méthyl ether	<b>OQAI</b> : Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur
<b>CFK</b> : Coburn-Foster-Kane	<b>OR</b> : Odds Ratio
<b>CIRC</b> : Centre International de Recherche sur le Cancer	<b>PM 10</b> : Particulate Matter 10 = Particules fines de diamètre inférieur ou égal à 10 µm
<b>CL<sub>50</sub></b> : Concentration Létale 50%	<b>PM 2,5</b> : Particulate Matter 2,5 = Particules fines de diamètre inférieur ou égal à 2,5 µm
<b>COV</b> : Composés organiques volatils	<b>Psas</b> : Programme de surveillance air et santé
<b>CT<sub>0,05</sub></b> : Concentration tumorigène 0,05	<b>PSD</b> : Pesticide Safety Directorate
<b>DHT</b> : Dose Hebdomadaire Tolérable	<b>QD</b> : Quotient de danger
<b>DHTP</b> : Dose Hebdomadaire Tolérable Provisoire	<b>REL</b> : Reference Exposure Levels
<b>DJA</b> : Dose Journalière Admissible	<b>RfC</b> : Reference Concentration
<b>DJT</b> : Dose Journalière Tolérable	<b>RfD</b> : Reference Dose
<b>DL<sub>50</sub></b> : Dose Létale 50%	<b>RIVM</b> : Rijksinstituut voor Volksgezondheit en Milieu
<b>DROM-COM</b> : Départements et Régions d'Outre-Mer - Collectivités d'Outre-Mer	<b>S2</b> : octachlorodipropyléther
<b>DSDS</b> : Direction de la Santé et du Développement Social	<b>SNC</b> : Système Nerveux Central
<b>ERI</b> : Excès de Risque Individuel	<b>TCA</b> : Tolerable Concentration in Air
<b>ERU</b> : Excès de Risque Unitaire	<b>TDI</b> : Tolerable Daily Intake
<b>ERUi</b> : Excès de Risque Unitaire par Inhalation	<b>UF</b> : Uncertainty Factor
<b>ERUo</b> : Excès de Risque Unitaire par voie orale	<b>UF<sub>A</sub></b> : Facteur d'incertitude du à la variabilité inter espèce
<b>FAO</b> : Food and Agriculture Organization	<b>UF<sub>B/L</sub></b> : Facteur d'incertitude du à l'utilisation d'une BMDL/BMDL ou d'un LOAEL
<b>FDA</b> : Food and Drug Administration	<b>UF<sub>H</sub></b> : Facteur d'incertitude du à la variabilité inter individuelle
<b>FET</b> : Facteur d'Equivalence Toxicologique	<b>UF<sub>O</sub></b> : Facteur d'incertitude du à l'insuffisance de données (qualité ou quantité)
<b>GABA</b> : acide gamma-aminobutyrique	<b>UF<sub>S</sub></b> : Facteur d'incertitude du à la transposition subchronique à chronique
<b>GC/MS</b> : Chromatographie Gazeuse couplée avec Spectrométrie de Masse	<b>US EPA</b> : United States Environmental Protection Agency
<b>HAP</b> : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	<b>VMC</b> : Ventilation mécanique contrôlée
<b>HPLC</b> : Chromatographie Liquide Haute Performance	<b>VTR</b> : Valeur Toxicologique de Référence
<b>IARC</b> : International Agency for Research on Cancer	
<b>ICP/MS</b> : Inductively Coupled Plasma/mass spectrometry	

---

Manon ANTOINE, Laure BELIN, Julien CHEVE, Gautier JUE, Florent TESSIER, Lucie TOME

- Evaluation des risques liés à l'utilisation des spirales anti-moustique dans l'habitat intérieur-2009

---

## Liste des tableaux

---

Tableau 1 : odds ratio sur les interactions du tabac et des spirales anti-moustiques pour le cancer du poumon.....	5
Tableau 2: Informations sur des spirales anti-moustiques vendues en France .....	6
Tableau 3: Pyréthriinoïdes et concentrations dans les spirales anti-moustiques.....	10
Tableau 4 : Principaux métaux lourds et métalloïdes et n°CAS.....	14
Tableau 5 : Composés appartenant au groupe des HAP .....	17
Tableau 6 : Composés carbonylés émis lors de la combustion d'une spirale anti-moustiques .....	23
Tableau 7 : VTR retenue pour les composés carbonylés .....	24
Tableau 8 : Les trois polluants les plus pénalisants pour une exposition aiguë avec des effets à seuil .....	29
Tableau 9 : Les trois polluants les plus pénalisants pour une exposition chronique avec des effets à seuil.....	29
Tableau 10 : Les quatre polluants les plus pénalisants pour une exposition chronique avec des effets sans seuil .....	29
Tableau 11 : Quotient de danger pour une exposition aiguë, pour des effets avec seuil ..	31
Tableau 12 : Quotient de danger pour une exposition chronique, pour des effets avec seuil.....	32
Tableau 13 : Excès de risque individuel pour une exposition chronique sans seuil .....	32
Tableau 14 : Impact sanitaire pour une exposition chronique sans seuil.....	33
Tableau 15 : Présentation et résultats des études épidémiologiques.....	1
Tableau 16 : Identification des substances actives des spirales anti-moustiques.....	3
Tableau 17 : Identification des substances activatrices des spirales anti-moustiques .....	6
Tableau 18 : Identification des substances de la matrice .....	8
Tableau 19 : Autres polluants présents dans les spirales : les métaux et métalloïdes.....	9
Tableau 20 : Les polluants générés par la combustion d'une spirale : les éthers halogénés .....	18
Tableau 21 : Les polluants générés par la combustion d'une spirale : les HAP .....	22
Tableau 22 : Les polluants générés par la combustion d'une spirale : les gaz .....	27
Tableau 23 : Les polluants générés par la combustion d'une spirale : les COV .....	28

Tableau 24 : Les polluants générés par la combustion d'une spirale : les composés carbonylés.....	31
Tableau 25 : Valeurs toxicologique de références des substances actives naturelles .....	36
Tableau 26 : Valeurs toxicologiques de référence des substances actives de synthèse..	38
Tableau 27 : Valeurs toxicologiques de référence des substances activatrices .....	41
Tableau 28 : Valeurs toxicologiques de référence des métaux lourds et des métalloïdes	42
Tableau 29 : Valeurs toxicologiques de référence des éthers halogénés .....	51
Tableau 30 : Valeurs toxicologiques de référence des HAP .....	52
Tableau 31 : Valeurs toxicologiques de référence des gaz.....	59
Tableau 32 : Valeurs toxicologiques de référence des COV .....	60
Tableau 33 : Valeurs toxicologiques de référence des composés carbonylés .....	67
Tableau 34 : Résultats de la relation entre les taux de renouvellement d'air et les d'abattements de la concentration de métaux.....	75
Tableau 35 : Taux d'émission (en µg/h) des différents polluants mesurés dans l'étude de Lee et Wang en 2005 .....	76
Tableau 36 : Taux d'émission (en µg/h) des différents polluants mesurés dans l'étude de Liu et al., 2003.....	77
Tableau 37 : Taux d'émission (en µg/h) des différents polluants mesurés dans l'étude de Lin et Shen, 2004 .....	78
Tableau 38 : Médiane des différents taux d'émission, et conversion en concentration suivant de nouvelles conditions (durée de combustion, volume de la pièce, sans aération).....	79
Tableau 39 : Classement des substances émises pour une exposition aiguë avec des effets à seuil, par scores décroissants.....	80
Tableau 40 : Classement des substances émises pour une exposition chronique avec des effets à seuil, par scores décroissants.....	80
Tableau 41 : Classement des polluants émis pour une exposition chronique avec des effets sans seuil, par scores décroissants .....	81
Tableau 42 : Proportions des substances actives par rapport à la masse d'une spirale anti-moustiques .....	82
Tableau 43 : Scores et classement des substances actives pour une exposition aiguë avec des effets à seuil.....	82
Tableau 44 : Scores et classement des substances actives pour une exposition chronique avec des effets à seuil.....	83
Tableau 45 : Quotients de danger des polluants émis, pour une exposition aiguë avec des effets à seuil.....	84

Tableau 46 : Quotients de danger des polluants émis, pour une exposition chronique avec des effets à seuil.....	84
Tableau 47 : Excès de Risques Individuels des polluants émis, pour une exposition chronique avec des effets sans seuil .....	84
Tableau 48 Résultats de l'étude dans le cas du taux d'émission minimum. ....	85
Tableau 49 Résultats de l'étude dans le cas du taux d'émission médian. ....	86
Tableau 50 Résultats de l'étude dans le cas du taux d'émission maximal.....	87
Tableau 51 Résultats de l'étude dans le cas d'une exposition aiguë de 1 heure. ....	88
Tableau 52 Résultats de l'étude dans le cas d'une exposition aiguë de 8 heures. ....	89
Tableau 53 Résultats de l'étude dans le cas d'une exposition aiguë de 12 heures. ....	90
Tableau 54 Résultats de l'étude dans le cas d'un scénario d'exposition de 1 heure par jour, 4 mois par an pendant la vie entière. ....	91
Tableau 55 Résultats de l'étude dans le cas d'un scénario d'exposition de 8 heures par jour, 7 mois par an pendant la vie entière. ....	92
Tableau 56 Résultats de l'étude dans le cas d'un scénario d'exposition de 12 heures par jour, 10 mois par an pendant la vie entière. ....	93
Tableau 57 Résultats de l'étude pour un taux de renouvellement de l'air de 0,01. ....	94
Tableau 58 Résultats de l'étude pour un taux de renouvellement de l'air de 0,5. ....	95
Tableau 59 Résultats de l'étude pour un taux de renouvellement de l'air de 4. ....	96
Tableau 60 Résultats de l'étude pour une pièce de 15m <sup>3</sup> .....	97
Tableau 61 Résultats de l'étude pour une pièce de 30m <sup>3</sup> .....	98
Tableau 62 Résultats de l'étude pour une pièce de 60m <sup>3</sup> .....	- 99 -

## Introduction

Des espèces de moustiques peuvent véhiculer, dans certaines régions du monde, notamment en France (Guyane, Guadeloupe,...), des maladies graves comme le Paludisme, la Dengue, le Chikungunya,....

Pour limiter au maximum les risques de propagation de ces maladies et stopper l'action néfaste des moustiques, différentes protections individuelles ont été développées.

Ces protections passent principalement par le port de vêtements longs, clairs et couvrants, l'emploi de moustiquaires imprégnées ou non d'insecticides ou de répulsifs ou encore de produits corporels, de bombes aérosols ou de spirales fumigènes.

Une étude menée en Côte d'Ivoire (J.M.C.Doannio et al., 2003) démontre que la majorité des habitants, entre 68% et 98%, utilisent les spirales anti-moustiques. La raison avancée est le faible coût de ce mode de protection comparé à une moustiquaire imprégnée par exemple.

Les spirales anti-moustiques, en se consumant, libèrent régulièrement dans l'air, pendant 6 à 8 heures, un insecticide, généralement du pyrèthre ou un composé appartenant à la famille des pyréthriinoïdes de synthèse, ou un répulsif tel la citronnelle. Cet agent actif est incorporé à une matrice composée de noix de cajou, de bois de Santal, d'oliban ou de noix de coco.

Ces produits sont couramment vendus par la grande et la moyenne distribution ainsi que par le commerce de détail. Il existe de nombreuses marques commerciales distribuées sur le marché. Ces marques diffèrent beaucoup les unes des autres et la sélection d'un produit par rapport à un autre s'avère souvent difficile. De plus, les étiquettes des spirales peuvent s'avérer insuffisantes. En effet, l'étude menée par la Direction de la Santé et du Développement Social de la Guyane Française, rapportée dans le Bulletin d'Alerte et de Surveillance Antilles Guyane (Pinchon, 2008-5), concernant l'étiquetage des produits anti-moustiques disponibles sur le marché guyanais, montre que les exigences réglementaires d'étiquetage (arrêté du 19 mai 2004) ne sont pas respectées. De nombreuses informations peuvent être absentes d'un produit à l'autre, comme les indications des effets secondaires défavorables ou les informations sur les risques spécifiques pour l'environnement... De plus, des incohérences relatives aux conditions d'utilisation ont été mises en évidence et vont à l'encontre des recommandations publiées par l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) dans le Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire (BEH, juin 2007 et juin 2008). Ces recommandations proscrivent, en effet, l'utilisation des spirales à l'intérieur des habitations, dans les endroits fermés, confinés et peu aérés, alors que certaines marques préconisent de les utiliser à l'intérieur de la maison, de la chambre, des écoles, des salles de cours et des restaurants.



Or l'étude épidémiologique réalisée, à Taiwan, par S.C. Chen et *al.* (2008) questionne l'innocuité de l'utilisation des spirales anti-moustiques dans l'habitation. Elle suggère une association statistique entre l'exposition aux fumées des spirales anti-moustiques et une augmentation du risque de développer un cancer du poumon.

D'autres études scientifiques [Krieger et *al.*, 2003 ; Liu et *al.*, 2003] montrent que les spirales anti-moustiques sont susceptibles de dégager, lors de leur combustion, des polluants dangereux pouvant présenter un risque pour la santé.

Ces résultats suscitent des inquiétudes chez les autorités sanitaires françaises qui voudraient connaître le risque encouru par les français utilisant les spirales anti-moustiques à l'intérieur et, le cas échéant, prendre les mesures appropriées.

Les informations actuellement disponibles ne permettent pas de répondre à ces attentes. La méthode d'aide à la décision proposée est une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS), basée sur un bilan des connaissances scientifiques actuelles, qui permettra de préconiser l'interdiction ou non de l'utilisation des spirales anti-moustiques à l'intérieur des habitats en France.

Dans un premier temps, l'étude répertorie, de la façon la plus exhaustive possible, l'ensemble des produits émis, ou susceptibles d'être émis, lors de la combustion des spirales anti-moustiques. Après une hiérarchisation de ces produits, les risques liés aux plus préoccupants d'entre eux sont ensuite caractérisés pour des expositions aiguës et chroniques avec des effets avec ou sans seuil. Les résultats obtenus sont discutés et confrontés aux limites de l'étude. Des axes d'amélioration sont proposés en dernière partie.

# **1 Identification des dangers**

## **1.1 Les dangers présentés par l'utilisation des spirales anti-moustiques**

### **1.1.1 Description des études épidémiologiques et toxicologiques**

La littérature comporte quelques recherches toxicologiques menées sur des animaux qui ont permis d'étudier les effets des fumées de spirales anti-moustiques en fonction des expositions. Par ailleurs, un nombre restreint d'études épidémiologiques compare les effets de la fumée des spirales anti-moustiques avec ceux d'autres produits, comme l'encens, ou tente de faire la part des effets attribuables aux spirales utilisées avec d'autres produits comme le tabac. Ces études épidémiologiques ont pour l'essentiel été menées hors de l'Europe (Asie du sud-est) où l'utilisation des spirales est beaucoup plus courante et ont permis d'atteindre des puissances suffisantes : de 350 à plus de 4000 personnes, principalement des femmes et des enfants.

### **1.1.2 Voie d'exposition**

L'unique voie d'exposition considérée par l'ensemble des études est l'inhalation. Une partie des investigations s'est faite, sous forme d'études cas/témoins (cf. Annexe A), sur la comparaison de deux populations entre des secteurs exposés et non exposés à des pollutions de l'air. Les spirales sont prises en compte dans ces pollutions ainsi que la pollution atmosphérique, la pollution de l'air intérieur, le tabac... D'autres études, plus ciblées sur les spirales, ont été réalisées sur des populations ou des pathologies bien précises.

### **1.1.3 Effets observés**

Les différents effets observés et investigués affectent les organes du système respiratoire. Les études mentionnent chez l'homme, de la toux, des glaires, des irritations, un sifflement, des symptômes nasaux, de l'asthme, des sinusites et rhinites chroniques, des cancers du poumon, et chez le rat, des effets sur l'épithélium et les macrophages.

#### 1.1.4 Résultats

- Les spirales augmentent le risque de 1,26 [1,05-1,50], d'après Chun-Yuh et *al.*, (1996) pour la toux et de 1,73 [1,02-2,93] selon Azizi et *al.* (1995) pour l'asthme.
- Pour un indice composé d'un ensemble de 12 pathologies non mortelles représentant un risque global et prenant en compte trois fréquences de toux, trois fréquences de glaires, une irritation, un sifflement, un symptôme nasal, de l'asthme, une sinusite et une rhinite chronique, les spirales induisent, d'après Wong et *al.* (1999) un odds ratio de 1,58 [1,14-2,21].
- Pour le cancer du poumon qui est la pathologie la plus grave identifiée, l'association est plus élevée. Chen et *al.* (2008) relèvent une augmentation du risque de 2,67 [1,60-4,50] et de 3,78 [1,55-6,90] pour des expositions respectivement inférieures et supérieures à trois spirales par semaine.
- Liu et *al.* (2003) estiment que les spirales émettent autant de PM<sub>2,5</sub> que 75 à 137 cigarettes et autant de formaldéhyde que 51 cigarettes. Bien que les estimations de concentrations mesurées en présence de spirales soient bien supérieures à celles mesurées en présence de tabac, les augmentations de risque pour l'asthme sont comparables. Pour le tabac passif, cette augmentation est de 1,91 [1,19-3,21]. En outre, les odds ratio sont également comparables pour la toux entre les spirales et l'encens, soit de 1,28 [1,03-1,57]. Cependant le risque de cancer du poumon reste supérieur pour un fumeur : OR=5,59 [2,34-13,36].
- Des dégradations de la structure sur l'épithélium et les macrophages du rat ont été mises en évidence par Liu et *al.* (1988) mais seul l'abstract étant accessible aucune précision relative aux protocoles et aux doses ne peut être apportée.

#### 1.1.5 Interaction

Des interactions entre l'utilisation des spirales anti-moustiques et le tabac ont été quantifiées (cf. Tab N°1). Les augmentations de risque pour le cancer du poumon sont considérablement plus élevées (multipliées par quatre environ) en présence de spirales et du tabac. De plus les effets conjoints des spirales et du tabac sont supérieurs à leurs effets cumulés, il s'agit donc d'une interaction synergique.

**Tableau 1 : odds ratio sur les interactions du tabac et des spirales anti-moustiques pour le cancer du poumon.**

Tabac/spirale	Pas d'utilisation	Faible exposition (<3/semaine)	Forte exposition (>3/semaine)
pas d'exposition		<b>2,67</b> [1,60-4,50]	<b>3,78</b> [1,55-6,90]
fumeur passif		<b>3,36</b> [1,76-6,40]	<b>3,89</b> [1,73-8,57]
fumeur	<b>5,59</b> [2,34-13,36]	<b>11,84</b> [3,21-38,54]	<b>13,66</b> [3,64-51,29]
		>	>
Somme : fumeur seul + spirale seule		<b>8,26</b>	<b>9,37</b>

Selon une étude sur l'air intérieur (Azizi et al., 1991), une réduction de l'exposition au tabagisme passif et aux spirales peut conduire à une baisse de 29% des risques pour les sifflements persistants et l'asthme.

### 1.1.6 Conclusion partielle

Les effets observés dans les études épidémiologiques des spirales sont similaires aux effets du tabac. Les augmentations du risque sont significatives : autour de 1,5 pour les pathologies non mortelles et entre 2,67 et 3,78 pour le cancer du poumon. Ces résultats sont concordants entre les études, ils sont plausibles scientifiquement et ils sont partiellement mis en évidence par des expérimentations. Cela permet de supposer une relation causale entre ces pathologies et les spirales anti-moustiques. Il existe une synergie entre les spirales et le tabac.

## 1.2 Dangers présentés par les produits entrant dans la composition des spirales anti-moustiques

La composition des spirales et les différents polluants émis lors de leur combustion présentés ci-dessous sont issus d'un vaste travail de synthèse bibliographique. Les différents polluants ainsi listés ont ensuite été hiérarchisés à l'aide d'un score basé sur la présence ou non d'une valeur toxicologique de référence et d'un coefficient calculé en prenant en compte la concentration du polluant dans la spirale ou dans ses émissions.

### 1.2.1 Recherche de la composition des spirales anti-moustiques vendues en France.

En première approche, les spirales anti-moustiques vendues en France ont été répertoriées (aussi bien celles commercialisées par la grande et la moyenne distribution que celles proposées sur Internet). Durant cette étape, les spirales ont été caractérisées

en fonction de leur composition, de leur durée de combustion, de leurs conditions d'utilisation, et des informations mentionnées sur les modes d'emplois et les fiches de données de sécurité. Ces informations sont présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 2: Informations sur des spirales anti-moustiques vendues en France**

Marque	Composition	Durée de combustion	Conditions d'utilisation
Catch Techno®	d-alléthrine 0,26% citronnelle 0,1-1%	Non précisée	Non précisée
Baygon®	d-alléthrine 0,225%	7 heures	Extérieur ou intérieur bien aéré
Neemol Hygiène Nature®	Noix de cajou, neem, bois de santal, citronnelle, canelle, oliban, noix de coco, amidon, eau	8 heures	Extérieur
Encens du monde®	Pyrèthre	7 heures	Extérieur ou intérieur bien aéré
Kapo®	Non précisée	8 heures	Extérieur ou intérieur
Fury®	Pyréthri-noïde	8 heures	Extérieur
OFF®	d-alléthrine 0,15%	8 heures	Extérieur ou intérieur bien aéré
RAID®	d-alléthrine 0,3%	5 heures	Extérieur ou intérieur bien aéré

Les données présentées dans le tableau 2 montrent que de nombreuses informations ne sont pas indiquées par les fournisseurs, notamment celles concernant la composition du produit. En effet, seules certaines concentrations en substances actives insecticides sont précisées, ce qui représente au mieux 0,3% du poids total de la spirale. Les 99% restants, regroupant la matrice combustible, le liant et d'autres substances, sont donc généralement inconnus de l'utilisateur de la spirale anti-moustiques.

### **1.2.2 Caractérisation des polluants identifiés dans les spirales ou dans leurs émissions.**

Les polluants identifiés dans la littérature peuvent être présentés selon deux groupes : les substances entrant dans la composition de la spirale et les polluants générés par la combustion de cette dernière.

Les polluants ont tout d'abord été identifiés par leur nom, leur numéro CAS, leurs propriétés physico-chimiques et leur toxicité (cf. Annexe B). Leurs VTR ont ensuite été regroupées ou calculées, afin de hiérarchiser les polluants dans un premier temps et, dans un second temps, de calculer les risques présentés par ces polluants en fonction des conditions d'exposition.

### **Propriétés physico-chimiques**

Dans une évaluation de risque, il est primordial de savoir dans quel milieu se trouve le polluant et sous quelle forme. Ces informations permettent, en effet, de déterminer sa

toxicité et la voie d'exposition la plus préoccupante. Les propriétés physico-chimiques intéressantes pour ce cas précis sont les suivantes :

- La **masse molaire**.
- L'**apparence** permet de connaître la forme habituelle du produit.
- Le **point de fusion** est la température à laquelle le produit passe de l'état solide à l'état liquide sous une pression atmosphérique de 101,32 kPa.
- Le **point d'ébullition** est la température à laquelle le produit passe de l'état liquide à l'état gazeux sous une pression atmosphérique normale de 101,32 kPa.
- La **pression de vapeur** est la pression exercée dans le milieu ambiant par les vapeurs d'un produit. Elle se calcule à 20°C sous une pression atmosphérique normale de 101,32 kPa.
- Le **log Kow** exprime la polarité ou l'hydrophobicité d'un produit. Il est directement lié au coefficient de partage n-octanol/eau. Kow est le rapport des concentrations à l'équilibre d'un composé entre une phase eau et une phase n-octanol. Le composé est apolaire si  $\log Kow > 4$ , polaire si  $\log Kow < 1,5$  et moyennement polaire si son log Kow est compris entre ces deux valeurs.
- Le **coefficient de diffusion** dans l'air quantifie le déplacement des particules de polluant dans l'air. Il permet ainsi d'estimer l'étendue d'une pollution par des gaz ou des particules.
- Les principales propriétés chimiques d'intérêt pour l'étude sont la **stabilité** ou **persistance** du polluant ainsi que son comportement dans l'air pour savoir dans quelle phase de l'air il est présent (gazeuse ou particulaire) et combien de temps il reste dans l'environnement et donc la durée potentielle de l'exposition.

## Toxicité

Pour caractériser la toxicité d'un polluant, il convient de considérer ses effets chez l'homme lorsqu'ils sont connus ou à défaut chez l'animal, sachant que, du fait des différences entre espèces, les effets observés chez l'animal ne se produisent pas systématiquement chez l'homme et inversement.

La toxicité d'un polluant dépend aussi de la durée d'exposition et de la dose à laquelle le sujet (homme ou animal) a été soumis. Il faut donc tenir compte de la toxicité pour une **exposition aiguë** et pour une **exposition chronique**.

Ces informations sont disponibles auprès de plusieurs sources fiables telles que des articles publiés dans des revues scientifiques reconnues, les organismes spécialisés dans les domaines de la toxicologie et de la santé et reconnus comme l'OMS, l'US EPA, l'ATSDR, Santé Canada, le RIVM, l'OEHHA, l'INERIS, l'INRS, ...

## VTR

La valeur toxicologique de référence est un indice qui permet d'établir la relation entre une dose d'un polluant et la survenue d'un effet néfaste. Ces relations sont établies par différents organismes de notoriété internationale et de crédibilité variable. Le choix de la VTR repose sur la qualité de l'étude épidémiologique ou de l'étude toxicologique qui a permis de l'établir. Les paramètres à considérer sont par exemple : le nombre d'espèces ou le nombre d'individus étudiés, les différences entre les doses et le nombre de doses administrées, la durée de l'étude, la spécificité des effets ou encore les facteurs d'incertitude appliqués à la valeur. Les conditions de réalisation de l'étude doivent aussi être les plus proches possibles de celles envisagées dans l'évaluation de risque, soit ici une exposition aiguë ou chronique par voie respiratoire.

Les VTR pour les différents polluants repérés sont présentées en annexe C.

### A) Les substances présentes initialement dans la spirale

La composition d'une spirale anti-moustiques peut être caractérisée suivant ses substances actives et activatrices, sa matrice et ses sous-produits.

#### a) *Les substances actives*

- **La citronnelle**

La citronnelle est une substance naturelle (N° CAS = 8000-29-1) qui peut être introduite comme produit actif dans les spirales fumigènes en raison de sa capacité à repousser les moustiques. Les spirales fumigènes sont alors présentées comme écologiques.

Le terme citronnelle désigne en fait un regroupement de plus de 80 substances chimiques, dont une cinquantaine représente plus de 90% de l'essence.

Selon l'origine de la citronnelle, Ceylan ou Java, sa composition chimique peut varier aussi bien en terme de nombre de composés que de proportions. La citronnelle de Ceylan contient en particulier du méthyl-eugénol, dont les caractéristiques toxicologiques ont suscité des interrogations de la part des agences de santé du Canada et des USA.

Selon la littérature, seules les expositions cutanées et orales ont, jusqu'à présent, été étudiées. Si l'innocuité de la citronnelle est généralement admise pour la voie orale, un doute subsiste en ce qui concerne la voie cutanée [ARLA, 2004 et 2005, et AFSSAPS, 2008].

En ce qui concerne les expositions par inhalation, seules les doses de létalité suite à une exposition à 100% d'huile sont renseignées (huile de Ceylan :  $CL_{50} > 5000\text{mg/kg}$  ; huile de citronnelle de Java : étude sur rats :  $4\text{h } CL_{50} > 3,1\text{mg/L}$ ). C'est pourquoi l'US EPA a envisagé des études toxicologiques complémentaires pour obtenir des données relatives à l'exposition par inhalation aiguë et long terme (US EPA, 2006).

Etant donné le manque de données toxicologiques relatives au mode d'exposition par inhalation pour le méthyl-eugénol et plus globalement pour la citronnelle, celle-ci ne peut pas être retenue pour la suite de l'étude.

- **Le neem**

Le neem est un arbre tropical originaire d'Inde orientale, des graines duquel est extraite une huile reconnue pour ses propriétés antiparasitaires. L'action biologique des extraits du neem permet de lutter contre plus de 400 espèces d'insectes. L'huile de Neem, enregistrée sous le numéro CAS 8002-65-1, a une toxicité très faible avec une DL<sub>50</sub> par voie orale dépassant les 5000 mg/kg pour le rat. Selon Gandhi et *al.* (1988), la DL<sub>50</sub> par voie orale est de 14000 mg/kg pour le rat et les effets observés sont comportementaux (changements au niveau de l'activité motrice), respiratoires (dyspnée) et intestinaux (diarrhée).

Cette substance ne sera pas considérée dans la suite de l'étude du fait de l'absence de toxicité.

- **Le pyrèthre**

Le pyrèthre est un insecticide naturel extrait des fleurs de pyrèthre : *Chrysanthemum cinerariaefolium*. Il est constitué de six substances nommées pyréthrine : pyréthrine 1, pyréthrine 2, cinerine 1, cinerine 2, jasmoline 1 et jasmoline 2. Il agit sur les fonctions nerveuses des insectes.

Au vu de ses propriétés physico-chimiques, ce produit n'est pas généré sous forme gazeuse durant la combustion de la spirale mais se retrouve sur les poussières et les particules émises. La principale voie d'exposition est par conséquent la voie par inhalation. La voie par ingestion n'intervient que dans le cas d'un dépôt des particules sur les surfaces et sols et ne sera pas considérée dans cette évaluation.

L'US EPA a proposé en 2006, pour une inhalation sur du court terme une VTR de 289µg/m<sup>3</sup> (avec un UF = 100, déduite d'un NOAEL), et pour du long terme une VTR de 9,63µg/m<sup>3</sup> (avec un UF = 1000, déduite d'un LOAEL).

- **Les pyréthrinoïdes**

Les pyréthrinoïdes sont des pesticides de synthèse similaires aux pyréthrines naturelles et agissent selon le même mode d'action. Contrairement à ces dernières, les pyréthrinoïdes sont moins photosensibles et sont par conséquent plus rémanents et plus puissants. Les pyréthrinoïdes sont classés en deux types qui diffèrent par leur structure et par leur mode d'action.

Les pyréthrinoïdes utilisés en tant que substances actives dans les spirales anti-moustiques et recensés dans la littérature sont présentés dans le tableau ci-dessous.



**Tableau 3: Pyréthri-noïdes et concentrations dans les spirales anti-moustiques**

<b>Pyréthri-noïde</b>	<b>% en poids dans une spirale</b>	<b>Sources</b>
Alléthrine	0.1 à 0.3 %	F. W. Mosha <i>et al</i> , 1992 HH Yap <i>et al</i> , 1990 Y. Katsuda <i>et al</i> , 2008 A. Ramesh, A. Vijayalakshmi, 2001 S. Mulla <i>et al</i> , 2001
Metofluthrine	0.005 %	K. Ujihara <i>et al</i> , 2008
Transfluthrine	0.03 %	A. Ramesh, A. Vijayalakshmi, 2001 S. Mulla <i>et al</i> , 2001
Pralléthrine	0.10 à 0.20 %	Y. Katsuda <i>et al</i> , 2008 M. Narendra <i>et al</i> , 2008

### **Les alléthrine**

Les alléthrine représentent une famille de pyréthri-noïdes de type I qui comprend la bioalléthrine (ou d-trans-alléthrine), la S-bioalléthrine (ou esbiol), l'esbiothrine et la d-alléthrine (ou pynamine forte). Initialement, deux autres composés chimiques appartenait à la famille des alléthrine : l'alléthrine sous forme solide et l'alléthrine sous forme liquide. Mais ces dernières ont été respectivement retirées de la nomenclature des alléthrine en 1991 et 1992 (US EPA, 2007).

Les composés chimiques appartenant à la nomenclature des alléthrine ont la même formule moléculaire  $C_{19}H_{26}O_3$  (soit un poids moléculaire de 302,4 g/mol), mais différent par leur pourcentage en stéréo-isomères; ceci leur confère des caractéristiques physico-chimiques différentes.

D'après J.Y. Chang et J. M. Lin (1997), les alléthrine se retrouvent sous forme particulaire et non sous forme gazeuse lors de la combustion d'une spirale anti-moustique. Cette information est d'ailleurs consolidée du fait des propriétés physico-chimiques des alléthrine. La principale voie d'exposition à envisager est l'inhalation. Cependant l'ingestion accidentelle d'alléthrine peut être une voie d'exposition dans le cas où les particules auraient une forte densité et se déposeraient sur les surfaces. Cette exposition ne sera pas envisagée dans cette évaluation.

Des études toxicologiques ont permis d'identifier des doses critiques selon différentes durées d'exposition par inhalation. Ainsi une VTR de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pour une exposition chronique, a été proposée par l'OMS en 2006 concernant l'esbiol. Dans le cas d'une exposition aiguë, une VTR de  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a dû être calculée, en appliquant sur la NOAEL les mêmes facteurs d'incertitude que ceux de l'esbiol (UF total = 1000).

### **La metofluthrine, la transfluthrine et la pralléthrine**

La metofluthrine, la transfluthrine et la pralléthrine sont des pyréthri-noïdes de type I, comme les alléthrine. Elles se trouvent essentiellement dans la phase particulaire lors de

la combustion d'une spirale. Une fois encore, seule l'exposition par inhalation sera étudiée dans la suite de l'évaluation.

Comme pour les alléthrine, des études toxicologiques rapportées par l'US EPA et l'OMS mentionnent des NOAEL, sans préciser les facteurs d'incertitude. Cependant les expériences par inhalation chronique s'étant déroulées selon des conditions expérimentales similaires à celles de l'esbiol, le même facteur d'incertitude total de 1000 a été affecté pour déduire les VTR suivantes :

- VTR de la méthofluthrine = 99  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- VTR de la tranfluthrine = 36,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- VTR de la pralléthrine = 1,01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Concernant l'exposition aiguë par inhalation, aucune étude n'est disponible.

b) *Les substances activatrices*

- **L'octachlorodipropyléther (S2)**

Ce produit est connu pour être utilisé en tant qu'activateur de pesticides (Krieger et al., 2003). Il est particulièrement persistant dans de nombreux milieux, du fait de son caractère lipophile. Une technique de dosage a par ailleurs été élaborée.

La base des données toxicologiques Toxnet mentionne quatre tests mis en œuvre pour évaluer la mutagénicité de ce produit via le test d'Ames ; un seul des tests s'est avéré positif sur les quatre.

Aucune VTR n'ayant été élaborée, la base Furetox ne propose aucune information relative à cette substance.

Du fait de l'absence de données concernant cette substance, elle ne peut pas être prise en considération dans la suite de l'évaluation des risques menée sur les tortillons fumigènes.

L'octachlorodipropyléther est susceptible de générer lors de la combustion du tortillon du formaldéhyde et de l'acide chlorhydrique, dans des proportions inconnues à ce jour. Ces produits peuvent se combiner pour former alors des chloro-éthers nocifs tels le BCME et le CMME, dont la présence est par conséquent suspectée lors de l'utilisation de spirales anti-moustiques.

- **Le piperonyl butoxyde (BPO)**

Bien que le butoxyde de piperonyle ne soit pas explicitement cité comme entrant dans la composition des spirales anti-moustiques, il semble souvent associé à la citronnelle, voire à des alléthrine, comme activateur, afin de prolonger leur effet insecticide.

Au vu des propriétés physico-chimiques, ce produit se trouvera dans la phase particulaire.

L'US EPA a proposé en 2006 des VTR par inhalation pour plusieurs durées d'exposition, en particulier pour du court terme (VTR =  $45\mu\text{g}/\text{m}^3$ , UF = 300) et pour du chronique (VTR =  $13,6\mu\text{g}/\text{m}^3$ , UF = 1000).

- **Le n-octyl bicycloheptene dicarboximide (MGK-264)**

Le MGK-264 est une substance utilisée pour activer les insecticides tels les pyrethrinoïdes naturels ou synthétiques ; il a été retrouvé dans une spirale anti-moustiques (Krieger et *al.*, 2003). Au vu des propriétés physico-chimiques, ce produit se trouve adsorbé sur des particules.

Ayant été recensé dans plus de 650 produits, l'US EPA s'est repenché en 2006 sur le MGK-264 et a émis une seule VTR par inhalation, quelque soit la durée d'exposition envisagée (VTR =  $0,035\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

c) *La matrice*

Définition des matrices

La matrice est définie comme étant l'élément structurant de la spirale et constitue le support d'une substance active. Elle est combustible et peut avoir naturellement un effet répulsif.

Plusieurs types de matrices ont été identifiés dans la littérature : la noix de coco, la noix de cajou, le bois de Santal, l'oliban, et plus généralement le bois et l'encens. Ces composés peuvent être utilisés seuls ou combinés.

Aucune étude sur les effets sanitaires des produits de combustion des matrices ne semble avoir été publiée. Aucune valeur toxicologique de référence, aucune indication sur d'éventuelle dose limite ou seuil pour des effets liés aux fumées de ces produits ne sont disponibles. Le fait est que les résultats de la littérature n'évaluent que des risques liés à l'ingestion directe de ces substances sous forme d'huile.

Généralités sur les produits de combustion des matrices :

Malgré une littérature plus abondante sur les fumées issues de combustion d'encens et de bois, de nombreuses difficultés empêchent de conclure.

Les effets sanitaires de l'encens sont très largement étudiés. Ainsi des études comme celle de Mannix et *al.*, (1996) ont analysé les fumées d'encens et identifié de nombreux composés de combustion dont le CO, les NO<sub>x</sub>, des particules... La recherche bibliographique sur des encens utilisés comme répulsifs à moustiques n'aboutit qu'à des

études comparant des encens à des spirales, sans précision sur ces dernières, et non à des études dans lesquelles l'encens est utilisé comme spirale anti-moustiques. Il a ainsi été montré que l'encens et les spirales ont un effet similaire sur la toux chez les enfants. Chun-Yuh et *al.* (1996) ont calculé un OR de 1,28 avec un intervalle de confiance à 95% compris entre 1,03 et 1,57 pour l'encens et un OR de 1,26 avec un intervalle de confiance à 95% compris entre 1,05 et 1,50 ; alors que Bin Zhao et *al.* (2008) ont montré que les spirales produisent plus de particules que les encens (2360  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  contre 1990  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ).

Pour le bois, la difficulté est similaire. Il y a beaucoup de données sur les effets de sa combustion, en particulier en ce qui concerne les maladies des obstructions des voies respiratoires, les bronchites chroniques ou le cancer du poumon. Mais ces effets sont attribuables à des expositions au bois utilisé pour la cuisine ou le chauffage et non à du bois utilisé dans la matrice des spirales anti-moustiques. Donc, même si les résultats obtenus par Rodolfo et *al.* (1996), dans le cas de l'exposition au bois de cuisine sont très significatifs, avec un OR=3,43,  $p<0,001$  pour les maladies des voies respiratoires et laissent présager les types d'effets envisageables, ils ne peuvent pas être transposés au cas des spirales anti-moustiques.

Enfin, compte tenu du caractère général de ces matrices, aucun n°CAS n'a pu être identifié. Il n'y a pas de description physico-chimique et aucune valeur toxicologique de référence n'est disponible pour ce type de matrice.

On ne peut donc pas conclure sur les effets sanitaires des matrices seules. Néanmoins les produits de dégradation tels les particules, les gaz, les COV et les composés carbonylés sont considérés dans la partie « polluants générés par la combustion de la spirale ».

*d) Les autres polluants présents dans la spirale : Les métaux et métalloïdes*

T.-S. Lin et F.-M. Shen (2004), ont mesuré des métaux lourds dans les émissions des spirales anti-moustiques. Ces métaux résultent sans doute de pollutions de la matrice.

L'appellation métaux lourds désigne tous les métaux de numéro atomique élevé, de densité supérieure à 5  $\text{g}/\text{cm}^3$  et qui forment des sulfures insolubles. Ils se trouvent fréquemment à l'état de traces. Voici les principaux métaux lourds et métalloïdes associés :

**Tableau 4 : Principaux métaux lourds et métalloïdes et n° CAS**

<b>Cadmium</b>	<b>74406-43-9</b>	<b>Plomb</b>	<b>7439-92-1</b>
<b>Manganèse</b>	<b>7439-96-5</b>	Mercuré	7439-97-6
<b>Chrome</b>	<b>7440-47-3</b>	<b>Nickel</b>	<b>7740-02-0</b>
<b>Cobalt</b>	<b>7440-48-4</b>	Zinc	7440-66-6
cuivre	1332-14-5	<b>Thallium</b>	<b>7440-28-0</b>
	7440-50-8		<b>82870-81-3</b>
Arsenic	7440-38-2	Argent	7440-22-4
Vanadium	7440-62-2	Bismuth	7440-69-9
Sélénium	7782-49-2	Antimoine	7440-36-0
Tellure	13494-80-9		

La plupart des métaux lourds et des métalloïdes associés forme des complexes avec d'autres composés.

Les métaux détectés dans les spirales anti-moustiques sont en gras dans le tableau ci-dessus. Les auteurs n'ayant pas fait de distinction entre les différentes formes de métal et leurs composés dans leurs études, elle ne sera pas distinguée ici non plus. La VTR retenue est donc celle qui représente le mieux l'ensemble du métal et de ses composés.

Les métaux étant émis lors de la combustion, la seule hypothèse considérée est leur présence dans l'air.

Le **cadmium** se trouve plutôt dans la phase particulaire et est inhalé en même temps que les plus fines particules. L'OEHHA a proposé, en 2003, une VTR pour une exposition chronique de durée moyenne 4,1 ans, définie pour des effets avec seuil sur les reins et le système respiratoire.  $REL=2.10^{-2} \mu\text{m}/\text{m}^3$ .

Le **cobalt** se trouve dans la fraction particulaire et pénètre dans l'organisme adsorbé sur les particules inhalables. En 2004, l'ATSDR a proposé une VTR pour une exposition chronique. La durée de l'étude n'a pas été précisée. Les effets considérés affectaient le système respiratoire.  $MRL=1.10^{-4} \text{mg}/\text{m}^3$ .

Le **plomb** n'est pas volatil. Il se trouve donc dans la phase particulaire et peut pénétrer dans l'organisme en même temps que la fraction inhalable des particules. En 2002, l'OEHHA a proposé un excès de risque unitaire par inhalation calculé à partir de l'étude ayant permis d'établir un excès de risque unitaire par ingestion. Cette étude a été réalisée sur une période deux ans chez des rats.  $ERUi=1,2.10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ .

Le **nickel** peut être présent sous forme d'aérosol ou adsorbé sur les particules. Toutefois, lorsqu'il est issu de la combustion, il est plutôt présent dans la phase particulaire. C'est cette information qui sera retenue pour la suite de l'étude. Le nickel pénètre donc dans l'organisme en même temps que les particules les plus fines. En 2005, l'ATSDR a proposé une VTR pour une exposition chronique, définie à partir d'une étude de 13 semaines chez des rats ayant développé des effets inflammatoires. En ce qui concerne les effets sans seuil, l'US EPA a proposé, en 1991, un excès de risque unitaire par inhalation de  $2,4.10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ .

Le **manganèse** n'est quasiment pas volatil. Il se trouve principalement adsorbé sur les particules les plus fines et est inhalé en même temps que celles-ci. En 2000, l'ATSDR a proposé une VTR pour une exposition chronique pendant une durée moyenne de 5,3 ans. Elle est définie pour des effets neurologiques avec seuil.

Le **chrome** peut se trouver sous forme d'aérosol ou sous forme particulaire. Rien ne permet ici de choisir entre les deux formes qui peuvent être présentes simultanément et en concentrations très variables. Une distinction est faite entre les expositions au chrome par aérosol et celle au chrome particulaire. En 1998, L'US EPA a proposé une VTR pour une exposition au chrome particulaire. Cette VTR est issue d'une étude de 90 jours réalisée chez le rat et a été ajustée par un coefficient tenant compte de l'extrapolation d'une exposition sub-chronique à chronique.  $RfC=1.10^{-4} \text{ mg/m}^3$ . L'US EPA a aussi proposé une VTR pour le chrome aérosol pour une exposition chronique. Elle a été établie à partir d'une étude épidémiologique sur une durée moyenne de 2,5 ans et définie pour des effets respiratoires.  $RfC=8.10^{-8} \text{ mg/m}^3$ . Enfin, un excès de risque unitaire par inhalation a été calculé, toujours par l'US EPA, pour le cancer du poumon.  $ERUi=1,2.10^{-2} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$ .

En ce qui concerne le **thallium**. Il est présent dans la phase particulaire et peut donc pénétrer dans l'organisme avec les plus fines particules. Ce polluant très toxique est peu étudié. Seul l'ATSDR a proposé une VTR de 0,005 ppm. Toutefois, les informations permettant d'établir cette VTR ne sont pas suffisamment claires et semblent indiquer que la valeur retenue est extrêmement sécuritaire. Le thallium ne sera donc pas pris en compte dans la suite de l'étude.

B) Les polluants générés par la combustion de la spirale

a) *Les éthers halogénés*

- **Le bis(chloro-méthyl)ether (dit BCME)**

Le bis(chloro-méthyl)ether (dit BCME) est formé lors de la mise en présence de formaldéhyde et d'acide chlorhydrique à des concentrations élevées [Kreiger et *al.*, 2003]. Ceci dit, la dégradation du BCME, soit par hydrolyse, soit par photo-oxydation, est particulièrement favorisée thermodynamiquement. Ce produit est en général considéré comme un contaminant peu présent dans l'environnement (1/2 vie < 2,9j, voire < 1 jour en condition d'air humide).

Dans le cas de la combustion de spirales anti-moustiques en air extérieur, le BCME est émis sous forme gazeuse et non persistant. De ce fait, il n'est pas considéré comme

un contaminant de l'environnement. Par contre, dans l'air intérieur, Krieger et *al.* s'interrogent du fait de sa cancérogénicité et de sa plus longue demi-vie.

L'OMS avait demandé la réalisation de mesures pour estimer l'exposition au BCME lors de l'utilisation de tortillons en air intérieur ; les résultats de ces mesures ne semblent pas encore être disponibles.

Le BCME est une substance chimique qui a été largement décrite dans la littérature en raison de ses effets toxicologiques [ATSDR, 1989 et WHO IPCS].

Ce produit a été étudié dans toutes les conditions d'exposition (par inhalation, ingestion et par contact cutané) afin d'observer ses effets mortels, systémiques, neurologiques, immunologiques, reprotoxiques, génotoxiques, cancérigènes ainsi que ses effets sur le développement.

Le BCME fait par ailleurs l'objet d'une monographie du IARC [IARC, monographie supplément 7, 1987], dans laquelle il est classé carcinogène avéré pour l'homme, avec un risque relatif de développer un cancer du poumon supérieur à 10 chez les travailleurs exposés.

L'US EPA (1991) présente dans son document IRIS un excès de risque unitaire par inhalation de  $6,2 \cdot 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{cm}^3)^{-1}$ .

Il est essentiel de vérifier sa présence lors de mesures en phase gazeuse.

- **Le chlorométhyl-méthyl ether (dit CMME)**

Le CMME est un éther halogéné volatil, comme le BCME, qui résulte lui aussi de la réaction du formaldéhyde avec de l'acide chlorhydrique. Bien que sa présence n'ait pas été mise en évidence lors de la combustion d'une spirale, l'OMS aurait demandé en 1998 de procéder à sa recherche, parallèlement à celle du BCME, lors de la combustion de spirales fumigènes contenant du S2 (Krieger et *al.*, 2003). Les résultats ne sont pas connus à ce jour.

Concernant la toxicologie de cette substance, les études réalisées sur la base de CMME technique (pollué par du BCME) ont conclu à sa cancérogénicité pour l'homme, alors qu'il semble que ce soit les traces de BCME qui soient en cause. Aucune VTR n'a été avancée par un organisme reconnu ou non.

Il est essentiel de vérifier sa présence lors de mesures en phase gazeuse.

b) *Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et autres produits aromatiques*

L'études de Weili Liu et al., (2003) a montré que la combustion des éléments organiques de la matrice génère des HAP. Les HAP forment un groupe de composés comportant au moins deux noyaux benzéniques fusionnés entre eux et ne sont constitués que d'atomes de carbones et d'hydrogène. Le groupe comprend 43 substances parmi lesquels l'US EPA distingue 16 prioritaires.

**Tableau 5 : Composés appartenant au groupe des HAP**

<b>Acénaphène</b>	83-32-9	<b>Benzo[k]fluoranthène</b>	<b>207-08-9</b>
	208-96-8		
Acénaphthylène	83-32-9	Chrysène	132769-75-6 132832-25-8 218-01-9
<b>Anthracène</b>	<b>120-12-7</b>	Dibenz[a,h]anthracène	53-70-3
	<b>58917-67-2</b>		
Benz[a]anthracène	56-55-3	<b>Fluoranthène</b>	<b>206-44-0</b>
<b>Benzo[a]pyrène</b>	<b>50-32-8</b>	<b>Fluorène</b>	<b>86-73-7</b>
<b>Benzo[b]fluoranthène</b>	<b>205-99-2</b>	Indeno[1,2,3-cd]pyrène	193-39-5
<b>Benzo[g,h,i]perylène</b>	<b>192-24-2</b>	Naphtalène	91-20-3
<b>Pyrène</b>	<b>129-00-0</b>	<b>Phénanthrène</b>	<b>85-01-8</b>

Dix ont effectivement été mis en évidence dans les fumées des spirales anti-moustiques. Ils sont en gras dans la liste ci-dessus. L'étude se limite à ces dix HAP.

Dans le cas de HAP émis durant la combustion de spirales anti-moustiques, les principales voies d'exposition à considérer sont l'inhalation et, dans une moindre mesure, l'ingestion. L'exposition par voie cutanée semble peu plausible et n'est que peu étudiée.

La plupart des études menées sur les HAP a permis de définir des VTR pour des expositions par ingestion et non par inhalation. Parmi les HAP détectés, par Weili Liu et al. (2003), dans les émissions des spirales anti-moustiques seuls le benzo[a]pyrène et benzo[b]fluoranthène disposent de VTR déterminées pour une exposition par inhalation et peuvent être pris en compte dans la suite de l'étude.

Dans l'air, le **benzo[a]pyrène** est adsorbé sur la matière particulaire. Il se dégrade en quelques jours. L'OMS a proposé, en 2000, un excès de risque unitaire par inhalation de  $8,7 \cdot 10^{-5} \text{ (ng/m}^3\text{)}^{-1}$ .

Le **benzo[b]fluoranthène** se trouve adsorbé sur les particules volatiles. Il se dégrade en quelques heures. En 2000, l'OEHHA a calculé un excès de risque unitaire par inhalation de  $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}^{-1}$ . Cette valeur a été calculée à partir de celle du benzo[a]pyrène, modifiée par un facteur d'équivalence toxicologique, selon la méthode décrite dans le rapport de l'INERIS sur les « Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques » (2006).



c) *Les particules*

Une distinction est généralement effectuée parmi les particules émises par la combustion des serpentins en fonction de leur taille : les particules grossières, les particules respirables et les particules ultrafines de diamètres de coupure respectifs 10, 2.5 et 0.1  $\mu\text{m}$ .

Les particules submicroniques, sur lesquelles s'adsorbent divers composés dont les pyréthrinoïdes, sont animées d'un mouvement brownien nullement influencé par la ventilation et faiblement par les courants thermiques.

Les associations entre la pollution particulaire et la mortalité globale, d'une part, et entre la pollution particulaire et la mortalité spécifiquement respiratoire, d'autre part, ont été largement documentées. Les effets des particules sur la santé sont sans seuil et cancérogènes voire reprotoxiques.

En revanche, les mécanismes d'action des particules sur l'organisme sont peu connus. Les effets sanitaires sont toutefois avérés tels que les problèmes cardiovasculaires (infarctus du myocarde) et respiratoires.

Les effets des  $\text{PM}_{10}$  sur la santé sont les suivants :

- A court terme, une mortalité cardio-pulmonaire, l'apparition de maladies respiratoires et une baisse de la capacité pulmonaire.
- A long terme, un cancer du poumon

Aucune étude à ce jour n'a relaté les effets propres des particules ultrafines qui semblent assimilés à ceux des composés adsorbés.

Le programme de surveillance air et santé (InVS, 2006) a montré une augmentation de la mortalité totale liée à une exposition à court terme de 1,4 et 1,5 % pour une augmentation de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de la concentration en respectivement  $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2,5}$ .

L'étude PAARC (Filleul et al., 2005) menée en France a montré que pour une exposition chronique aux particules totales en suspension augmentée de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , la mortalité toutes causes non accidentelles progresse de 0,7 %

En 2006, l'observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) publiait un rapport sur la concentration en polluants dans l'air intérieur d'un échantillon de foyers français.

- $\text{PM}_{10}$  :
  - o Médiane : 31,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
  - o 95ème percentile : 182,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- $\text{PM}_{2,5}$  :
  - o Médiane : 19,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
  - o 95ème percentile : 132,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## d) Les gaz

### **Le monoxyde de carbone**

Le monoxyde de carbone est un gaz incolore et inodore, résultant d'une combustion incomplète, et ce quel que soit le combustible. Il est inhalé dans l'air et absorbé par les poumons lors de la respiration. C'est un gaz asphyxiant très toxique. Sa toxicité résulte de sa combinaison avec l'hémoglobine qui amoindrit le transport de l'oxygène vers les tissus. Le monoxyde de carbone peut également se combiner à d'autres protéines, tels la myoglobine du muscle et certains cytochromes.

La VTR retenue est celle proposée par l'OMS en 2000, soit  $10 \text{ mg.m}^{-3}$ , et doit protéger l'ensemble de la population. La durée d'exposition utilisée est de 8h.

### **Les oxydes d'azote**

La présence d'azote atmosphérique dans toute combustion aboutit à la production d'oxydes d'azote, constitués principalement de monoxyde d'azote et de dioxyde d'azote. Le monoxyde d'azote, rapidement oxydé en dioxyde d'azote, est 5 fois moins toxique que le dioxyde d'azote. Les oxydes d'azote pénètrent dans l'organisme principalement par inhalation.

D'après le CIRC, le monoxyde et le dioxyde d'azote ne sont pas classés cancérogènes. Le dioxyde d'azote n'est pas classé génotoxique ; le monoxyde d'azote n'a pas été étudié par l'Union Européenne. Le dioxyde d'azote n'est pas classé toxique pour la reproduction ou le développement ; le monoxyde d'azote n'a pas été étudié par l'Union Européenne.

L'OEHHA propose un REL de 0,25 ppm (0,47 mg/m<sup>3</sup> ou 470 µg/m<sup>3</sup>) pour une exposition aiguë au dioxyde d'azote par inhalation (1999). Cette valeur est établie à partir d'un NOAEL de 0,25 ppm pour une exposition de 1 heure.

### **Le méthane**

De fortes concentrations de méthane (140.000 ppm) peuvent déplacer l'oxygène et provoquer l'asphyxie. Lors de la combustion des spirales anti-moustiques, de telles concentrations de méthane ne sont pas produites. Le méthane ne sera pas considéré dans cette évaluation des risques.

e) Les COV

### **Toluène**

Le toluène est un hydrocarbure non méthanique produit lors de la combustion des spirales anti-moustiques. La voie principale d'exposition du toluène est l'inhalation. L'inhalation de vapeurs de toluène peut affecter le système nerveux central (SNC).

D'après le CIRC, le toluène ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme. Le toluène a été examiné pour son caractère génotoxique par l'Union Européenne mais n'a pas été classé. Par contre il est en catégorie 3 « substance préoccupante pour la fertilité dans l'espèce humaine ou pour l'homme en raison d'effets toxiques possible sur le développement ».

L'ATSDR a proposé en 2000 des VTR par inhalation pour plusieurs durées d'exposition, en particulier pour du court terme (VTR = 3,8 mg/m<sup>3</sup>, UF = 10) et pour du chronique (VTR = 0,03 mg/m<sup>3</sup>, UF = 10).

### **Dichlorométhane ou chlorure de méthylène**

Le dichlorométhane est une substance chimique agissant principalement sur le système nerveux central. L'inhalation est la voie d'exposition principale de l'homme.

Il a fait l'objet d'une monographie du IARC et a été classée dans le groupe 2B : l'agent pourrait être cancérigène pour l'homme. Le chlorure de méthylène a été examiné pour déterminer son caractère génotoxique mais n'a pas été classé par l'Union Européenne.

L'ATSDR a proposé en 2000 des VTR par inhalation pour plusieurs durées d'exposition, en particulier pour du court terme (VTR = 2,1 mg/m<sup>3</sup>, UF = 100) et pour du chronique (VTR = 1,1 mg/m<sup>3</sup>, UF = 30). L'US EPA présente dans son document IRIS un excès de risque unitaire par inhalation de  $4,7 \cdot 10^{-7} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$

### **cis-1,2-Dichloroéthylène**

Le cis-1,2-dichloroéthylène est un isomère du dichloroéthylène, irritant pour les yeux et les voies respiratoires.

La littérature ne rapporte aucun cas d'intoxication liée à une exposition à court ou long terme, et quelle que soit la voie d'exposition (inhalation, ingestion et cutanée) au dichloroéthylène. Il n'y a pas d'effet cancérogène, ou d'effet sur le développement connu (ATSDR, 1996).

Le RIVM propose, pour l'isomère cis, une pTCA (TCA provisoire) de  $3 \cdot 10^{-2} \text{ mg}/\text{m}^3$  pour une exposition chronique par inhalation.

## **Chloroforme**

Le chloroforme peut pénétrer dans l'organisme par inhalation, ingestion ou voie cutanée. Dans cette étude, nous nous intéresserons uniquement aux effets du chloroforme par inhalation.

L'inhalation de fortes concentrations en chloroforme induit principalement une dépression du système nerveux central. Une sensation d'inconfort peut survenir dès 50 ppm (ATSDR, 1998). L'exposition chronique aux vapeurs de chloroforme induit des effets sur le foie et le système nerveux central.

D'après l'US EPA, le chloroforme pourrait être cancérigène pour l'homme (groupe 2B). Cependant, Il n'existe pas d'études concernant les effets cancérogènes du chloroforme par inhalation chez l'homme et l'animal (ATSDR, 1998). Le chloroforme a été examiné par l'Union Européenne mais n'a pas été classé pour son caractère génotoxique. Les études sur les liens entre exposition au chloroforme et troubles de la reproduction et du développement chez l'homme sont difficiles à interpréter.

L'ATSDR a proposé en 1998 des VTR par inhalation pour plusieurs durées d'exposition, en particulier pour du court terme (VTR = 0,488 mg/m<sup>3</sup>, UF = 30) et pour du chronique (VTR = 0,098 mg/m<sup>3</sup>, UF = 100).

## **1,2 dichloroéthane**

Plusieurs cas d'intoxication aiguë par inhalation et par ingestion ont fait l'objet de publications. Seule l'inhalation sera envisagée ici.

La toxicité chronique du 1, 2-dichloroéthane pour l'espèce humaine est mal connue. Les troubles décrits chez les ouvriers exposés sont une anorexie, des nausées, des douleurs abdominales, une somnolence, des atteintes hépatiques et rénales et des dermatoses orthoergiques.

Le CIRC a classé le 1,2 dichloroéthane dans le groupe 2B ; cette substance pourrait être cancérigène pour l'homme. Cependant, les études réalisées en milieu professionnel n'ont pas permis d'associer l'exposition par inhalation au 1,2-dichloroéthane à un risque accru de cancer (ATSDR, 2001). Le 1,2 dichloroéthane a été examiné par l'Union Européenne mais est non classé génotoxique. La seule étude ayant examiné les effets du 1,2-dichloroéthane sur la fonction de reproduction évoque un lien possible entre l'exposition des parents et l'augmentation des naissances prématurées.

L'ATSDR propose une valeur toxicologique de référence de 0,6 ppm (3 mg/m<sup>3</sup>) pour une exposition chronique par inhalation. L'US EPA propose une valeur d'excès de risque unitaire par inhalation de  $2,6 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$

### **Les xylènes (m-xylènes, p-xylènes, o-xylènes)**

Le xylène possède 3 isomères : le m-xylène, le p-xylène, le o-xylène. Ces trois isomères sont produits lors de la combustion des spirales anti-moustiques.

D'après le CIRC, l'agent ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme (groupe 3). Le xylène et ses isomères ont été examinés par l'Union Européenne mais n'ont pas été classés pour leur caractère génotoxique.

Chez l'homme, l'effet du xylène sur la reproduction est difficile à déterminer du fait du nombre limité de données. Certaines études chez l'homme suggèrent une relation possible entre l'exposition par voie pulmonaire au xylène et un défaut au niveau du développement.

L'US EPA (IRIS) propose une valeur toxicologique de référence de 0,1 mg/m<sup>3</sup> pour une exposition chronique sur trois mois par inhalation au m-xylène. L'ATSDR propose en 1995 une valeur toxicologique de référence de 2 ppm (8,7 mg/m<sup>3</sup>) pour une exposition aiguë de quatre heures par voie pulmonaire à un mélange de xylènes et une autre, en 2005, de 0,05 ppm (0,22 mg/m<sup>3</sup>) pour une exposition chronique par voie inhalation à un mélange de xylènes.

### **Styrène**

Lors d'une exposition aiguë au styrène par inhalation, le système nerveux central peut être atteint provoquant des céphalés, des vertiges, des somnolences, des troubles de la coordination, de l'asthénie. Une exposition chronique au styrène provoque une toxicité pulmonaire. En effet, l'inhalation chez les travailleurs exposés au styrène peut causer une irritation des voies respiratoires. De plus, le styrène est décrit comme neurotoxique du système nerveux central, du système nerveux périphérique et du système nerveux autonome.

D'après le CIRC, l'agent pourrait être cancérogène pour l'homme (Groupe 2B). Le styrène a été examiné par l'Union Européenne mais n'a pas été classé pour un caractère génotoxique. Le styrène a été examiné par l'Union Européenne mais n'a pas été classé pour ses effets reprotoxiques.

L'OEHHA a établi un REL de 21 mg/m<sup>3</sup> pour une exposition aiguë par inhalation (1999). L'OEHHA a établi un REL de 0,9 mg/m<sup>3</sup> pour une exposition chronique par inhalation.

f) *Les composés carbonylés*

Les composés carbonylés regroupent les aldéhydes et les cétones, et se caractérisent par un atome de carbone relié à un atome d'oxygène par une double liaison (C=O).

Un certain nombre de composés carbonylés peuvent se dégager lors de la combustion d'une spirale anti-moustiques (Tableau 6). Du fait de leur pression de vapeur supérieure à 1 mm Hg, ces composés sont volatils et vont donc se retrouver principalement sous forme gazeuse dans l'air. La voie principale d'exposition aux composés carbonylés émis lors de l'utilisation de spirales est donc l'inhalation.

**Tableau 6 : Composés carbonylés émis lors de la combustion d'une spirale anti-moustiques**

Acétaldéhyde	75-07-0	Methacroléine	78-85-3
Acétone	67-64-1	Methylglyoxal	78-98-8
Acroléine	107-02-8	4-Methyl-2-pentanone	108-10-1
2-Butanone	78-93-3	Propionaldéhyde	123-38-6
Butyraldéhyde	123-72-8	M-Tolualdéhyde	620-23-5
Crotonaldéhyde	4170-30-3	o-Tolualdéhyde	529-20-4
Formaldéhyde	50-00-0	Valeraldéhyde	110-62-3
Glyoxal	107-22-2		

### **Le formaldéhyde**

Le formaldéhyde est une substance émise lors de réactions de combustion incomplètes. C'est par ailleurs une substance fréquemment retrouvée dans l'air intérieur de l'habitat en raison de son utilisation dans la fabrication ou la formulation de nombreux produits de construction et de consommation courante.

Cette substance a fait l'objet de nombreuses études toxicologiques qui ont conduit à l'établissement de nombreuses valeurs toxicologiques de référence, selon les différentes voies et durées d'exposition. Le CIRC l'a par ailleurs classée en catégorie 1 (cancérogène pour l'homme) pour la voie par inhalation.

L'AFSSET a récemment publié (juillet 2007) un rapport proposant des valeurs guides de l'air intérieur concernant le formaldéhyde.

Les données toxicologiques sont largement discutées dans ce rapport. Il est ici proposé de retenir comme VTR pour la voie par inhalation :

- pour une exposition aiguë : la valeur proposée par l'ATSDR conduisant à une irritation et une réponse inflammatoire (VTR =  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ; il s'agit par ailleurs de la valeur retenue par l'AFSSET comme valeur guide pour une exposition court terme sur 2h.

- pour une exposition chronique, la VTR construite par l'ATSDR (VTR =  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sur la base d'une étude épidémiologique s'intéressant à une population de travailleurs, bien

qu'il existe des VTR sans seuil pour l'exposition chronique. Les excès de risque proposés par l'US EPA et l'OEHHA (respectivement de  $1,3 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$  et  $6 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ ) semblent en effet critiqués par la communauté scientifique qui s'accorde sur l'existence d'un seuil pour les cancers du nasopharynx. La valeur guide retenue par l'AFSSET pour une exposition chronique correspond ainsi à la VTR construite par l'ATSDR (de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### Les autres aldéhydes et cétones

D'après Liu et al. (2003) et Lee et Wang (2005), l'acétaldéhyde, l'acroléine et le propanaldéhyde sont les composés carbonylés les plus émis après le formaldéhyde. Il s'avère que ces trois composés sont ceux présentant les VTR les plus faibles par voie d'inhalation et étant, pour deux d'entre eux, classés selon le CIRC en 2B (cancérogène possible pour l'homme) pour l'acétaldéhyde ou en 3 (inclassable) pour l'acroléine.

Le tableau ci-dessous récapitule l'ensemble des VTR retenues pour la suite de l'étude.

**Tableau 7 : VTR retenue pour les composés carbonylés**

Substance	Exposition	VTR	Organisme
Acétaldéhyde	Inhalation chronique avec seuil	RfC = $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$	US EPA
	Inhalation chronique sans seuil	ERU = $2,2 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	US EPA
Acétone	Inhalation aiguë avec seuil	MRL = $69 \text{mg}/\text{m}^3$	ATSDR
	Inhalation chronique avec seuil	MRL = $31 \text{mg}/\text{m}^3$	ATSDR
Acroléine	Inhalation chronique avec seuil	RfC = $2 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$	US EPA
	Inhalation aiguë avec seuil	MRL = $6,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$	ATSDR
2-Butanone	Inhalation chronique avec seuil	RfC = $5 \text{mg}/\text{m}^3$	US EPA
4-Méthyl-2-pentanone	Inhalation chronique avec seuil	RfC = $3 \text{mg}/\text{m}^3$	US EPA
Propanaldéhyde	Inhalation chronique avec seuil	RfC = $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$	US EPA

## 1.3 Hiérarchisation des substances et sélection

### 1.3.1 La démarche de hiérarchisation

Du fait du grand nombre de polluants identifiés suite à la recherche bibliographique, il est indispensable de les hiérarchiser afin de pouvoir se concentrer sur les polluants les plus problématiques, et ce en raison du manque de temps et de données.

Le classement des polluants a été réalisé par le calcul d'un score prenant en compte deux paramètres : la concentration dans l'air calculée à partir des résultats expérimentaux

publiés dans la littérature et la VTR choisie en fonction des différentes expositions considérées, aiguë ou chronique.

Les données de concentrations et de VTR étant toutes les deux nécessaires, l'absence de l'une d'elles induit l'exclusion du polluant dans la hiérarchisation.

#### A) Détermination du critère concentration

Trois articles présentent des mesures de concentrations de polluants émis lors de la combustion de spirales anti-moustiques. Ils sont rapidement présentés ci-dessous.

T.-S. Lin et F.-M. Shen (2004) se sont intéressés aux émissions de métaux et présentent les taux d'émission et les concentrations émises pour une spirale brûlée pendant 8h dans une chambre de combustion de 60cm<sup>3</sup> avec des taux de renouvellement d'air variant de 0 à 1, sous des conditions de température et d'humidité contrôlées. Une estimation des concentrations maximales d'émission pour les métaux a été réalisée par les auteurs pour un volume de 60m<sup>3</sup>, un taux de renouvellement de l'air de zéro, et une combustion de 8h.

Liu et al (2003) se sont intéressés aux polluants émis lors de la combustion de 6 spirales (2 malaisiennes et 4 chinoises) dans une chambre d'émission de 0,15m<sup>3</sup>, dont le flux entrant est de 5,59 L/min. Le taux de renouvellement d'air est théoriquement de 2,24/h, mais après contrôle, il s'avère inférieur de 10% à la valeur fixée. Les taux d'émission (exprimés en mg/h ou en µg/h) de particules PM<sub>2,5</sub>, de HAP et de composés carbonylés ont été déterminés par des mesures spécifiques, réalisées sur des durées adaptées à chaque famille de polluant. Par ailleurs les auteurs mentionnent avoir identifié les COV émis, mais ne présentent aucune quantification.

S.C. Lee et B.Wang (2006) ont étudié les polluants émis lors de la combustion de 5 types de spirales anti-moustiques, parallèlement à ceux émis par 5 types de bougies. Les spirales ont été coupées de façon à brûler pendant une heure environ, dans une chambre d'émission expérimentale de 18,26m<sup>3</sup>, dont les conditions d'humidité et de renouvellement d'air sont contrôlées (respectivement 50+/-5%, et 0,5 +/-0,02h<sup>-1</sup>).

Les taux d'émission (exprimés en mg/h ou en µg/h) ont été mesurés pour les particules (PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>) et les gaz (CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub> et les NMHC). Dans le cas des composés carbonylés (formaldéhyde, acétaldéhyde, acétone, acroléine, propionaldéhyde, crotonaldéhyde, méthacroleine, butyraldéhyde, valéraldéhyde, et M-tolualdéhyde) et des COV (le chlorure de méthylène, le cis-1,2-dichloroéthène, le chloroforme, le 1,2-dichloroéthane, le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, les m- et p-xylène, le styrène et l'o-xylène), ce sont les concentrations calculées à partir des taux d'émission qui sont proposées.



Ces différentes mesures ont été réalisées sous des conditions variables en particulier concernant la ventilation.

Etant donné que chaque article se concentre sur une partie des polluants listés dans l'étape d'identification, il est nécessaire, pour les comparer, de prendre en compte l'impact du taux de renouvellement d'air sur la concentration des polluants émis pour pouvoir, le cas échéant, l'intégrer dans le calcul du score.

La concentration d'un polluant dépend de multiples paramètres :

- Le polluant, ses propriétés physico-chimiques (volatilité, coefficient de diffusion dans l'air, sa pression de vapeur), ...
- L'émission avec le taux d'émission, sa continuité ou sa variabilité au cours du temps, la durée, les propriétés de la source (ponctuelle ou diffuse), ...
- Les conditions environnementales (pression, température, taux d'humidité...)
- Les caractéristiques de la pièce (volume, capacité de rétention et/ou de réémission des matériaux, flux d'air et leurs directions...)

Pour connaître la concentration d'un polluant dans des conditions données, il existe deux possibilités : la mesure ou la modélisation.

La mesure est souvent la méthode qui permet d'être le plus proche de la concentration réelle, aux incertitudes de mesures près. Par contre les mesures sont chères et ne sont donc pas adaptées lorsqu'il s'agit de faire varier les nombreux paramètres déterminants la concentration.

Dans le cas de la modélisation, la prise en compte de tous les paramètres listés ci-dessus implique l'utilisation d'équations mathématiques très complexes et donc de modèles très lourds. Des approximations et simplifications sont donc souvent introduites pour faciliter le calcul. Cette méthode est donc moins précise mais permet de faire varier les paramètres à volonté.

Nous avons choisi d'utiliser le modèle proposé par l'AFSSET présenté en annexe D.

Il est important de remarquer qu'il ne prend pas en considération la nature du polluant (volatile, semi-volatile, non volatile ou métallique, ...). Par conséquent, la variation du taux de renouvellement d'air engendrera le même abattement de la concentration quelque soit le polluant considéré, et n'influencera pas l'ordre des polluants à l'issue du calcul des score.

Le fait de ne pas prendre en compte la nature du polluant constitue une limite de ce modèle au vu des calculs effectués à partir des résultats de l'étude de Lin et Shen (2004) : le taux de renouvellement de l'air, plus particulièrement jusqu'à 1Volume/h,

semble en effet peu influencer les concentrations de polluants métalliques. La démonstration est présentée en annexe D.

Les concentrations des polluants ont finalement été calculées pour un taux de renouvellement de 0,5, ce qui semble, au vu de la littérature, le taux de renouvellement d'air moyen d'une maison. Une analyse de sensibilité portant sur l'influence du taux de renouvellement d'air sera menée par la suite.

Pour les polluants présentant des VTR pour des expositions aiguës et/ou chroniques, la question de considérer deux concentrations différentes a été envisagée. Mais la plupart des données recueillies correspondent à des combustions de huit heures et ne permettent pas de suivre les variations probables de l'émission. En absence de ces données, il est impossible d'estimer la concentration de l'exposition aiguë qui correspondrait au maximum de concentration émise. Une unique concentration pour les deux types d'exposition a donc été retenue, ce qui revient à considérer que l'émission est constante tout au long de la combustion, comme énoncé précédemment dans les hypothèses du modèle.

Les calculs effectués pour les carbonyles, les HAP, les métaux et les COV, à partir des données de la littérature sont présentés en annexe E. Pour toutes les autres substances répertoriées en première partie, aucun score ne peut être envisagé en raison de l'absence de données relatives à leur concentration.

## B) Calcul du score

Afin d'obtenir un score rigoureux et significatif, une première distinction doit être réalisée entre les substances actives et les autres polluants dans la mesure où les concentrations des premières sont issues de la teneur initiale dans la spirale alors que celles des secondes sont issues de mesures d'émission dans l'air. Une hiérarchisation est donc établie exclusivement pour les substances actives, et une autre pour les polluants émis.

Il a fallu par ailleurs distinguer, les expositions aiguës avec effet à seuil, les expositions chroniques avec effet à seuil et les expositions chroniques avec effet sans seuil.

Les scores calculés pour les effets à seuil correspondent au quotient de la concentration du polluant sur la VTR, tandis que pour les effets sans seuil, les scores résultent du produit de la concentration du polluant et de la VTR (cf. Annexe F).

### **1.3.2 Le cas des polluants n'ayant pas été intégrés à la hiérarchisation**

#### **Les substances actives**

Aucun article ne renseigne sur des valeurs de concentrations des substances actives dans l'air résultant des émissions d'une spirale anti-moustiques. Les concentrations utilisées pour la hiérarchisation ont dû être calculées à partir de la teneur massique maximale des spirales respectivement en pyrèthre, alléthrine, methofluthrine, transfluthrine et pralléthrine, en supposant que l'intégralité de ces substances était émise sous forme particulaire inhalable. Par ailleurs, faute de données, les émissions sont considérées constantes au cours du temps, si bien que les concentrations pour l'exposition aiguë et l'exposition chronique sont les mêmes.

Les résultats sont présentés en annexe G. Toutefois ils ne seront pas utilisés dans la suite de l'évaluation parce qu'ils ont été obtenus sur la base d'hypothèses estimées moins fiables que celles posées pour les autres polluants.

#### **Les particules**

Les particules sont responsables d'effets sans seuil à court terme pour des expositions courtes à des doses supérieures à la moyenne. Les relations dose-réponse disponibles (InVS, 2006, et Filleul, 2005) ont été déterminées à partir de recherches sur les effets de la pollution atmosphérique. Elles ne correspondent par conséquent pas au cas de figure de la pollution de l'habitat intérieur traité ici, c'est pourquoi les particules ne seront pas prises en compte par la suite.

### **1.3.3 Les polluants sélectionnés**

Les tableaux suivants présentent les polluants qui ont été finalement sélectionnés pour la suite de l'étude. Pour chaque exposition et seuils considérés, les trois polluants les mieux classés ont été conservés. Dans le cas où un des polluants était présent sous deux formes différentes en tête de classement, le quatrième polluant de la liste a été ajouté à la sélection.

**Tableau 8 : Les trois polluants les plus pénalisants pour une exposition aiguë avec des effets à seuil**

Exposition aiguë pour des effets avec seuil	VTR avec seuil (mg/m <sup>3</sup> ) Aiguë	Concentration (médiane) en mg/m <sup>3</sup> (pour 8 h dans 30 m <sup>3</sup> avec une aération de 0,5 V/h)	SCORE
Acroleine	0,0069	0,020	2,8
Formaldéhyde	0,05	0,119	2,4
Monoxyde de carbone	10	12	1,2

**Tableau 9 : Les trois polluants les plus pénalisants pour une exposition chronique avec des effets à seuil**

Exposition chronique pour des effets avec seuil	VTR avec seuil (mg/m <sup>3</sup> ) Chronique	Concentration (médiane) en mg/m <sup>3</sup> (pour 8 h dans 30 m <sup>3</sup> avec une aération de 0,5 V/h)	SCORE
Acroleine	0,00002	0,0196	980
Chrome sous forme particulaire	0,000008	0,0012	148
Acétaldéhyde	0,009	0,130	14,4

**Tableau 10 : Les quatre polluants les plus pénalisants pour une exposition chronique avec des effets sans seuil**

Exposition chronique pour des effets sans seuil	VTR sans seuil (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> Chronique	Concentration (médiane) en mg/m <sup>3</sup> (pour 8 h dans 30 m <sup>3</sup> avec une aération de 0,5 V/h)	SCORE
Chrome sous forme particulaire	12	0,00118	0,0142
Chrome sous forme d'aérosol	12	0,00118	0,0142
Acétaldéhyde	0,0022	0,13	0,00029
Benzo[a]pyrène	8,7	0,00002	0,00015

Les polluants les mieux classés sont les plus pénalisants et les plus préoccupants. Ils seront conservés pour la suite de l'évaluation des risques.

Il est intéressant d'observer que les concentrations présentées dans les tableaux qui précèdent, lors de la combustion de spirales anti-moustiques dans l'habitat intérieur, sont globalement supérieures à celles mesurées dans un parking souterrain (P. Glorennec et al, 2008). En dehors du CO, pour lequel la concentration est équivalente, les écarts varient d'environ un facteur 2 pour l'acroléine et le benzo[a]pyrène, d'environ 20 pour l'acétaldéhyde, et de 100 pour le formaldéhyde.

Les concentrations de certains polluants peuvent également être comparées aux valeurs de concentration observées habituellement dans les logements français (Kirchner S., 2007). Celles de l'acroléine et de l'acétaldéhyde issues de la combustion d'une spirale sont encore dix à vingt fois supérieures à celles mesurées habituellement dans l'air.

## **2 Estimation des expositions et calculs du risque**

### **2.1 Définition des expositions et des conditions d'exposition**

Les spirales anti-moustiques sont majoritairement utilisées dans des zones géographiques où les moustiques sont endémiques. En France, ces zones comprennent majoritairement les régions, les départements et les collectivités d'outre-mer tropicaux: Martinique, Guadeloupe, Guyane, Polynésie Française, Nouvelle-Calédonie, Réunion, Mayotte, Saint-Martin et Saint-Barthélemy, Wallis-et-Futuna. La population concernée représentait 2 624 505 habitants au 1<sup>er</sup> janvier 2009 pour l'outre-mer.

Une étude menée en Côte d'Ivoire (J.M.C.Doannio et al., 2003) démontre que la majorité des habitants, entre 68% et 98%, utilise les spirales anti-moustiques pour se protéger. La raison avancée est le faible coût de ce mode de protection comparé à une moustiquaire imprégnée par exemple. En France, le coût est sans doute un élément moins décisif dans le choix des habitants. Le taux d'utilisation des spirales anti-moustiques doit donc être légèrement plus faible. 70% semble une bonne estimation.

Différentes expositions peuvent être envisagées en fonction de la population considérée.

- L'exposition aiguë est définie comme l'exposition à la combustion d'une seule spirale anti-moustiques, soit huit heures de combustion. L'utilisation plausible d'une spirale est d'une par pièce. Une personne n'est donc exposée qu'à une spirale à la fois quelque soit le nombre de spirales utilisées dans son logement. Cette exposition concerne aussi bien les touristes ou personnes effectuant un bref séjour dans les régions considérées que les personnes habitant en permanence dans ces zones.

- L'exposition chronique est définie comme une exposition durant une vie entière, soit soixante-dix ans, durant les périodes de présence des moustiques, soit sept mois par an, en utilisant une spirale par nuit, soit huit heures par jour. Cette exposition ne concerne a priori que les personnes vivant en permanence dans les régions de France considérées.

L'aération et le volume de la pièce semblaient être les paramètres déterminants. La durée d'exposition a déjà été prise en compte et les autres paramètres qui pourraient être

intéressants tels que la persistance des polluants, leur taux d'adsorption sur les matières et les surfaces et le taux de relargage ne sont pas renseignés dans la littérature et nécessiteraient des études spécifiques. Le volume de la pièce choisi est 30m<sup>3</sup>, volume moyen plausible des pièces principales des habitations des DROM-COM. Les expositions seront calculées pour une aération nulle.

## 2.2 Calcul des quotients de danger et des excès de risques individuels

Un quotient de danger (QD) a été calculé pour les substances présentant un effet à seuil. Pour les expositions aiguës, ce QD correspond au rapport de la concentration du polluant sur la VTR aiguë. Pour les expositions chroniques, le QD est de la même façon calculé en faisant le rapport de la concentration du polluant sur sa VTR chronique, en pondérant par le facteur temps (8 heures par jour et 7 mois par an, tout au long de la vie). Un QD supérieur à la valeur 1 signifie que la concentration de polluant inhalée présente un risque avéré pour la santé.

Dans le cas des substances présentant un effet sur la santé sans seuil, un excès de risque individuel (ERI) a été quantifié. L'ERI correspond à une augmentation de la probabilité de développer des effets sanitaires pour un individu suite à son exposition à la substance considérée. Il est admis par consensus qu'un ERI de 10<sup>-5</sup> correspond à un excès de risque acceptable en santé publique.

**Tableau 11 : Quotient de danger pour une exposition aiguë, pour des effets avec seuil**

Exposition aiguë pour des effets avec seuil	VTR avec seuil (mg/m <sup>3</sup> ) aiguë	Concentration (médiane) en mg/m <sup>3</sup> (pour 8 h dans 30 m <sup>3</sup> avec une aération de 0,5 V /h)	QD avec seuil (8h)
Acroléine	0,0069	0,020	2,8
Formaldéhyde	0,05	0,119	2,4
monoxyde de carbone	10	11,95	1,2

**Tableau 12 : Quotient de danger pour une exposition chronique, pour des effets avec seuil**

Exposition chronique pour des effets avec seuil	VTR avec seuil (mg/m <sup>3</sup> ) Chronique	Concentration (médiane) en mg/m <sup>3</sup> (pour 8 h dans 30 m <sup>3</sup> avec une aération de 0,5 V/h)	QD avec seuil (8h/j pendant 7 mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	0,00002	0,0196	191
Chrome sous forme particulaire	0,000008	0,0012	29
Acétaldéhyde	0,009	0,130	3

**Tableau 13 : Excès de risque individuel pour une exposition chronique sans seuil**

Exposition chronique pour des effets sans seuil	VTR sans seuil (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> Chronique	Concentration (médiane) en mg/m <sup>3</sup> (pour 8 h dans 30 m <sup>3</sup> avec une aération de 0,5 V/h)	ERI chronique sans seuil (8h/j pendant 7 mois par an pendant 70 ans)
Chrome sous forme particulaire	12	0,00118	2,8E-03
Chrome sous forme d'aérosol	12	0,00118	2,8E-03
Acétaldéhyde	0,0022	0,13	5,6E-05
Benzo[a]pyrène	8,7	0,00002	3,0E-05

Concernant les substances retenues pour l'évaluation quantitative du risque sanitaire (EQRS), les tableaux précédents montrent que :

- l'acroléine, le formaldéhyde et le monoxyde de carbone présentent un risque inacceptable pour une exposition aiguë
- l'acroléine, le chrome sous forme particulaire et l'acétaldéhyde présentent un risque inacceptable pour une exposition chronique
- le chrome, sous forme d'aérosol et de particules, l'acétaldéhyde, et le benzo[a]pyrène présentent un excès de risque individuel inacceptable pour une exposition chronique.

## 2.3 Impact sanitaire

L'impact sanitaire est le risque engendré par l'utilisation des spirales anti-moustiques dans l'habitat intérieur, à l'échelle d'une population. Il n'est calculé que pour les effets sans seuil.

La population considérée est ici celle des habitants des DROM-COM. L'impact sanitaire est le produit des ERI calculés plus haut par l'effectif de la population.

**Tableau 14 : Impact sanitaire pour une exposition chronique sans seuil**

<b>Exposition chronique pour des effets sans seuil</b>	<b>ERI chronique sans seuil (8h/j pendant 7 mois par an pendant 70 ans)</b>	<b>Impact sanitaire</b>
Chrome sous forme particulaire	2,76E-03	5078
Chrome sous forme d'aérosol	2,76E-03	5078
Acétaldéhyde	5,56E-05	102
Benzo[a]pyrène	2,97E-05	55

Les calculs d'impacts sanitaires sont alarmants. Pour le Chrome, près 5 000 cancers du poumon pourraient être attribuables au seul fait d'utiliser des spirales anti-moustiques en intérieur. Ce pourrait être plus de 100 cas de cancer nasal dû à l'acétaldéhyde et une cinquantaine de cas pour un cancer de l'appareil respiratoire dû au benzo[a]pyrène.

## 2.4 Analyse de sensibilité

L'étude de sensibilité, présentée en annexe I, a été réalisée respectivement pour les expositions aiguës avec effet à seuil, chroniques avec effet à seuil et chroniques avec effet sans seuil.

Pour chacune d'elles, les quatre paramètres suivants ont été étudiés :

- le type de spirale (avec la prise en compte des taux d'émission extrêmes : minimal, médian et maximal)
- la durée de l'exposition :
  - o pour les expositions aiguës : 1, 8 et 12 heures d'exposition
  - o pour les expositions chroniques trois scénarii ont été testés :
    - 1h/j, 4mois/an pendant vie entière,



- 8h/j, 7mois/an, pendant 70 ans,
- 12h/j, 10mois/an, pendant 70 ans,
- le volume de la pièce dans une gamme de 15, 30 et 60 m<sup>3</sup>
- le taux de renouvellement d'air respectivement 0.01, 0.5 et 4.

A la vue de cette étude, il apparaît que les deux paramètres les plus sensibles sont par ordre décroissant, le taux de renouvellement de l'air et la durée d'exposition, car ils sont directement influencés par la concentration du polluant.

Concernant plus particulièrement l'impact du taux de renouvellement d'air dans la pièce, il est intéressant de noter les remarques suivantes :

- pour les expositions aiguës : il est nécessaire de dépasser le taux de renouvellement de 1V /h pour voir tous les QD passer sous le seuil critique de 1.
- pour les expositions chroniques avec effets à seuils : les QD demeurent nettement supérieurs à 1 pour les deux polluants majeurs, l'acroléine et le chrome, et ce même avec un taux de renouvellement d'air de 4V /h. Concernant le 3<sup>ème</sup> polluant, l'acétaldéhyde, son QD passe sous le seuil de 1 à partir d'un renouvellement d'air de 2V/h.
- pour les expositions chroniques avec effet sans seuil : les ERI demeurent inacceptables pour le polluant chrome quelque soit le taux de renouvellement d'air appliqué ; par contre le benzo[a]pyrène voit son ERI devenir acceptable à partir d'un taux de renouvellement d'air de 2V/h, et l'acétaldéhyde pour 4V/h.

Il faut par conséquent retenir que le renouvellement d'air, même jusqu'à 4V/h, ne permet pas de réduire les risques sanitaires induits par la combustion de spirales anti-moustiques à des valeurs acceptables et ceci pour des expositions chroniques avec effets à seuils ou sans seuil.

Pour ce qui a trait à la durée d'exposition, on constate que seules de courtes expositions aiguës (1heure) présentent un QD avoisinant le seuil critique de 1 ; toutefois, ils sont trop proches de cette valeur limite pour être négligeables. D'autre part, à partir du moment où la combustion d'une spirale durant 1heure devient une exposition chronique dans le temps, les QD et ERI demeurent inacceptables.

Les autres paramètres, à savoir les taux d'émission par type de spirale et volume de la pièce, influent peu sur le risque constaté car les quotients de danger pour les expositions chroniques réévalués restent supérieurs à 1 et les excès de risque individuels

demeurent inacceptables ( $<10^{-5}$ ). Seuls les quotients de danger pour les expositions aiguës dans les cas les plus favorables passent sous le seuil critique de 1 (Taux d'émission minimale et Volume de pièce de  $60\text{m}^3$ ).

Par conséquent, l'étude de sensibilité souligne la robustesse des conclusions qui seront prises à partir de ces résultats.

## **2.5 Interprétation des résultats**

L'utilisation des spirales anti-moustiques en intérieur expose les occupants de manière aiguë ou chronique à de nombreux polluants et représente un risque sanitaire certain dans le cas d'au moins 6 d'entre eux (acroléine, formaldéhyde, monoxyde de carbone, acétaldéhyde, chrome, benzo[a]pyrène).

### **3 Limites de l'étude et perspectives**

Les résultats obtenus lors de l'évaluation des risques, menée sur la base de données techniques disponibles, conduisent à rendre un avis défavorable concernant l'utilisation des spirales anti-moustiques à l'intérieur des habitats.

Cet avis résulte d'un certain nombre d'hypothèses ou considérations présentant des limites qui sont discutées ci-après. Des propositions sont alors suggérées pour améliorer le niveau des connaissances actuelles, et aboutir à une évaluation des risques plus adaptée à la population française.

#### **3.1 Identification des limites**

##### **3.1.1 Limites liées à l'identification des polluants**

Les polluants ont été identifiés à partir de l'étiquetage et de publications scientifiques. Il est donc fortement probable que la liste qui a été réalisée ici ne soit pas exhaustive.

La combustion des spirales génère des produits qui vont par la suite se dégrader ou réagir. Il serait intéressant d'identifier les précurseurs de chaque polluant ainsi que ses produits de dégradation.

Il faudrait aussi préciser le risque induit par la combustion des produits de la matrice lorsqu'ils sont utilisés en tant que tels ce qui n'a pas encore été effectué d'après la littérature.

De plus les expériences réalisées dans la littérature disponible ne s'intéressent pas à des spirales commercialisées en France. Il est donc possible, au vu de la diversité des substances pouvant entrer dans la formulation des spirales et pouvant se retrouver dans les fumées de combustion, que les spirales françaises soient différentes de celles considérées dans cette évaluation.

De la même manière, il a fallu se limiter aux informations présentes dans la littérature concernant la forme de certains polluants et notamment des métaux lourds.

##### **3.1.2 Limites liées à la sélection des polluants pour lesquels le risque a été caractérisé**

Vu le grand nombre de substances, la réalisation d'un score a été entreprise pour pouvoir les classer et ne retenir que les plus préoccupantes en vue d'estimer les risques encourus par la population utilisant des spirales en intérieur. Bien que la construction de

ce score soit apparue comme la solution la plus objective, elle peut être critiquable pour plusieurs raisons :

- La gravité des effets induits par les différents produits n'a pas été prise en considération, ne sachant juger de leur importance relative.
- Ce score ne prend en considération que les substances dont les concentrations et les VTR sont disponibles. Ainsi, des substances dangereuses (à effet sans seuil, par exemple) ont été abandonnées, en l'absence de preuve de leur présence et donc de leur concentration dans l'air. Certaines substances détectées ont également été écartées du fait de l'absence de données toxicologiques les concernant.
- Les VTR prises en considération ont été pour leur majorité choisies selon des critères énoncés précédemment ; ceci étant, dans certains cas, en l'absence de VTR et de coefficient d'incertitude, une VTR a tout de même pu être calculée en appliquant un facteur d'incertitude sur un NOAEL, facteur jugé similaire à celui d'études toxicologiques conduites dans les mêmes conditions.
- La pression sociale relative à certaines substances n'a pas été considérée comme critère de sélection, par manque d'information à ce sujet.

### **3.1.3 Limites liées aux calculs des concentrations de polluants dans l'air**

Le modèle utilisé pour calculer les concentrations de chaque polluant dans l'air tient compte du taux de renouvellement d'air, du taux d'émission du polluant et du volume de la pièce, mais il ne prend pas en considération la nature du polluant. Par conséquent, le taux de renouvellement d'air induit un abattement équivalent de la concentration d'un polluant, qu'il soit volatil ou non ; or, il est démontré sur l'exemple de métaux que jusqu'à 1V/h, les concentrations ne sont abaissées que de 7%, ce qui est négligeable. Les conditions dans lesquelles les calculs ont été réalisés sont donc « optimistes », par rapport à la réalité, plus particulièrement dans le cas des métaux et, a priori, plus généralement des substances non volatiles. Cette relation reste une modélisation et donc empreinte d'approximations.

Concernant les substances actives supportées sur des particules, il a été arbitrairement décidé, faute de mesure dans la littérature, de considérer que le taux initialement introduit dans la spirale se retrouvait intégralement dans l'atmosphère. Les incertitudes engendrées par cette hypothèse ont semblé trop importantes, ce qui a entraîné l'abandon de ces polluants dans l'évaluation de risque.

Des incertitudes demeurent, également, sur les concentrations prises en compte via la médiane des valeurs rapportées dans la littérature, sachant qu'il s'agit encore une fois

de spirales étrangères et non françaises ; des variations pourraient être attendues avec les spirales trouvées sur le marché français.

### **3.1.4 Limites des études épidémiologiques**

Les études rapportant les effets de l'exposition de populations à des spirales anti-moustiques ne s'intéressent qu'à des populations asiatiques. Il est probable que les populations françaises présentent des comportements différents qui pourraient faire varier les odds ratio observés.

D'autre part, l'essentiel des études porte sur des femmes et des enfants. L'éventuelle variabilité due au genre et à l'âge n'est donc pas prise en compte.

Les effets des spirales sont souvent associés avec ceux d'autres polluants (cigarettes, pollution atmosphérique).

### **3.1.5 Limites liées aux calculs d'exposition**

L'inhalation est la principale voie d'exposition aux polluants émis par la combustion des spirales. Il serait toutefois intéressant de s'intéresser aux risques engendrés par l'ingestion de poussières issues de spirales, voire à ceux liés au contact cutané avec les fumées émises (Pauluhn, 1999).

Par ailleurs, les risques ont été calculés sur la base de certaines hypothèses concernant l'exposition des utilisateurs. Une enquête auprès des utilisateurs français permettrait d'établir des budgets espace-temps, et rendrait plus robustes les résultats de l'évaluation des risques.

### **3.1.6 Limites liées à la définition de la population considérée**

Les différences de sensibilité des êtres humains face aux divers polluants étudiés n'ont été pris en compte que dans le calcul de la VTR à travers le facteur d'incertitude de variabilité intra-espèce. Or il est possible que certaines classes de la population soient plus sensibles ou plus exposées que d'autres vis à vis de certains polluants, les enfants, les fumeurs et les asthmatiques notamment.

La population choisie pour la réalisation de l'étude est celle des DROM-COM. Or les spirales anti-moustiques sont aussi utilisées en France métropolitaine, dans les régions du sud par exemple, en particulier en Camargue. Ses populations n'ont pas du tout été prises en compte, ce qui implique une sous-estimation de l'impact sanitaire. En outre, l'exposition de ces populations n'est pas tout à fait la même que celle des habitants des DROM-COM: d'une part, la période endémique des moustiques est plus courte, environ deux mois, l'exposition chronique a donc été surestimée; d'autre part la température et le taux d'humidité sont différents, ce qui peut avoir un impact sur les polluants.

Une autre incertitude pèse sur les calculs d'impact sanitaire. En effet, le taux d'utilisation des spirales anti-moustiques en France n'étant nul part mentionné dans la littérature, celui qui a été utilisé dans l'étude a été choisi de manière arbitraire à partir d'une étude réalisée en Côte-d'Ivoire. Ce chiffre peut donc être fortement discuté.

Enfin, les raisonnements ont ici été tenus dans l'hypothèse que l'ensemble de la population utilise les spirales à l'intérieur de leur logement. Ce qui est sûrement surestimé notamment parce qu'il existe tout de même certains étiquetages et des recommandations qui déconseillent ce type d'utilisation.

### **3.2 perspectives :**

Plusieurs études spécifiques réalisées sur les spirales françaises permettraient d'établir précisément leur composition et la nature de leurs émissions.

Les études seraient constituées de deux volets.

Dans un premier temps, il faudrait identifier les substances composant la spirale. Pour cela, il est nécessaire de réaliser des mesures extrêmement sensibles dans un petit volume parfaitement contrôlé (température, taux d'humidité, taux de renouvellement de l'air...)

Dans un second temps, il faudrait quantifier les différents polluants détectés lors de la première étape et estimer leur rémanence. Des mesures devraient être réalisées au cours de la combustion d'une spirale dans une pièce expérimentale totalement contrôlée et dans les heures suivantes. Les seuils de détection et les pas de temps de mesure sont spécifiques pour chaque polluant et dépendent de la technique mise en œuvre, voir annexe J. Simultanément, une étude des particules et plus notamment de leur dépôt, pourrait être menée afin de documenter une évaluation des risques par exposition orale liée à l'ingestion de poussières.

Un autre axe d'amélioration repose sur la réalisation d'études toxicologiques qui permettraient d'une part de documenter les polluants qui ne le sont pas encore, tels que l'octachlorodipropylether, d'autre part d'étudier directement les émissions des spirales en tant que mélanges et de prendre ainsi en compte les éventuelles interactions.

En outre, des enquêtes réalisées auprès de la population pourraient apporter des éclaircissements sur les conditions d'utilisation, les durées d'exposition et sur le nombre réel d'utilisateurs de ce mode de protection.

Enfin, il ne faut pas oublier que les spirales anti-moustiques sont avant tout un moyen de lutte contre les moustiques vecteurs de maladies graves provoquant des effets à plus

ou moins court terme. Mais d'autres moyens existent présentant peut-être moins de risques pour la santé des populations. Il serait donc intéressant de comparer l'efficacité de ces moyens et celui des spirales, mais aussi les risques qu'ils génèrent. De ce fait, une étude coût-bénéfice approfondie est nécessaire avant prendre des mesures définitives.

## Conclusion

Les spirales anti-moustiques sont utilisées pour lutter contre les moustiques, vecteurs de maladies graves.

Cependant, des études épidémiologiques remettent en question l'innocuité des tortillons anti-moustiques dans l'habitat et des études scientifiques montrent que les spirales anti-moustiques sont susceptibles de dégager, lors de leur combustion, des polluants dangereux pour la santé.

Les informations actuellement disponibles ne permettant pas de se prononcer sur les risques associés aux spirales anti-moustiques, une évaluation des risques sanitaires a été entreprise.

Dans un premier temps, l'étude répertorie l'ensemble des produits qui composent la spirale et les différentes substances émises lors de leur combustion. Parmi les substances composant la spirale, ont été distinguées les substances actives, les substances activatrices, la matrice, les métaux et les métalloïdes. Les substances émises lors de la combustion des spirales sont les éthers halogénés, les hydrocarbures aromatiques halogénés (HAP) et les autres produits aromatiques, les particules, les gaz, les composés organiques volatils (COV) et les composés carbonylés.

Une hiérarchisation a ensuite été réalisée afin de se concentrer sur les polluants les plus problématiques. Les polluants ont été classés par le calcul d'un score prenant en compte deux paramètres : la concentration dans l'air calculée à partir des résultats expérimentaux publiés dans la littérature et la VTR choisie en fonction des différentes expositions considérées, aiguë ou chronique. L'acroléine, le formaldéhyde, le monoxyde de carbone, le chrome sous forme particulaire, l'acétaldéhyde et le chrome sous forme gazeuse sont les substances retenues.

Dans un deuxième temps, le risque représenté par ces substances sélectionnées a été estimé en déterminant les quotients de danger pour les effets avec seuil et les excès de risque individuel pour les effets sans seuil. Cette estimation des risques a été complétée par une étude de sensibilité consistant à faire varier les différents paramètres susceptibles d'influencer les résultats. Cette étape a mis en évidence que les différents polluants étudiés présentaient un risque inacceptable.

Dans un troisième temps, une discussion a été menée afin de déterminer les limites et les perspectives de cette étude. Les limites de l'évaluation des risques sont associées à l'identification des polluants, à la sélection des polluants étudiés, aux calculs des concentrations de polluants dans l'air, aux études épidémiologiques et aux calculs



d'exposition. Afin de compléter cette évaluation, nous avons défini de nouveaux champs d'investigation. Il semblerait intéressant que des études spécifiques soient réalisées sur les spirales françaises permettant ainsi d'établir précisément leur composition et la nature de leurs émissions. Un autre axe d'amélioration serait la réalisation d'études toxicologiques qui permettraient d'une part de documenter les polluants qui ne le sont pas encore, tels que l'octachlorodipropylether, d'autre part d'étudier directement les émissions des spirales en tant que mélanges et de prendre ainsi en compte les éventuelles interactions. Une analyse coût-bénéfice apporterait un complément indispensable d'aide à la décision.

---

## Bibliographie

---

AFSSAPS, 2008, Recommandation relative aux critères de qualité des huiles essentielles, pp18, visité le [15 03 2009], disponible sur internet : [http://www.afssaps.fr/var/afssaps\\_site/storage/original/application/657257784ff10b16654e1ac94b60e3fb.pdf](http://www.afssaps.fr/var/afssaps_site/storage/original/application/657257784ff10b16654e1ac94b60e3fb.pdf)

AFSSET, 2007, Valeurs guides de qualité d'air intérieur , le formaldéhyde.

AFSSET, 2007, Valeur guide de qualité de l'air intérieur : monoxyde de carbone, pp73.

ARLA de Santé Canada, 2004, Résumé de l'innocuité de l'essence de citronnelle comme aromatisant, disponible sur internet : <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/facts-faits/citron-fra.php>

ARLA de Santé Canada, 2005, mise à jour sur la réévaluation de l'huile de citronnelle et des composés apparentés pour utilisation comme insectifuge personnel.

ATSDR, 1989, Toxicological Profile for Bis(chloromethyl) Ether.

ATSDR, 1992, Toxicological Profile for Thallium, pp114.

Azizi B.H.O., Henry R.L., 1991, The effects of indoor environmental factors on respiratory illness in primary school in Kuala Lumpur, *International journal of epidemiology* ISSN 0300-5771 1991, vol. 20, no1, p 144-150.

Azizi B. H. O.; H. I. Zulkifli; M. S. Kasim, 1995, Indoor Air Pollution and Asthma in Hospitalized Children in a Tropical Environment, *Journal of Asthma*, 1995, 32: 413-418.

Bin Zhao, JunWu, 2008, Particulate pollution in ventilated space: Analysis of influencing factors, *Journal of Hazardous Materials* 163 (2009), p 454-462.

Chang J.-Y., Lin J.-M., 1998, Aliphatic aldehydes and allethrin in mosquito-coil smoke, *Chemosphere*, Vol. 36, No. 3, pp. 617-624, 1998, , 8, disponible sur internet : <http://www.sciencedirect.com/recherche avec mot clé : mosquito coil>

Chen S.-Ch., Wong R.-H., Shiu L.-J., Chiou M.-C., and Lee H., 2008, Exposure to Mosquito Coil Smoke May be a Risk Factor for Lung Cancer in Taiwan, *J Epidemiol*, 18(1), p 19-25.

Chesher B. C. and Malone J. C., 1972, Bioallethrin, 10 consecutive day rat inhalation study. Wellcome report. Sumitomo Document A95020. Summary. Unpublished.

Chun-Yuh Y., Chiu J.-F., Cheng M.-F., and Lin M.-C., 1996, Effects of Indoor Environmental Factors on Respiratory Health of Children in a Subtropical Climate, *ENVIRONMENTAL RESEARCH* 75, p49-55 (1997) ARTICLE NO. ER973774.

Doannio J. M. C. , Konan Y. L., Amalaman K. and Attiah J., 2004, Connaissances, attitudes et pratiques des populations vis-à-vis des moustiques dans la zone urbaine et périurbaine de Bouaké et dans les villages de Kafiné et de Kabolo (Côte-d'Ivoire, Afrique de l'Ouest), *Bulletin de la Société de pathologie exotique*, n°4, pp. 278-282 , visité le [22 12 2008], disponible sur internet : <http://www.pathexo.fr/documents/articles-bull/2004/2004n4/T97-4-2488-7p.pdf>

Filleul L., Medina S., Eilstein D., Declercq C., Pascal L., Lefranc A., Fabre P., Prouvost H., D'Helf M., Jusot J.F., Chardon B., Le Tertre A., Cassadou S., 2005, P3-6 APHEIS-France : évaluation de l'impact sanitaire attribuable à la pollution atmosphérique particulaire dans neuf villes françaises, *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique*, Volume 52, Supplément 1, September 2004, p 78.

Gandhi M., Lal R., Sankaranarayanan A., Banerjee C.K., Sharma P.L., 1988, Acute toxicity study of the oil from *Azadirachta indica* seed (neem oil), *Journal of Ethnopharmacology*. Vol. 23, p. 39.

Glorennec P., Bonvallet N., Mandin C., Goupil G., Pernelet-Joly V., Millet M., Filleul L., Le Moullec Y., Alary R., 2008, Is a quantitative risk assessment of air quality in underground parking garages possible ?, *Indoor Air*, p 283-292.

IARC monographs supplement 7, 1987, BCME et CMME.

INERIS, 2003, Plomb et ses dérivés, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp90, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=9](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=9)

INERIS, 2005, Acénaphthène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp39, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=3](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=3)

INERIS, 2005, Anthracène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp41, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=3](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=3)

INERIS, 2005, Benzo(b) fluoranthène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp36, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=3](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=3)

INERIS, 2005, Benzo(k)fluoranthène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp40, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=3](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=3)

INERIS, 2005, Cadmium et ses dérivés, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp60, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=3](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=3)

INERIS, 2005, Chrome et ses dérivés, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp80, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=3](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=3)

INERIS, 2005, Chrysène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp36, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=3](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=3)

INERIS, 2005, Chloroforme, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp49.

INERIS, 2005, Chlorure de méthylène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp64.

INERIS, 2005, cis-1,2-Dichloroethene, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp40.

INERIS, 2005, Fluoranthène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp39, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=4](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=4)

INERIS, 2005, Fluorène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp38, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=5](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=5)

INERIS, 2005, Formaldéhyde, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*.

INERIS, 2005, Indeno 1,2,3 cd pyrène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp35, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=6](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=6)

INERIS, 2005, Naphthalène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp61, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=7](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=7)

INERIS, 2005, Oxydes d'azote, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp51.

INERIS, 2005, Pyrène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp36, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=10](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=10)

INERIS, 2006, Benzène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp74, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=4](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=4)

INERIS, 2006, Benzo(a)pyrène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp44, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=3](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=3)

INERIS, 2006, Benzo[g,h,i]pérylène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp38, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=3](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=3)

INERIS, 2006, Dibenzo(a,h)anthracène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp37, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=3](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=3)

INERIS, 2006, Phénanthrène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp37, disponible sur internet :  
[http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=8](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=8)

INERIS, 2006, 1, 2 - dichloroéthane, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp50.

INERIS, 2006, o-, m-, p-xylènes et leurs mélanges, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp80.

INERIS, 2008, Styrène, *Fiche toxicologiques et environnementales des substances chimiques*, pp65.

INERIS, 2009, Isoprène, *Fiche substance*.

INRS, 1996, Oxyde de carbone, *Fiche toxicologique*, pp6

INRS, 1997, 1, 2 - dichloroéthane, *Fiche toxicologique*.

INRS, 1997, Chlorure de méthylène, *Fiche toxicologique*, pp4.

INRS, 2004, Xylènes, *Fiche toxicologique*, pp6.

INRS, 2004, cis-1,2-Dichloroéthène, *Fiche toxicologique*, pp5.

INRS, 2006, Chloroforme, *Fiche toxicologique*, pp6.

INRS, 2006, Monoxyde d'azote, *Fiche toxicologique*, pp8.

INRS, 2006, Styrène, *Fiche toxicologique*, pp12.

INRS, 2007, Toluène, *Fiche toxicologique*, pp6.

INRS, 2007, Ethylbenzène, *Fiche toxicologique*, pp12.

INVS, 2006, Programme de surveillance air et santé (Psas) Relations à court terme entre les niveaux de pollution atmosphérique et les admissions à l'hôpital dans huit villes françaises, pp69, disponible sur internet : <http://www.invs.sante.fr/surveillance/psas9/>

InVS, 2007, Recommandations sanitaires pour les voyageurs, Bulletin épidémiologique hebdomadaire, n°25-26, pp12.

InVS, 2008, Recommandations sanitaires pour les voyageurs, Bulletin épidémiologique hebdomadaire, n°24, pp12.

IPCS, 1989, Allethrins - allethrin, d-allethrin, bioallethrin, S-bioallethrin, *Environmental Health Criteria* pp87. WHO, Geneva.

Katsuda Y. , Leemingsawat S., Thongrunkiat S., Prummonkol S., Samung Y., Kanzaki T., Watanabe T., Kahara T., 2008, Control of mosquito vectors of tropical infectious diseases: (2) pyrethroid susceptibility of *Aedes aegypti* ( L) collected from different sites in Thailand, *Southeast Asian journal of tropical medicine and public health* (2008); Vol. 39 (2), p. 229-234.

Kirchner S., 2007, Etat de la pollution dans les logements français, *Pollution atmosphérique*, n°194, p139-143.

Krieger R. I. , Dinoff T. M., and Zhang X., University of California, 2003, Octachlorodipropyl Ether (S-2) Mosquito Coils Are Inadequately Studied for Residential Use in Asia and Illegal in the United States, *Environmental Health Perspectives*, vol 111, N 12, p 1439, 4.

Lee S.C. , Wang B., 2005, characteristics of emissions of air pollutants from mosquito coils and candles burning in a large environmental chamber, *Atmospheric Environment* 40 (2006) 2128–2138, pp11, disponible sur internet : <http://www.cse.polyu.edu.hk/~cesclee/Characteristics2128-2138.pdf>

Lin T.-S., Shen F.-M., 2004, Trace métaux in mosquito coil smoke, *Bull. Envi. Contamin. Tox.* (2005) 74, p184-189

Liu W.K., Sun S.E., 1988, Ultrastructural changes of tracheal epithelium and alveolar macrophages of rats exposed to mosquito coil smoke, *Toxicol Lett.* 1988 May;41(2):145-57.

Liu W. K., Junfeng Z., Hashim J. H., Jalaludin J., Hashim Z., and Goldstein B. D., 2003, Mosquito Coil Emissions and Health Implications, *Environmental Health Perspectives*, vol 111, N 12, p 1454-1461.

Mager Stellman J., Virost A., 2000, Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, *Publié par International Labour Organization*, 2000, visité le [22 03 2009], disponible sur internet : [http://books.google.fr/books?id=9lfNGDXh\\_A8C&printsec=frontcover#PPT418,M1](http://books.google.fr/books?id=9lfNGDXh_A8C&printsec=frontcover#PPT418,M1)

Mannix R. C. , Nguyen K. P., Tan E. W., Ho E. E., Phalen R. F., 1996, Physical characterization of incense aerosols, *The Science of the Total Environment* 193 (1996), pp10.

Mosha F. W. , Njau R. J. A., Alfred J., 1992, Efficacy of Esbiothrin mosquito coils at community level in northern Tanzania, *Medical and Veterinary Entomology* (2008); Vol 6 (1), p 44-46.

Mulla S. , Thavara U., Tawatsin A., Kong-Ngamsuk W., Chompoosri J., 2001, Mosquito Burden and Impact on the Poor: Measures and Costs for Personal Protection in some Communities in Thailand, *Journal of the American Mosquito Control Association* (2001); Vol. 17 (3), p 153-159. visité le [15 01 2009], disponible sur internet : [http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc\\_nih/applications/files/19\\_Entomo%20E.pdf](http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_nih/applications/files/19_Entomo%20E.pdf)

Narendra M. , Kavitha G., Helah Kiranmai A., Raghava Rao N., Varadacharyulu N.C., 2008, Chronic exposure to pyrethroid-based allethrin and prallethrin mosquito repellents alters plasma biochemical profile, *Chemosphere* 73 (2008), p360–364.

OQAI, 2006, Campagne nationale logements : état de la qualité de l'air dans les logements français rapport final, pp165.

Pauluhn J., 1999, Pulmonary toxicity and risk assessment of pesticides contained in house dust and smoke, *Environmental pathology* 1999; Vol. 32, N°3, p 350, visité le [22 02 2009], disponible sur internet : <http://www.conganat.org/seap/revista/v32-n3/64.pdf>

Pinchon S., Hervé A., 2008, Etude sur l'étiquetage des produits anti-moustiques disponibles sur le marché Guyanais, Bulletin d'alerte et de surveillance Antilles Guyane, 2008-5, p6-8.

Ramesh A., Vijayalakshmi A., 2001, Monitoring of allethrin, deltamethrin, esbiothrin, prallethrin and transfluthrin in air during the use of household mosquito repellents, *Journal of Environmental Monitoring* (2001); Vol 3(2), p 191-193.

Rodolfo J. D., Maldonado D., Norman S., Edgardo, 1996, Woodsmoke Exposure and Risk for obstructive Airways Disease Among women, *Chest* 1996;109;115-119, 7.

Ujihara K. , Matsuo N., Mori T., Shono Y., Iwasaki T., 2008, Metofluthrin: Novel Pyrethroid Insecticide and Innovative Mosquito Control Agent, *Journal of pesticide science* (2008); Vol 33(2), p 178–179.

US EPA, 1991, Bis(chloromethyl)ether (BCME).

US EPA, 1999, Method TO-11A : Determination of Formaldehyde in Ambient Air Using Adsorbent Cartridge Followed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC).

US EPA, 2000, Prallethrin Pesticide Tolerance, Vol. 65 (123), p 39304-39314.

US EPA, 2006, Pesticide Fact Sheet Metofluthrin.

US EPA, 2006, Reregistration Eligibility Decision for pyrethrins.

US EPA, 2006, Reregistration Eligibility Decision for n-octyl bicycloheptene dicarboximide (MGK-264).

US EPA, 2006, Reregistration Eligibility Decision for oil citronella.

US EPA, 2006, Reregistration Eligibility Decision for piperonyl butoxide.

US EPA, 2007, Reregistration Eligibility Decision for Allethrins.

Wallwork L. M., Clampitt R. B. and Malone J. C., 1972, Bioallethrin, rat oral 90 day toxicity study. Wellcome report. Sumitomo Document A95017. Summary. Unpublished.

WHO, Who specifications and evaluations for public health pesticides : S-bioallethrin.

WHO, 2004, Specifications and evaluations for public health pesticides : prallethrin.

WHO, 2004, Specifications and evaluations for public health pesticides : prallethrin.

WHO, Specifications and evaluations for public health pesticides : transfluthrin.

WHO, Who specifications and evaluations for public health pesticides : S-bioallethrin.

WHO, IPCS, Selected chloroalkyl ethers : BCME.

Wong C.M. , Hu Z.C., Lam T.H., Hedley A.J. and Peters J., 1999, Effects of ambient air pollution and environmental tobacco smoke on respiratory health of non-smoking women in Hong-Kong, *International Journal of Epidemiology* 1999;28;859-864, 6.

Yap H.H., Tan H.T., Yahaya A.M., Baba R., Loh P.Y., Chong N.L., 1990, Field efficacy of mosquito coil formulations containing d-allethrin and d-transallethrin against indoor mosquitos especially *Culex quinquefasciatus* Say, *Southeast Asian journal of tropical medicine and public health* (1990); Vol 21(4), p 558-63.

---

## Liste des annexes

---

**Annexe A : Études épidémiologiques des dangers présentés par l'utilisation de spirales anti-moustiques**

**Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers**

**Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants**

**Annexe D : Impact de l'aération sur l'abattement des polluants**

**Annexe E : Taux d'émission et concentrations des polluants émis par la combustion d'une spirale anti-moustiques**

**Annexe F : Scores et hiérarchisation des polluants émis lors de la combustion d'une spirale anti-moustiques**

**Annexe G : Scores et hiérarchisation des substances actives**

**Annexe H : Quotients de danger et Excès de Risques Individuels des polluants émis**

**Annexe I : Analyse de sensibilité**

**Annexe J : Protocole expérimental**



## Annexe A : Etudes épidémiologiques des dangers présentés par l'utilisation de spirales anti-moustiques

Tableau 15 : Présentation et résultats des études épidémiologiques

Type	Facteur	Effet	Résultats	Interactions	Référence	Protocole	Commentaire
épidémiologique	spirale et encens	toux (due au formaldéhyde pour l'encens)	encens : OR=1,28[1,03-1,57], spirale : OR=1,26[1,05-1,50] pour la toux (et seulement la toux)		Effects of Indoor Environmental Factors on Respiratory Health of Children in a Subtropical Climate	n=4164, enfant 6-12 ans	beaucoup de symptômes observés, il n'y a que la toux qui soit liée aux spirales
expérimentale	6 variétés de spirale, PM formaldéhyde		air intérieur : une spirale est équivalente à 75-137 cigarettes pour les PM2,5, et 51 cigarettes pour les formaldéhydes		Mosquito Coil Emissions and Health Implications	mesure directe des fumées	mesure de l'exposition
expérimentale	spirale	effets sur épithélium et les macrophages chez le rat	effets sur la structure de l'épithélium et les cellules macrophages des rats		Ultra structural changes of tracheal epithelium and alveolar macrophages of rats exposed to mosquito coil smoke	mesure directe de l'exposition et expérience prolongée sur des rats (30 rats, 8h/j, 6j/s, 8mois)	analyse poussée : COV, particules
épidémiologique	spirale à 0,3-0,4% de pyrèthrine, et tabac	cancer du poumon	OR=2,67 [1,60-4,50] <3spirales/semaines, OR=3,78[1,55-6,90] >3/semaines	non fumeur, spirale<3 : 3.36 (95% CI: 1.76-6.40); non fumeur spirales>3 OR = 3.89; 95% CI: 1.73-8.57; juste fumeur OR = 5.59; 95% CI: 2.34-13.36; fumeur spirales<3 (OR = 11.84; 95% CI: 3.21-38.54); fumeur et spirales>3 OR = 13.66; 95% CI: 3.64-51.29. effet plus que cumulatif.	Exposure to Mosquito Coil Smoke May be a Risk Factor for Lung Cancer in Taiwan	cas/témoins 147/400	

## Annexe A : Etudes épidémiologiques des dangers présentés par l'utilisation de spirales anti-moustiques

épidémiologique	ETS (environmental tobacco smoke), air pollué	différentes pathologies non mortelles (indice de 12 pathologies : toux (à 3 différentes fréquences), glaire (à 3 différentes fréquences), irritation, sifflement, symptôme nasal, asthme, sinusite et rhinite chronique))	OR=1,58 ([1,14-2,21] p=0,007) pour les spirales		Effects of ambient air pollution and environmental tobacco smoke on respiratory health of non-smoking women in Hong-Kong	étude entre deux quartiers différents pour l'expo n=3405 femmes	
épidémiologique	tout facteur	pour irritation gorge, respiration sifflante	air pollué : OR 1.22 [1,04-1,43] pour irritation gorge, 1,35 [1,1-1,66] pour respiration sifflante		Effects of an Ambient Air Pollution Intervention and Environmental Tobacco Smoke on Children's Respiratory Health in Hong Kong	entre un secteur pollué et un non, n=3521 enfants	ne concerne pas spécifiquement les spirales
épidémiologique	tabac passif et spirale	asthme	tabac passif (OR=1,91[1,119-3,21]); spirale (OR=1,73 [1,02-2,93])		Indoor Air Pollution and Asthma in Hospitalized Children in a Tropical Environment	cas témoin : 158/201, enfant 1 mois à 5 ans, spirale : 3 nuits par semaine	
épidémiologique	tabac passif et spirale 3 nuits par semaine	respiration sifflante persistant, asthme pour spirale, mal de poitrine pour tabac passif	si réduction tabac passif et spirale baisse de + de 29 % risques	tabac+spirale	The effects of indoor environmental factors on respiratory illness in primary school in Kuala Lumpur	n=1501, enfant 7 à 12 ans, expo 3 nuits par semaine	

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

Tableau 16 : Identification des substances actives des spirales anti-moustiques

Substances actives naturelles				
Substance (nom usuel)	N°CAS	Propriétés physico-chimiques	Toxicologie	Source
Neem	8002-65-1	Non documenté	DL50 oral Rat : 14000 mg/kg Les effets observés sont comportementaux (changements au niveau de l'activité motrice), respiratoires (dyspnée) et intestinaux (diarrhée)	Gandhi <i>et al.</i> 1988
Citronnelle	8000-29-1	-Apparence : liquide jaune plus ou moins clair - Point d'ébullition = 170°C à 760 mmHg - Pression de vapeur des principaux constituants : camphène : 3,0 / limonène : 1,4/ géraniol :0,02 / citronellal : 0,23 / citronellol : 0,0015 - point éclair : 170°C - pas corrosif - Kow (coef partage octanol/eau) : très grand	- <u>par inhalation</u> : de 100% d'huile de citronnelle de Ceylan : étude sur rats : LC50 > 5000mg/kg - l'inhalation de 100% d'huile de citronnelle de Java : étude sur rats : 4h LC50 > 3,1 mg/L.  <u>par voie orale</u> : 100% d'huile de citronnelle de Ceylan : étude sur rats : LC50 > 5000mg/kg Pour l'huile de java : LC50 > 4380mg/kg - <u>Des tests par contact cutané</u> révèlent que l'huile de Ceylan est sensibilisante et peut engendrer des irritations, les effets de l'huile de Java semblent moins marqués que ceux de l'huile de Java.	US EPA 2006
Méthyl-eugéno	93-15-2	- Apparence : liquide incolore à jaune pâle, cristaux dans de l'hexane - Point de fusion : -4°C - Point d'ébullition : 254,7°C - pas corrosif - log Kow = 3,03 - soluble dans la plupart des solvants organiques	- <u>par contact cutané</u> : sur 25 hommes volontaires, à une 8% dans du pétrole dans le test de "closed-patch » n'entraîne aucune réaction après 48h = par contact cutané. - des <u>tests d'ingestion</u> , de contact cutané, ou d'ingestion intraveineuse ont été réalisés sur des rats, souris et lapin. - <u>Aucune donnée d'inhalation</u> .	

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

Pyrethre	8003-34-7	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : l'extrait raffiné est une huile jaune pâle ; l'huile non raffinée est un liquide vert-brun foncé ; la poudre (issue de fleurs) est marron clair.</li> <li>- Masse molaire: 316-374 g/mol</li> <li>- Point d'ébullition = 281,5°C à 760 mm Hg</li> <li>- Pression de vapeur = 0 torr à P atmosphérique</li> <li>- pas corrosif</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>par voie orale</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>LD<sub>50</sub> oral Rat (M) : 2150 mg/kg</li> <li>LD<sub>50</sub> oral Rat (F) : 900 mg/kg</li> <li>Etude de neurotoxicité aigüe sur des rats : tremblements des femelles : LOAEL = 63 mg/kg/j, NOAEL = 20mg/kg/j</li> <li>Etude de toxicité chronique sur des rats : augmentation de l'incidence de l'hyperplasie des cellules folliculaires de la thyroïde : LOAEL = 42.9 mg/kg/j et NOAEL = 4.37mg/kg/j</li> <li>pour ingestion long terme : Etude de reproduction de 2 générations de rats : décroissance du poids corporel : LOAEL = 65 mg/kg/j , NOAEL = 6.4mg/kg/j</li> </ul> </li> <li>- <u>par inhalation</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>LC<sub>50</sub> inhalation : Rat &gt; 3,875 mg/L/4 h</li> <li>exposition court terme : Etude de toxicité sub-chronique chez les rats : où LOAEL = 25,56mg/kg/j et NOAEL = 0,03 mL/kg/j (7,67mg/kg/j) : effet sur la respiration, hyperactivité, perte de poids <ul style="list-style-type: none"> <li>- exposition chronique et long terme : Etude de toxicité sub-chronique chez les rats : où LOAEL = 25,56mg/kg/j : lésions respiratoires, Manque de NOAEL</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>- <u>par contact cutané</u> : Exposition de lapin à une dose de 1000mg/kg/j : pas de risque</li> </ul>	
<b>Substances actives de synthèses : les pyréthri-noïdes</b>				
D-alléthrine ou Pynamine forte	231937-89-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide jaune pâle</li> <li>- Point de fusion = 32 °C</li> <li>- Point d'ébullition = 281,5°C à 760 mmHg</li> <li>- Pression de vapeur = 1,24.10<sup>-6</sup> mmHg à 21°C</li> <li>- Log Kow = 4,96</li> <li>- se décompose en présence d'UV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat (M) : 2150 mg/kg</li> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat (F) : 900 mg/kg</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat &gt; 3,875 mg/L/4 h</li> </ul>	US EPA, 2007
D-trans-alléthrine ou Bioalléthrine	260359-57-7	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide visqueux jaune-orangé</li> <li>- Point d'ébullition = 165°C à 0,15 mmHg</li> <li>- Pression de vapeur = 3,3.10<sup>-4</sup> mmHg à 25°C</li> <li>- Log Kow = 4,68</li> <li>- se décompose en présence d'UV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat (M) : 709 mg/kg</li> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat (F) : 1042 mg/kg</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat : 2,51 mg/L/4 h</li> </ul>	US EPA, 2007

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

S-bioalléthrine ou Esbiol	28434-00-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide visqueux jaune-orangé</li> <li>- Point d'ébullition = 165-170°C à 0,15 mmHg</li> <li>- Pression de vapeur = <math>1,94.10^{-4}</math> mmHg à 25°C</li> <li>- Log Kow = 3,68</li> <li>- se décompose en présence d'UV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat (M) : 574,5 mg/kg</li> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat (F) : 412,9 mg/kg</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat (M) : 1,32 mg/L/4 h</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat (F) : 1,23 mg/L/4 h</li> </ul>	US EPA, 2007
Esbiothrine	260359-57-7	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence= liquide visqueux jaune-orangé</li> <li>- Point d'ébullition = 165°C à 0,15 mmHg</li> <li>- Pression de vapeur = <math>3,3.10^{-4}</math> mmHg à 25°C</li> <li>- Log Kow = 4,68</li> <li>- se décompose en présence d'UV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat (M) : 432 mg/kg</li> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat (F) : 378 mg/kg</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat: 2,63 g/m<sup>3</sup>/4 h</li> </ul>	US EPA, 2007
Metofluthrine	240494-70-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide jaune pâle</li> <li>- Formule chimique : C<sub>18</sub>H<sub>20</sub>F<sub>4</sub>O<sub>3</sub></li> <li>- Masse molaire : 360,34 g/mol</li> <li>- Point de fusion = -54 °C</li> <li>- Point d'ébullition = 334°C</li> <li>- Pression de vapeur = <math>1,47.10^{-5}</math> mm Hg à 25°C</li> <li>- Log Kow à 25°C = 5,03 (S-RTE) et 4,97 (S-RTZ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat (M et F) &gt; 2000 mg/kg</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat (M et F) &gt; 1080 et &lt; 1960 mg/m<sup>3</sup>/4 h</li> </ul>	US EPA, 2006
Transfluthrine	118712-89-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formule chimique : C<sub>15</sub>H<sub>12</sub>Cl<sub>2</sub>F<sub>4</sub>O<sub>2</sub></li> <li>- Masse molaire : 371,16 g/mol</li> <li>- Point de fusion = 32 °C</li> <li>- Point d'ébullition = 242 °C</li> <li>- Pression de vapeur = <math>6,75.10^{-6}</math> mm Hg à 20°C</li> <li>- Log Kow = 5,46 à 20°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat (M et F) &gt; 5000 mg/kg</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat (M et F) &gt; 513 mg/m<sup>3</sup>/4 h</li> </ul>	OMS, 2006b
Pralléthrine	28434-00-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formule chimique : C<sub>19</sub>H<sub>24</sub>O<sub>3</sub></li> <li>- Masse molaire : 300,4 g/mol</li> <li>- Point de fusion = &lt; 25°C</li> <li>- Pression de vapeur = <math>1,83.10^{-6}</math> mm Hg à 25°C</li> <li>- Log Kow = 4,49</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat (M) : 640 mg/kg</li> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat (F) : 460 mg/kg</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat (M) : 290 mg/m<sup>3</sup>/4 h</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat (F) : 330 mg/m<sup>3</sup>/4 h</li> </ul>	OMS, 2004 PSD, 1995

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

Tableau 17 : Identification des substances actives des spirales anti-moustiques

Substances actives naturelles				
Substance (nom usuel)	N°CAS	Propriétés physico-chimiques	Toxicologie	Source
Piperonyl butoxyde (BPO)	51-03-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Point d'ébullition = 202-204 5°C sous 1,0 mm Hg</li> <li>- Masse molaire : 275g/mol</li> <li>- Pression de vapeur : &lt; 1.10<sup>-7</sup> mm Hg à 25°C</li> <li>- Miscible avec l'acétone, méthanol, chlorure de méthylène</li> </ul>	<p><b>Par inhalation :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Exposition aiguë</u> chez des rats : LC50 = &gt; 5,9mg/L</li> </ul> <p>Des études de développement sur des rats a permis d'obtenir : LOAEL = 1065mg/kg/j, sur la base de d'une diminution de poids corporel.</p> <p>NOAEL = 630 mg/kg/j , avec UF = 100 (inter et intra espèce) -&gt; <b>VTR = 0,063 mg/kg/j</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Exposition court terme (1 à 30j) et intermédiaire (de 1 à 6 mois)</u> : des études sub-chroniques chez des rats s'intéressant à une hyperplasie et métaplasie laryngée conduisent à un LOAEL = 3,91 mg/kg/j</li> </ul> <p>En considérant un UF =300 (UF = 100 pour la transposition inter et intra-espèce, et 3* du fait de l'absence de NOAEL) : <b>VTR = 0,013 mg/kg/j</b> .</p> <p><u>Exposition long terme (&gt; 6 mois)</u> : le calcul de la VTR considère la même étude que celle de l'exposition court terme précédente, en considérant le LOAEL = 3,91 mg/kg/j, et en appliquant un facteur d'incertitude de 1000. : <b>VTR = 0,0039 mg/kg/j</b></p> <p><b>Par ingestion :</b></p> <p>Exposition aiguë (1 à 30j) et intermédiaire (de 1 à 6 mois) : LOAEL = 469mg/kg/j, valeur issue d'une études sur deux générations de rats, en observant la perte de poids, 21j après la naissance. NOAEL = 89 mg/kg/j UF =100 -&gt; VTR = 0,089 mg/kg/j</p> <p><b>Exposition cutanée :</b> aucune effet systémique, neurotoxique, ou d'impact sur le développement n'a été observé -&gt; aucune quantification n'est nécessaire =&gt; le BPO est classé moyennement irritant</p>	US EPA 2006

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

<p>n-octyl bicycloheptene dicarboximide (MGK-264)</p>	<p>113-48-4</p>	<p>- Point d'ébullition = 155-162°C sous 1,0 mm Hg          - masse moléculaire = 275g/mol          - Formule chimique : C<sub>17</sub>H<sub>25</sub>NO<sub>2</sub>          - Pression de vapeur : 1,84 +/- 0,49 10<sup>-5</sup> mm Hg at 25°C          - pH = 6,9          - miscible avec l'acétone, méthanol, toluène, acétate d'éthyle...          Log Kow = 3,61 et 3,80 respectivement pour les isomères 1 et 2 à 24°C</p>	<p><b>Par inhalation :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- aucune étude d'exposition aigue n'est disponible</li> <li>- Une étude sur 90j sur des rats a mis en évidence une LOAEL = 0,01 mg/L (converti : 1,9 mg/kg/j) sur la base d'hyperplasie et métaplasie du larynx. L'US EPA propose UF total = 1000, (100 pour l'extrapolation inter et intra-espèce, puis 10 en raison de l'absence de NOAEL) -&gt; <b>VTR inhalation = 0,01µg/kg/j</b>  <i>On peut également noter que cette valeur est donnée quelque soit la durée d'exposition</i></li> </ul> <p><b>Par ingestion :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- aucune étude d'exposition aigue n'est disponible</li> <li>- pour des expositions court terme et moyen terme : LOAEL = 61 mg/kg/j déterminée sur la perte de poids corporel chez les bébés rats durant lactation  <b>UF =1000 -&gt; VTR ingestion = 61 µg/kg/j</b></li> </ul> <p><b>- par contact :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- contact aigü : LD50 &gt; 2g/kg</li> <li>- contact des yeux des lapins = irritation de la conjonctive au bout de 7 jours, réversible</li> <li>- La VTR par contact proposée par l'US EPA considère la même étude que celle conduite pour l'exposition orale : où une valeur LOAEL de 61 mg/kg/j avait été déterminée en suivant la perte de poids corporel chez les bébés durant lactation. Ils préconisent l'application d'un facteur d'absorption par la peau de 10% puis la même valeur du facteur d'incertitude de 1000 -&gt; <b>VTR contact = 6,1 µg/kg/j</b></li> </ul>	<p>US EPA 2006</p>
---	-----------------	---	--	--------------------

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

**Tableau 18 : Identification des substances de la matrice**

Substances de la matrice				
Substance (nom usuel)	N°CAS	Propriétés physico-chimiques	Toxicologie	Source
Noix de cajou	8007-24-7 Syn : Cashewnut shell liquid	Non Documenté	Non Documenté	
Noix de coco	8001-31-8 Syn :Coconut oil	- Apparence= blanc, visqueux - Point de fusion = 21-25°C - Densité= 0.903 à 0 °C/4 °C - pH=0,5 à 8 - Solubilité= quasiment insoluble dans l'eau, 75% dans l'alcool	Non Documenté	
Oliban	8050-07-5 Syn :Oliban gum	Non Documenté	Non Documenté	
Bois de santal	8006-87-9 Syn : sandal oil	- Apparence= jaune pâle, visqueux - Point de fusion = 21-25°C - Densité= 0.965-0.980 à 25 °C/25 °C - Solubilité= quasiment insoluble dans l'eau, 95% dans l'alcool	Non Documenté	



## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

Tableau 19 : Autres polluants présents dans les spirales : les métaux et métalloïdes

Métaux lourds et métalloïdes				
Substance (nom usuel)	N°CAS	Propriétés physico-chimiques	Toxicologie	Source
Cadmium (Cd)	74406-43-9	-Apparence : solide cristallisé - Masse molaire (g/mol): 112,4 - Point d'ébullition : 767°C - Le cadmium est pratiquement toujours sous sa forme oxydée ou sous la forme d'un de ses composés (oxyde de cadmium, chlorure de cadmium ou sulfure de cadmium. Dans l'air, le cadmium se trouve dans la phase particulaire sous forme d'oxyde de cadmium principalement mais ses composés peuvent aussi se trouver alors appelés sels de cadmium.	- Chez l'homme, par voie orale : gastro-entérite. Mortalité pour ingestion de 5g d'iodure de cadmium.  Chez l'homme par voie respiratoire : l'inhalation de fumées de cadmium peut provoquer une pneumonie chimique pouvant entraîner la mort dans 15 à 20% des cas.  Chez l'animal de nombreuses études ont été réalisées sur le cadmium et sur ses composés. La toxicité du cadmium varie selon sa forme chimique. Voici un classement par ordre croissant des composés : CdS>Cd>CdO>CdSO <sub>4</sub> >CdCl <sub>2</sub>	INERIS, 2005
Chlorure de cadmium (CdCl <sub>2</sub> )	10108-64-2	- Apparence : solide cristallisé - Masse molaire (g/mol): 183,3 - Point d'ébullition : 960°C	-Chez l'homme, voie respiratoire : effet sur le rein. NOAEL=719 µg/m <sup>3</sup> /an et LOAEL=1301µg/m <sup>3</sup> /an (Mason et al.,1990) pour des atteintes rénales. NOAEL=7,5 µg/m <sup>3</sup> et LOAEL=54 µg/m <sup>3</sup> (Ellis et al., 1985) Troubles respiratoires observés pour des doses plus fortes ainsi que des atteintes du squelette.	
Oxyde de cadmium (CdO)	1306-19-0	- Apparence : solide pulvérulent amorphe ou solide cristallisé - Masse molaire (g/mol): 128,4	Chez l'homme, voie orale : LOAEL=140 à 260 µg/j pendant tout une vie. (Nordberg, 1996, Chaney et al., 1996) NOAEL=2,1 µg/kg/j (Nagawa et al., 1989)  Les études chez l'animal confirment les observations réalisées chez l'homme.	
Sulfate de cadmium (CdSO <sub>4</sub> )	10124-36-4	- Apparence : solide cristallisé	Le cadmium et ses composés peuvent être considérés comme cancérigènes pour l'homme. De nombreuses études ont établi un lien entre l'exposition au cadmium ou à ses dérivés et la survenue de cancer du poumon et de la prostate. Un lien existerait aussi avec la survenue de cancers du foie ou de l'estomac (Ding et al., 1987). Les données chez l'animal confirment les observations chez l'homme.	
Sulfure de cadmium (CdS)	1306-23-6	- Apparence : solide cristallisé - Masse molaire (g/mol): 144,5		

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

Chrome	7440-47-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 51,996</li> <li>- Formule chimique : Cr</li> <li>- Point d'ébullition : 2 657°C</li> <li>- Le chrome n'est pas volatil.</li> </ul>	<p>- Chez l'homme, voie orale : pour le chrome VI, vertiges, sensation de soif, douleurs abdominales, diarrhées hémorragiques et dans les cas les plus sévères, coma et décès. Survenue éventuelle de nécroses du foie et des reins en cas de survie du patient.</p> <p>Dose létale du trioxyde de chrome entre 1 et 3 g et entre 50 et 70 mg/kg de poids corporel pour les chromates.</p>	INERIS, 2005
Trioxyde de chrome	1333-82-0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé sous forme de granules ou paillettes</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 100</li> <li>- Formule chimique : CrO<sub>3</sub></li> <li>- Point de fusion : 197°C</li> <li>- Point d'ébullition : se décompose à 250°C</li> </ul>	<p>Chez l'animal, voie orale et voie respiratoire : plusieurs DL<sub>50</sub> et CL<sub>50</sub> sont disponibles selon le composé de chrome étudié et l'espèce utilisée pour l'étude. CL<sub>50</sub> entre 99 et 217 mg/m<sup>3</sup> soit en équivalent Cr VI entre 33 et 113 mg Cr VI m<sup>3</sup>.</p> <p>DL<sub>50</sub> entre 40 et 175mg/kg soit en équivalent Cr VI entre 13 et 90 mg Cr VI /kg.</p>	
Chromate de sodium	7775-11-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 161,98</li> <li>- Formule chimique : Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub></li> </ul>	<p>-Chez l'homme, voie respiratoire : pas d'étude ayant mis en évidence un effet toxique du chrome III seul. Pour une exposition aux dérivés du chrome III et du chrome VI, des effets sont observés au niveau du système respiratoire.</p> <p>NOAEL=0,001mg de chrome VI /m<sup>3</sup> pour des effets sur a muqueuse nasale de travailleur.</p>	
Dichromate de sodium	10588-01-9	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 261,96</li> <li>- Formule chimique : Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub></li> <li>- Point d'ébullition : se décompose à 400°C</li> </ul>	<p>Possibilité de sensibilisation au chrome avec crises d'asthme et dermites. Des expositions à 0,029 mg/l de chromate de sodium ou à 0,035 mg/l de dichromate de potassium produisent ces effets.</p> <p>Des atteintes gastro-intestinales ont également été observées lors d'expositions professionnelles par inhalation, concentration supérieure ou égale à 0,01mg/m<sup>3</sup> pendant 1 an.</p>	
Dichromate d'ammonium	7789-09-5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 252,06</li> <li>- Formule chimique : (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub></li> <li>- Point d'ébullition : se décompose à 170/800°C</li> </ul>	<p>Des observations d'effets cardiovasculaires, oculaires, hépatiques, hématologiques, rénaux et neurotoxiques ont également été recherchées sans que les résultats soient toujours concluants.</p>	
Dichromate de potassium	7778-50-9	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 294,20</li> <li>- Formule chimique : K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub></li> <li>- Point d'ébullition : se décompose à 500°C</li> </ul>	<p>Chez l'animal, voie orale et respiratoire : les composés hydrosolubles du chrome VI sont très toxiques. Les organes cibles sont le rein, le foie, la rate et les poumons selon la voie d'exposition.</p> <p>Pour la voie respiratoire, les mêmes effets sont les mêle que ceux observés chez l'homme. LOAEL=0,2 mg Cr VI /m<sup>3</sup> chez le rat pour le dichromate de sodium pour un effet sur le système immunitaire.</p> <p>Pour la voir orale, NOAEL=2,5 mg/kg/j en chrome pour du chromate de potassium administré dans l'eau de boisson.</p>	

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

			En ce qui concerne la cancérogénicité, le chrome VI et ses composés sont classés cancérogène pour l'homme ; le chrome III et ses composés ne peuvent être classés pour leur cancérogénicité pour l'homme.	
Cobalt	7440-48-4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 58,93</li> <li>- Formule chimique : Co</li> <li>- Point d'ébullition : 2870°C</li> <li>- Pression de vapeur 0 Pa à 20°C</li> <li>- Le cobalt n'est pas volatil. Il se trouve donc dans la phase particulaire et principalement sous sa forme oxydée.</li> </ul>	<p>-Chez l'homme, par voie orale : un cas mortel d'ingestion de 30ml d'une solution de chlorure de cobalt.</p> <p>Chez l'animal, par voie respiratoire, le cobalt est létal à forte dose ou pour longue durée d'exposition. CL<sub>50%</sub>=165mg/m<sup>3</sup> pour 30min. Effet sur les poumons pour une concentration=83mg/m<sup>3</sup>.</p> <p>Chez l'animal, par voie orale : DL50 comprises entre 91 mg/kg pour le fluorure de cobalt et 317 mg/kg pour le carbonate de cobalt. Létalité pour 161 mg/kg chez des rats exposés par gavage.</p> <p>Effets cardiaques et hépatiques chez des rats exposés à une dose unique de cobalt variant entre 45mg/kg et 775 mg/k</p> <p>-Chez l'homme, par voie respiratoire : effet sur le système respiratoire pour une exposition à 0,0038mg/m<sup>3</sup> de cobalt pendant 6h. NOAEL=5,3µg/m<sup>3</sup> retenue pour effets sur le système respiratoire (Nemery et al, 1992).</p> <p>Sensibilisation au cobalt pour des expositions supérieures à 3 ans en milieu professionnel. LOAEL=0,007 mg/m<sup>3</sup></p> <p>Chez l'homme comme chez l'animal, par voie orale : effets respiratoires, cardiovasculaires, gastro-intestinaux, hématologiques, musculo-squelettiques, hépatiques, rénaux, oculaires, thyroïdiens et sur l'état général.</p> <p>De nombreuses études chez l'animal explorant les différentes voies d'exposition sans permettre de donner de valeur toxicologique précise Le cobalt est probablement cancérogène et reprotoxique. (études chez l'animal)</p>	INERIS, 2006
Chlorures de cobalt	7646-48-4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 129,84</li> <li>- Formule chimique : CoCl<sub>2</sub></li> <li>- Point d'ébullition : 1049°C</li> </ul>		
Nitrate de cobalt	10141-05-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 182,96</li> <li>- Formule chimique : Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></li> </ul>		
Oxyde de cobalt	1307-96-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 74,93</li> <li>- Formule chimique : CoO</li> </ul>		
Sulfate de cobalt	10124-43-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 154,99</li> <li>- Formule chimique : CoSO<sub>4</sub></li> <li>- Point d'ébullition : se décompose à 735°C</li> </ul>		
Sulfure de cobalt	1317-42-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 91,01</li> <li>- Formule chimique : CoS</li> </ul>		

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

Plomb	7439-92-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 207,20</li> <li>- Formule chimique : Pb</li> <li>- Point d'ébullition : 1740°C</li> <li>- Les composés inorganiques du plomb ne sont pas volatils. Ils se retrouvent dans la phase particulaire. Les principales formes de plomb dans l'air sont les carbonates, les oxycarbonates, les oxydes et les sulfates de plomb.</li> </ul>	<p>-Chez l'homme, voie orale. L'intoxication se produit très rarement et uniquement dans des conditions accidentelles. Les symptômes sont des troubles digestifs, des coliques et des crampes et douleurs abdominales. Chez les enfants, LOAEL entre 600 et 1000µg/l (US EPA). Une atteinte rénale parfois mortelle a également été décrite ainsi que des lésions du système nerveux central en cas d'intoxication sévère. Enfin, des atteintes hépatiques ont parfois été décrites chez les enfants.</p> <p>Chez l'homme, voie respiratoire. Peut d'études mais une intoxication accidentelle peut survenir par inhalation.</p>	<p>INERIS, 2003</p>
Acétate de plomb	301-04-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 325,29</li> <li>- Formule chimique : Pb (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>)<sub>2</sub></li> <li>- Point d'ébullition : se décompose</li> </ul>	<p>Chez l'animal, voie orale. Il existe peu d'études. Elles mettent en évidence des effets sur le système sanguin, les reins, le système immunitaire et le système nerveux.</p> <p>Effet sur le rein : LOAEL=17,5mg/kg/j</p>	
Carbonate de plomb	598-63-0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 267,20</li> <li>- Formule chimique : PbCO<sub>3</sub></li> <li>- Point d'ébullition : se décompose à 315°C</li> </ul>	<p>-Chez l'homme, voie orale : pour les forte doses, observation d'effets sur les systèmes nerveux central et périphérique (encéphalopathie saturnique, troubles neurologiques...), de paralysies partielles des membres, en particuliers les membres supérieurs, d'anémie... Quatre classes de plombémies ont été ainsi déterminées : plombémie sévère&gt;1500µg/l de sang plombémie forte de 410 à 800µg/l de sang, plombémie moyenne de 210 à 400µg/l et plombémie faible environ 200µg/L.</p> <p>Mise en évidence du passage du plomb de la mère à l'enfant : l'exposition prénatale ne doit pas dépasser100µg/l.</p>	
Carbonate basique de plomb	1319-46-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 775,67</li> <li>- Formule chimique : (PbCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>,Pb (OH)<sub>2</sub></li> <li>- Point d'ébullition : se décompose à 400°C</li> </ul>	<p>Chez l'homme, voie respiratoire : mise en évidence d'effets rénaux.</p>	
Oxyde de plomb	1317-36-8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 223,21</li> <li>- Formule chimique : PbO</li> <li>- Point d'ébullition : se décompose à 1472°C</li> </ul>	<p>Le plomb pourrait aussi avoir des effets sur les os et sur le système cardiovasculaire.</p>	
Dioxyde de plomb	1309-60-0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 239,20</li> <li>- Formule chimique : PbO<sub>2</sub></li> <li>- Point d'ébullition : se décompose à 290°C</li> </ul>	<p>Chez l'animal, voie orale et respiratoire. Les études chez l'animal confirment les observations réalisées chez l'homme. Elles mettent aussi en évidence les variabilités des effets en fonction des conditions d'exposition (gavage, alimentation, eau de boisson...) en particulier sur les effets hématologiques.</p>	
Tetraoxyde de plomb	1314-41-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : écailles cristallines ou poudre amorphe</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 685,60</li> <li>- Formule chimique : Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub></li> <li>- Point d'ébullition : se décompose à 500°C</li> </ul>	<p>Le plomb et ses dérivés sont classés comme cancérigènes possibles pour l'homme. Les chromates et l'arséniate de plomb dont classés cancérigènes.</p>	

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

Sulfure de plomb	1314-87-0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 239,26</li> <li>- Formule chimique : PbS</li> <li>- Point d'ébullition : 1281°C</li> </ul>	Le plomb a aussi des effets sur la reproduction, pour les expositions à long terme.	
Sulfate de plomb	7446-14-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 303,26</li> <li>- Formule chimique : PbSO<sub>4</sub></li> </ul>		
Nickel	7740-02-0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 58,69</li> <li>- Point d'ébullition : 2730°C</li> <li>- Pression de vapeur <math>4,5.10^{-4}</math> Pa à 21,1°C <math>5,3.10^{-4}</math> Pa à 25°C</li> <li>-Nickel émis dans l'atmosphère sous forme principalement d'aérosol. La demi-vie des particules contenant du nickel varie d'une semaine à un mois. Dans les particules issues de la combustion, le nickel est plutôt sous forme de sulfates. Les cendres provenant de la combustion de charbon contiennent plutôt le nickel sous forme d'oxydes de complexes de fer.</li> </ul>	<p>Les composés du nickel n'ont pas tous la même toxicité.</p> <p>-Chez l'homme, voie respiratoire : le composé le plus toxique est le tétracarbonylnickel et peut entraîner la mort. La toxicité aiguë se décompose en deux phases : immédiate (maux de tête, vertiges, nausées, insomnie) et retardée (symptôme d'une pneumonie virale avec douleurs de poitrines, toux, cyanose, symptômes gastro-intestinaux, perturbations visuelles et débilité). LOAEL=382mg/m<sup>3</sup> déterminé pour un syndrome respiratoire pour une exposition de 90 min.</p> <p>Chez l'homme, voie orale : L'ingestion de nickel ou d'un de ces composé peut entraîner la mort. Pour des doses moins importantes, observations de nausées, diarrhées, crampes abdominales, maux de tête, sensation ébriété...</p>	INERIS, 2006
Nickel tétracabonyle	13463-39-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 170,73</li> <li>- Formule chimique : Ni(CO)<sub>4</sub></li> <li>- Point d'ébullition : 43°C</li> </ul>	<p>Chez l'animal, voie orale et respiratoire : plusieurs études réalisées chez des rats et des souris pour plusieurs composés. La toxicité est plus importante pour le tétracarbonylnickel par voie respiratoire, puis pour la voie orale : le sulfate de nickel, l'acétate de nickel, le monoxyde de nickel et enfin le sous-sulfure de nickel.</p>	
Acétate de nickel	373-02-4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 176,79</li> <li>- Formule chimique : Ni(CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>)<sub>2</sub></li> </ul>	<p>-Chez l'homme, par voie respiratoire. Le système respiratoire est la principale cible du nickel.</p>	
Chlorures de nickel	7718-54-9	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 129,60</li> <li>- Formule chimique : NiCl<sub>2</sub></li> <li>- Point d'ébullition : 973°C (sublimation)</li> </ul>	<p>Chez l'homme, par voie orale : le principal organe cible le rein.</p>	

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

Nitrate de nickel	13138-45-9	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 182,70</li> <li>- Formule chimique : Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></li> <li>- Point d'ébullition : 136,7°C</li> </ul>	<p>Chez l'animal, voie respiratoire : effets sur le système respiratoire, sur la thyroïde, sur les reins.</p> <p>Chez l'animal, voie orale : effets sur les reins, le foie, le cœur et les poumons.</p>	
Oxyde de nickel	1313-99-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : poudre</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 74,69</li> <li>- Formule chimique : NiO</li> <li>- Point d'ébullition : &gt;2000°C</li> </ul>	<p>Les composés du nickel sont classés cancérigène pour l'homme alors que le nickel métallique est probablement cancérigène pour l'homme. (CIRC 1990). Seul le tétracarbonylnickel est classé reprotoxique pour l'homme.</p>	
Sulfate de nickel	7786-81-4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 154,76</li> <li>- Formule chimique : NiSO<sub>4</sub></li> <li>- Point d'ébullition : se décompose à 840°C</li> </ul>		
Sous-sulfate de nickel	12035-72-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 240,21</li> <li>- Formule chimique : Ni<sub>3</sub>S<sub>2</sub></li> </ul>		
Manganèse				
Manganèse	7439-96-5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 54,94</li> <li>- Formule chimique : Mn</li> <li>- Point d'ébullition : 1 985°C</li> <li>- Peu ou pas volatils, le manganèse et ses composés se retrouvent plutôt dans la phase particulaire. Principalement associés aux particules de diamètre équivalent inférieur à 5µm, ils peuvent être transportés par l'air.</li> </ul>	<p>-Chez l'homme, voie respiratoire, observation de divers syndromes respiratoires : fièvre des métaux, pneumonie au manganèse (sécheresse et goût métallique dans la bouche, fièvres, sueurs, nausée, toux, myalgies, céphalées, action immunodépresseur, pneumonie et hémorragie pulmonaire, insuffisance rénale, diarrhées...)</p> <p>-Chez l'animal, voie respiratoire : CL<sub>50</sub> de 60 et 1 mg/m<sup>3</sup> pour des rats exposé au MMT pendant respectivement 1 et 4 heures.</p> <p>Effets sur les poumons pouvant entraîner la mort.</p>	INERIS, 2007
Mancozèbe	8081-01-7	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide pulvérulent</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 541,03</li> <li>- Formule chimique : C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>MnN<sub>2</sub>S<sub>4</sub>.C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>MnN<sub>2</sub>S<sub>4</sub>-Zn</li> <li>- Point d'ébullition : se décompose à 192/204 °C, avant de fondre</li> <li>- Pression de vapeur : 1,3.10<sup>-5</sup> Pa à 25 °C</li> <li>- Stable dans des conditions sèches. Se décompose lentement dans des conditions chaudes et humides.</li> </ul>	<p>Chez l'animal, voie orale : faible toxicité, variable selon les composés.</p> <p>-Chez l'homme, voie respiratoire : atteintes du système nerveux central (troubles psychiatriques et atteintes neurologiques). Les premiers signes précoces apparaissent pour des expositions comprises entre 0,027 et 1 mg/m<sup>3</sup>.</p>	
Manèbe	12427-38-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide pulvérulent</li> </ul>	<p>Chez l'homme, par voie orale : peu de données probablement à cause du</p>	

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Masse molaire (g/mol): 265,30</li> <li>- Formule chimique : <math>C_4H_6MnN_2S_4</math></li> <li>- Point d'ébullition : se décompose à 192/204 °C, avant de fondre</li> <li>- Pression de vapeur : <math>1,0 \cdot 10^{-5}</math> Pa à 20 °C</li> <li>- Log Kow : 1,33</li> <li>- Se décompose lors d'une exposition prolongée à l'air ou à l'humidité. Décomposition plus rapide en milieu aéré.</li> </ul>	<p>contrôle homéostatique exercé par l'organisme sur les quantités de manganèse absorbées.</p> <p>Chez l'animal, voie respiratoire : Pas d'effets semblables à ceux observés chez l'homme mis en évidence dans les études menées chez des singes et des rats. Existence d'une différence de sensibilité, de biodisponibilité ou de cinétique entre les espèces.</p> <p>Chez l'animal, par voie orale : plusieurs études ont été menées. NOAEL=5mg/kg/j pour des effets systémiques chez des singes. Effets sur le foie, le pancréas, les reins et le système nerveux central.</p>
MMT	11108-13-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 218,10</li> <li>- Formule chimique : <math>C_9H_7MnO_3</math></li> <li>- Point d'ébullition : 232,3°C</li> <li>- Pression de vapeur : 6,3 Pa à 20 °C</li> <li>- Log Kow : 3,7</li> <li>- Se décompose à la lumière et dans l'air (demi-vie inférieure à 2 minutes). Dégradation en oxydes et carbonates de manganèses sous formes solides.</li> </ul>	
Acétate de manganèse	638-38-0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 173,03</li> <li>- Formule chimique : <math>Mn(CH_3COO)_2</math></li> <li>- Point d'ébullition : se décompose à 350°C</li> </ul>	
Carbonate de manganèse	598-62-9	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide pulvérulent</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 114,95</li> <li>- Formule chimique : <math>MnCO_3</math></li> <li>- Point d'ébullition : se décompose en oxyde et en dioxyde de manganèse au-dessus de 200 °C</li> <li>- Se décompose lentement dans l'air en oxyde manganéux avec dégagement de dioxyde de carbone.</li> </ul>	
Chlorures de manganèse	7773-01-5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 125,84</li> <li>- Formule chimique : <math>MnCl_3</math></li> <li>- Point d'ébullition : 1 190°C</li> </ul>	

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

Oxyde de manganèse	1344-43-0	- Apparence : solide cristallisé ou pulvérulent - Masse molaire (g/mol): 70,94 - Formule chimique : MnO -Log Kow : 0,18		
Dioxyde de manganèse	1313-13-9	- Apparence : solide cristallisé - Masse molaire (g/mol): 86,94 - Formule chimique : MnO <sub>2</sub> -se décompose vers 535 °C avec dégagement d'oxygène et formation de Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Pas de dégradation par photolyse.		
Tétraoxyde de manganèse	1317-53-7	- Apparence : solide cristallisé ou pulvérulent - Masse molaire (g/mol): 228,79 - Formule chimique : Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>		
Sulfate de manganèse	7785-87-7	- Apparence : solide cristallisé - Masse molaire (g/mol): 151,0 - Formule chimique : MnSO <sub>4</sub> - Point d'ébullition : se décompose à 850 °C		
Thallium	7440-28-0	- Apparence : solide - Masse molaire (g/mol): 204,38 - Formule chimique : Tl - Point de fusion : 303,5 °C - Point d'ébullition : 1457°C	-Chez l'homme, voie respiratoire : peu de données. Effets possibles sur le système cardiovasculaire et sur les systèmes nerveux central et périphérique.  Chez l'homme, voie orale : l'ingestion de thallium peut être mortelle. Chez l'animal, voie orale : LOAEL= 5mg/kg/j chez le cochon d'inde et LOAEL=20mg/kg/j chez le rat.	ATSDR, 1992
Acétate de thallium	563-58-8	- Apparence : solide - Masse molaire (g/mol): 263,43 - Formule chimique : TIC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> - Point de fusion : 131°C		
Oxyde de thallium	1314-32-5	- Apparence : solide - Masse molaire (g/mol): 456,76 - Point de fusion : 717°C - Point d'ébullition : 875°C		
Carbonate de thallium	6533-73-9	- Apparence : solide - Masse molaire (g/mol): 468,78 - Point de fusion : 273°C		
Chlorure de thallium	7791-12-0	- Apparence : solide - Masse molaire (g/mol): 310,74		



## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Point de fusion : 25°C</li> <li>- Point d'ébullition : se décompose</li> </ul>		
Nitrate de thallium	10102-45-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 266,39</li> <li>- Point de fusion : 206°C</li> <li>- Point d'ébullition : 430°C</li> </ul>		
Sulfate de thallium	7446-18-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 504,82</li> <li>- Point de fusion : 632°C</li> <li>- Point d'ébullition : se décompose</li> </ul>		

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

**Tableau 20 : Les polluants générés par la combustion d'une spirale : les éthers halogénés**

Les éthers halogénés				
Substance (nom usuel)	N°CAS	Propriétés physico-chimiques	Toxicologie	Source
bis(chloro- méthyl)ether  autres dénominations : BCME  Chloromethyl bis ether	542-88-1	- Apparence : liquide incolore - Point d'ébullition = 106°C - point de fusion : -41.5°C - Pression de vapeur : 29.4 mm Hg à 25°C - pas corrosif - log Kow= 1.04 - miscible avec la plupart des solvants organiques - produit hautement volatile	<p><b><u>Par inhalation :</u></b></p> <p>- <u>étude de mortalité</u> : LC50 = 7ppm, et NOAEL = 0.7ppm par inhalation aigue pendant 7h chez des rats et les hamster ; une exposition à une dose de 2.1ppm durant 7h réduit de façon significative leur survie. LC50 = 5.3ppm par inhalation aigue pendant 6h chez des souris.</p> <p>- <u>effets systémiques</u> :</p> <p>- effets respiratoires : chez rats et hamsters : le BCME est irritant pour les poumons, et provoque congestion et hémorragie chez les rats et hamsters dès une exposition à 0.7ppm.</p> <p>Pour une exposition intermédiaire, une détresse respiratoire est observée chez les souris exposée à 1.0ppm de BCME durant 82j, 6h/j , alors qu'aucun effet (œdème, hémorragie ou apparence histologique des poumons) n'est observé sur des rats exposés 0.1ppm de BCME durant 6mois, 6h/j, 5j/semaine ; c'est par conséquent cette valeur qui a servi au calcul de la MRL de 0.0003ppm (après conversion de 0.1ppm animal en équivalent humain, et avec UF = 100 (10 pour l'extrapolation animal/homme, et 10 pour la variabilité interhumaine),</p> <p>Les hommes exposés à des vapeurs de BCME présente une incidence de bronchite chronique supérieure à la normale (toux chronique...)</p> <p>- autres effets systémiques : pas d'effets observés sur d'autres organes que les poumons. Cette observation serait cohérente avec l'hypothèse d'une hydrolyse rapide du BCME en formaldéhyde et acide chlorhydrique qui seraient probablement absorbés et distribués dans tout le corps mais à des concentrations suffisamment faibles pour ne pas induire d'effet.</p> <p>- <u>effets neurologiques</u> :</p> <p>-- aucune observation histopathologique sur le système nerveux n'est observé sur des rats exposés 0.1ppm de BCME durant 6mois, 6h/j, 5j/semaine.</p>	<p><b>ATSDR 1989</b> Drew et al 1975</p> <p>Leong et al 1971</p> <p>Drew et al 1975</p> <p>Leong et al 1971</p>

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

			<p>-- irritabilité chez les rats et hamster exposés 10 à 30 fois à des doses de 1ppm de BCME, dû à un effet sur le système nerveux central, mais il est probable que l'effet observé soit dû au stress engendré par le traitement ; La cause des lésions et leurs signification n'ont pas été discutées.</p> <p>- <u>cancer</u> : des études épidémiologiques montrent une augmentation du risque de cancer des poumons chez les travailleurs. Bien que ces travailleurs ne soient pas exposés uniquement à la substance chimique BCME, les données sont suffisamment fortes pour conclure à l'effet cancérigène du BCME sur le poumon.</p> <p>Les données quantitatives d'exposition n'étaient pas disponibles, mais une augmentation du risque comme une fonction de la durée d'exposition et/ou d'estimation qualitative de l'intensité d'exposition a parfois été notée. Certaines tumeurs apparaissent seulement après 5 à 10 ans d'exposition, chez de jeunes travailleurs.</p> <p>Le pouvoir cancérigène avec une faible période de latence a été confirmé par des études sur animaux. Des rats ont en effet développé des tumeurs la plupart du temps nasales, mais des tumeurs pulmonaires ont également été observées. Les souris soumises à des conditions d'exposition similaires n'ont pas développé de cancer des poumons, mais des adénomes pulmonaires.</p> <p>Pour des doses comprises entre 0.001 et 0.01ppm, les rats comme les souris ne développent pas de tumeurs ou d'adénome pulmonaires.</p> <p>Les hamsters sont quant à eux plus résistants que les souris et les rats, toutefois deux cas de cancer nasal ont été observés 2 ans après avoir exposé des hamsters à 3 reprises à 1ppm de BCME ; les hamsters soumis 10fois ou plus à des doses de 1ppm meurent avant d'avoir le temps de développer une tumeur.</p> <p>L'US EPA a classé le BCME en classe A, et calculé un <b>facteur d'excès de cancer de 220 (mg/kg/jour)<sup>-1</sup></b>, sur la base des études de Kushner ; en considérant qu'un homme de 70kg inhale 20m<sup>3</sup>/j d'air, les concentrations dans l'air associées à des excès de risques de 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-5</sup>, 10<sup>-6</sup> et 10<sup>-7</sup> sont respectivement 3.4*10<sup>-7</sup>, 3.4*10<sup>-8</sup>, 3.4*10<sup>-9</sup> et 3.4*10<sup>-10</sup>ppm.</p> <p>Les données ont été revues par un groupe de travail qui estime qu'elles ne sont pas adaptées pour générer une RfC inhalation.</p> <p>Un excès de risque unitaire par inhalation calculé est de 6.2*10<sup>-2</sup> (µg/cu.m)<sup>-1</sup> ; il</p>	<p>Drew et al 1975</p> <p>Figuroa et al 1973 ; Thiess et al 1973 ; Sakabe, 1973, Albert et al 1975,</p> <p>Lemen et al 1976 Pasternack et al 1977</p> <p>Kushner et al 1975</p> <p>Leong et al 1971</p> <p>ATSDR et</p>
--	--	--	---	---

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

			<p>est obtenu par une procédure de linéarisation multi-étape, sur la base des résultats de l'étude de Kushner et al (1975).</p> <p><b>Par ingestion :</b> Aucune étude n'a été réalisée dans le cadre de cette exposition, par conséquent les valeurs d'excès de risque données dans les bases de toxicologie proviennent d'une extrapolation de voie. On a en effet une pente de <b>220 (mg/kg/jour)<sup>-1</sup></b> Et un excès de risque unitaire par ingestion d'eau de <math>6.2 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{cu.m})^{-1}</math></p> <p><b>Par contact :</b></p> <p>- <u>étude de mortalité</u> : La valeur de LD<sub>50</sub> estimée est 370mg/kg pour une seule application sur la peau de lapins.</p> <p>- <u>effets systémiques</u> : - effets oculaires /dermiques : le BCME est hautement réactif et engendre des irritations de la peau et des tissus épithéliales. L'application chronique de 1mg/dose sur la peau de souris se traduit par une corrosion importante de la peau, induisant entre autre la perte de poils, et un œdème des tissus sub-cutanés. Chez la lapins, une unique application de BCME non dilué conduit à un érythème modéré et à une nécrose marquée ; Une dose de 7mg appliquée sur les yeux de lapins produit une nécrose sévère de la cornée.</p>	<p>US EPA , 1989</p> <p><b>US EPA , 1991</b></p> <p><b>US EPA , 1991</b></p> <p><b>ATSDR 1989</b> Union carbide 1968</p> <p>Van Duuren et al, 1969</p>
<p>Chlorométhyl- méthyl-ether</p> <p>autres dénominations : CMME</p>	107-30-2	<p>- Apparence : liquide incolore - Point d'ébullition = 59,5°C - point de fusion : -103,5°C - Pression de vapeur : 30 mm Hg à 22 deg C - irritant - miscible avec l'éthanol, l'éther et plupart des solvants organiques - produit hautement volatil</p>	<p><b>Par inhalation :</b></p> <p>Plusieurs études de cas et épidémiologiques rapportent des cancers respiratoires associés à des expositions au CMME, parmi lesquelles 4 étudiant des travailleurs exposés à du CMME technique contenant 1 à 8 % de BCME. Un excès de risque significatif a été observé (nombre de cas observés = 278, pour 9,3 attendus) mais l'exposition n'était pas quantifiable. Une relation dose-réponse significative statistiquement a été observée avec le durée et l'intensité de l'exposition.</p> <p>Les travailleurs exposés à du CMME pollué par du BCME présentaient plus de</p>	<p><b>US EPA 1989</b> Figueroa et al 1973 De Fonso et Keaton 1976, Lemenet al 1976</p>

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

			<p>cancers que les travailleurs non exposés, mais moins que les travailleurs exposés uniquement au BCME, produit cancérigène vu précédemment ; les effets cancérigènes du CMME technique (pollué par le BCME) pourraient donc provenir de la présence des quelques pourcents de BCME. Malgré les limites de cette étude, le caractère cancérigène du CMME technique sur l'homme a été reconnu comme évident.</p> <p>Des études toxicologiques ont été menées sur des souris : l'administration de 2ppm de CMME pendant 6h/j 5J/semaine pendant 101 jours par inhalation, a induit une augmentation de l'incidence d'adénomes mais elle n'a pas été jugée significative statiquement.</p> <p>Chez des rats mâles exposés à 1ppm de CMME pendant toute leur vie ; l'incidence de métaplasie trachéales et d'hyperplasie bronchiques étaient plus grandes que chez les témoins non exposés.</p> <p>Par injection sous-cutanée : L'injection de 125µl/kg en sous-cutané chez des souris a induit des tumeurs pulmonaires, mais là aussi l'augmentation de l'incidence n'était pas significative.</p> <p>Malgré l'évidence reconnue du CMME comme cancérigène, aucune valeur de ERU n'est fournie par l'US EPA.</p> <p>La base de données Furetox indique que l'OEHHA propose un facteur de pente pour l'ingestion (de 2.4 (mg/kg/j))<sup>-1</sup>, ainsi qu'un risque unitaire par inhalation ( de 0.00069 (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>, mais les documents en ligne ne présentent aucune de ces valeurs.</p> <p>Santé Canada rapporte les études mentionnées dans l'US EPA, mais ne propose aucune VTR.</p> <p>Aucune VTR pour ce produit ne sera donc retenue, bien que décrit comme cancérigène pour l'homme (monographie de l'IARC).</p>	<p>Nelson 1976, weiss et al 1980</p> <p>Pasternak 1977</p> <p>Leong 1971</p> <p><b>Santé Canda 1993</b> Laskin et al 1975</p> <p>Gargus 1969</p>
--	--	--	---	--

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

**Tableau 21 : Les polluants générés par la combustion d'une spirale : les HAP**

Les HAP				
Substance (nom usuel)	N°CAS	Propriétés physico-chimiques	Toxicologie	Source
Acénaphthène	83-32-9 208-96-8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé sous forme d'aiguilles</li> <li>- Masse molaire –g/mol) : 154,21</li> <li>- Pression de vapeur : 0,282 Pa à 20°C 0,356 Pa à 25°C</li> <li>- Log Kow : 3,92</li> <li>- Coefficient de diffusion dans l'air (cm<sup>2</sup>/s) : 4,21.10<sup>-2</sup> à 25°C</li> <li>- Présent dans l'atmosphère sous forme vapeur. Dégradation dans l'air par réaction avec les composés hydroxyles formés par les réactions photochimiques. (Demi-vie = 7,2h pour une concentration de 5.10<sup>5</sup> radicaux hydroxyles.cm<sup>3</sup> (HSDB, 2001)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chez l'animal, voie orale : DL50=10 g/kg chez le rat et 2,1 g/kg chez la souris (Knoblock et al., 1969)</li> <li>- Chez l'animal, voie respiratoire : LOAEL=12 mg/m<sup>3</sup> (Reshetyuk et al., 1970)</li> <li>Chez l'animal, voie orale : LOAEL= 350 mg.kg chez des souris NOAEL= 175 mg/kg chez des souris (US EPA, 1989)</li> </ul>	INERIS, 2005
Acénaphthylène	83-32-9	Non Documenté	Non Documenté	
Anthracène	120-12-7 58917-67-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé sous forme de feuillets</li> <li>- Masse molaire (g/mol): 178,23</li> <li>- Point d'ébullition : 340,9°C</li> <li>- Pression de vapeur : très faible</li> <li>- Log Kow : 4,45</li> <li>- Coefficient de diffusion dans l'air (cm<sup>2</sup>/s) : 4,28 .10<sup>-2</sup></li> <li>- Présent dans l'atmosphère sous forme vapeur. Dégradation dans l'air par réaction avec les composés hydroxyles formés par les réactions photochimiques. (Demi-vie = 3,4h pour une concentration de 5.10<sup>5</sup> radicaux hydroxyles.cm<sup>3</sup> (Atkinson, 1989)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chez l'animal, voie orale : LOAEL=50mg/kg chez les rats</li> <li>Chez l'animal voie respiratoire : LOAEL= 4,7 mg/m<sup>3</sup> chez la souris</li> <li>- Chez l'animal, voie orale : NOAEL=1000 mg/kg/j chez la souris</li> </ul>	INERIS, 2005
Benz[a]anthracène	56-55-3	Non Documenté	Non Documenté	
Benzo[a]pyrène	50-32-8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé</li> <li>- Masse molaire (g/mol) : 252,3</li> <li>- Point d'ébullition : 475°C</li> <li>- Pression de vapeur : 7,3.10<sup>-7</sup> Pa à 25°C</li> <li>- Log Kow : 6,0</li> <li>- Coefficient de diffusion dans l'air (cm<sup>2</sup>/s) : 4,5.10<sup>-2</sup></li> <li>- Dans l'air, adsorbé sur la matière particulaire. Peu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chez l'animal, voie orale : DL50&gt;1600mg/kg (Awogi et Sato , 1989)</li> <li>- Chez le rat, voie respiratoire : NOAEL=7,7 mg/m<sup>3</sup> (Wolff et al., 1989)</li> <li>Chez le rat, voie orale :</li> </ul>	INERIS, 2006

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

		dégradable, il réagit en présence d'ozone et de dioxyde d'azote. Durée de vie de 1.8 jour avec le premier et de 19 jours avec le second	LOAEL=50 ou 150 mg/kg/j NOAEL= 150mg/kg/j (chez des souris présentant une sensibilité, présence d'un récepteur Ah de forte affinité, dose de 120mg/kg/j par voie orale est mortelle.)	
Benzo[b]fluoranthène	205-99-2	- Apparence : solide cristallisé sous forme d'aiguilles - Masse molaire (g/mol) : 252,3 - Point d'ébullition : 481°C - Pression de vapeur : $6,7.10^{-5}$ Pa à 20°C - Log Kow : 6,57 - Coefficient de diffusion dans l'air (cm <sup>2</sup> /s) : $3,33.10^{-2}$ - Adsorbé sur la matière particulaire, dans l'air. Dégradation dans l'air avec les radicaux hydroxyles formés par réaction photochimique, demi-vie=21h pour une concentration de $5.10^5$ radicaux hydroxyles/cm <sup>3</sup> (HDSB, 2002)	-pas de données relatives à une exposition aiguë  -Chez l'animal par voie orale : effets sur le système immunitaire pour une dose de 0,5 à 5 mg/kg deux fois par semaines pendant huit semaines (Lee et Strickland, 1993)	INERIS, 2005
Benzo[g,h,i]perylène	192-24-2	- Apparence : solide cristallisé - Masse molaire (g/mol) : 276,3 -Point d'ébullition : 550°C - Pression de vapeur : $1,4.10^{-8}$ Pa - Log Kow : entre 6,5 et 6,73 selon les études - Présent uniquement dans la phase particulaire. Peu de dégradation.	- Pas de données de toxicité aiguë  -Chez l'homme, voie respiratoire : un effet possible sur le système immunitaire (Szczeklik <i>et al.</i> , 1994)	INERIS, 2006
Benzo[k]fluoranthène	207-08-9	- Apparence : solide cristallisé sous forme d'aiguilles - Masse molaire (g/mol) : 252,3 - Point d'ébullition : 480°C - Pression de vapeur : entre $1,3.10^{-8}$ et $0,7.10^{-4}$ Pa à 20°C -Log Kow : 6,84 - Coefficient de diffusion dans l'air (cm <sup>2</sup> /s) : $3,33.10^{-2}$ - Présent dans la phase particulaire.	-Chez l'homme, au niveau cellulaire in vitro : LOAEL=100µg/ml de particules émises par les cyclomoteurs (Ueng <i>et al.</i> , 2000) Chez l'animal, par injection dans le sac vitellin : DL50=14µg/kg/œuf chez des embryons de poulets (Brustrom <i>et al.</i> , 1991)  -Chez l'animal, voie respiratoire : effets sur le système immunitaire	INERIS, 2005
Chrysène	132769-75-6 132832-25-8 218-01-9	- Apparence : solide cristallisé - Masse molaire (g/mol) : 228,3 - Point d'ébullition : 448°C - Pression de vapeur : $8,4.10^{-5}$ Pa à 25°C -Log Kow :entre 5,01 et 6,64 selon les études - Coefficient de diffusion dans l'air (cm <sup>2</sup> /s) : $2,48.10^{-2}$ à 25°C	-Chez l'animal, par voie orale : LOAEL=100mg/kg/j chez le rat (Torronen <i>et al.</i> , 1981) -Chez l'homme pas d'effet spécifique établis pour le Chrysène (Szczeklik <i>et al.</i> , 1994)  Chez l'animal, par voie respiratoire : effets sur le système	INERIS, 2005

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

		- Présent principalement dans la phase particulaire dans l'air.	immunologique dus à un mélange de HAP dont le chrysène. (Harper <i>et al.</i> , 1996)	
Dibenz[a,h]anthracène	53-70-3	- Apparence : solide cristallisé sous forme de cristaux plats - Masse molaire (g/mol) : 278,35 - Point d'ébullition : 524°C - Pression de vapeur : $1,3 \cdot 10^{-8}$ Pa à 20°C - Log Kow : 6,7 - Coefficient de diffusion dans l'air (cm <sup>2</sup> /s) : $3,1 \cdot 10^{-2}$ - Présent dans la phase particulaire. Dégradation à la lumière, demi-vie=12h d'irradiation (Sanders <i>et al.</i> , 1993). Produits de photodégradation : quinones, dialdéhydes et cétones.	- Chez l'animal, par voie orale : NOAEL=51,4mg/kg/j chez des rats (Gershbein, 1975)  - Chez l'animal, par voie orale : LOAEL=0,2mg/ml d'une solution eau/huile d'olive chez souris sensibles (Lee et Strickland, 1993)	INERIS, 2006
Fluoranthène	206-44-0	- Apparence : solide cristallisé sous forme d'aiguilles ou de cristaux plats - Masse molaire (g/mol) : 202,26 - Point d'ébullition : entre 375 et 384°C - Pression de vapeur : $0,8 \cdot 10^{-3}$ Pa à 20°C $1,3 \cdot 10^{-3}$ Pa à 25°C - Log Kow : 5,1 - Coefficient de diffusion dans l'air (cm <sup>2</sup> /s) : $3,9 \cdot 10^{-2}$ - Adsorbé sur les particules. Dans l'atmosphère, oxydation par l'ozone et hydroxylation, activées par la lumière. Demi-vie accompagnant ces mécanismes varient entre 0,4 et 68,1 heures (dépend de la tailles et de la nature des particules). Dégradation possible en présence d'oxydes d'azote et de dioxydes de soufre si la température oscille entre 100°C et 200°C (proche des points d'émission)	- Chez l'animal, voie orale : DL50=2000mg/kg chez le rat et DL50=100mg/kg chez la souris (RTECS, 1993)  - Chez l'animal, voie orale : NOAEL=125mg/kg.j LOAEL=250 mg/kg/j (US EPA, 1988)	INERIS, 2005
Fluorène	86-73-7	- Apparence : solide cristallisé sous forme d'aiguilles - Masse molaire (g/mol) : 166,2 - Point d'ébullition : 295°C - Pression de vapeur : $4 \cdot 10^{-2}$ Pa à 20°C $9 \cdot 10^{-2}$ Pa à 25°C - Log Kow : 4.18 - Coefficient de diffusion dans l'air (cm <sup>2</sup> /s) : $4,56 \cdot 10^{-2}$ - Présent sous forme vapeur dans l'air. Dégradation dans l'air avec les radicaux hydroxydes formés par réaction photochimique, demi-vie=29h	- Chez l'animal, par voie orale : une dose de 180mg/kg/j pendant 10 jours produit un effet (Gershbein, 1975) Une dose de 150 mg/kg induit un effet chez le rat (Danz et Brauer, 1988)  - Chez l'animal, voie orale : LOAEL= 250 mg/kg/j NOAEL= 125mg/kg/j chez la souris pour des atteintes hématologiques (US EPA, 1989)	INERIS, 2005



## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

Indeno[1,2,3-cd]pyrène	193-39-5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide sous forme d'aiguilles</li> <li>- Masse molaire (g/mol) : 276,34</li> <li>- Point d'ébullition : 533°C</li> <li>- Pression de vapeur <math>1,3 \cdot 10^{-8}</math> Pa à 20°C</li> <li>- Log Kow : 6,60</li> <li>- Coefficient de diffusion dans l'air (cm<sup>2</sup>/s) : <math>53,1 \cdot 10^{-2}</math></li> <li>- Susceptible de subir une photolyse dans l'air.</li> </ul>	Pas de données	INERIS, 2005
Naphtalène	91-20-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé, cristaux lamellaires brillants de couleur blanche</li> <li>- Masse molaire (g/mol) : 128,2</li> <li>- Point d'ébullition : 218°C</li> <li>- Pression de vapeur : 7,2 Pa à 20°C 10,5 Pa à 25°C</li> <li>- Log Kow : 3,4</li> <li>- Coefficient de diffusion dans l'air (cm<sup>2</sup>/s) : <math>5,4 \cdot 10^{-2}</math></li> <li>- Volatil, il est présent sous forme de vapeur dans l'air.</li> </ul>	<p>- Chez l'homme, par voie orale : Dose toxique estimée entre 5 et 15 g chez l'adulte (Gerarde, 1962) 5g mortelle chez l'enfant (Ijiri <i>et al.</i>, 1987)</p> <p>Chez l'animal, voie orale : DL50=533mg/kg chez souris mâles DL50=710mg/kg chez souris femelles (Shopp <i>et al.</i>, 1984) DL50=2200mg/kg chez rats mâles DL=2400mg/kg chez rats femelles (Gaines, 1969) LOAEL=50mg/kg/j chez le rat pour effets neurologiques (NTP, 1991) Pas d'effet pour voie respiratoire</p> <p>-Chez l'homme, voie respiratoire, orale et cutanée. Pas de doses définies</p> <p>Chez l'animal, voie orale : LOAEL= 142,9mg/kg/j NOAEL=71,4mg/kg/j chez des rats (Battelle, 1980) LOAEL=133mg/kg NOAEL=53mg/kg chez des souris (Shopp <i>et al.</i>, 1984)</p> <p>Chez l'animal, voie respiratoire : Des effets ont été observés pour des doses de 10, 30 et 60ppm</p>	INERIS, 2005
Phénanthrène	85-01-8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé, cristaux monocliniques incolores brillants</li> <li>-Masse molaire (g/mol) :178,23</li> <li>-Point d'ébullition : 340°C</li> </ul>	-Chez l'animal, voie orale : DL50=700mg/kg et 1000mg/kg chez la souris (Montizaan <i>et al.</i> , 1989) une dose de 100mg/kg/j induit un effet chez les rats	INERIS, 2006

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pression de vapeur : 0,091 Pa à 20°C</li> <li>- Log Kow : 4,57</li> <li>- Coefficient de diffusion dans l'air (cm<sup>2</sup>/s) : 5,4.10<sup>-2</sup></li> <li>- A priori peu dégradable et peu volatile dans l'air</li> </ul>		
Pyrène	129-00-0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : solide cristallisé sous forme de tablettes</li> <li>- Masse molaire (g/mol) : 202,26</li> <li>- Point d'ébullition : 404°C</li> <li>- Pression de vapeur : entre 1,2.10<sup>-2</sup> et 6,0 Pa selon les études</li> <li>- Log Kow : 5,32</li> <li>- Coefficient de diffusion dans l'air (cm<sup>2</sup>/s) : 2,72.10<sup>-2</sup> à 25°C</li> <li>-Présent à la fois sous forme vapeur et sous forme particulaire dans l'atmosphère. Dégradation dans l'air avec les radicaux hydroxyles formés par réaction photochimique, demi-vie=8h pour une concentration de 5.10<sup>5</sup> radicaux hydroxyles/cm<sup>3</sup> (ATSDR, 1995)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Chez l'animal, une exposition à 5µmol à 5mmol de pyrène en solution dans l'éthanol, provoque une réaction phototoxique aux UV importante. (Kochevar <i>et al.</i>, 1982)</li> <li>-Chez l'animal, voie orale : NOAEL=75mg/kg/j LOAEL=125mg/kg/j chez des souris (US EPA, 1989)</li> </ul>	INERIS, 2005

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

**Tableau 22 : Les polluants générés par la combustion d'une spirale : les gaz**

Les Gaz				
Substance (nom usuel)	N°CAS	Propriétés physico-chimiques	Toxicologie	Source
Monoxyde de carbone	630-08-0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : gaz incolore et inodore</li> <li>- Formule chimique : CO</li> <li>- Masse molaire = 28,01 g/mol</li> <li>- Point de fusion = - 205 °C</li> <li>- Point d'ébullition = - 192 °C</li> <li>- Pression de vapeur = 34 kPa à 200°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- LC50 inhalation Rat : 2070 mg/m<sup>3</sup>/4 h</li> </ul>	Fiche toxicologique de l'INRS, 1996
Monoxyde d'azote	10102-43-9	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : gaz incolore</li> <li>- Formule chimique : NO</li> <li>- Masse molaire = 30,01 g/mol</li> <li>- Point de fusion = - 163,6 °C</li> <li>- Point d'ébullition = - 151,8 °C</li> <li>- Pression de vapeur = 3,47.10<sup>3</sup> KPa à 20°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CL50 inhalation rat : 141 mg/m<sup>3</sup> (115 ppm)/1 h</li> <li>- CL50 inhalation souris : 394 mg/m<sup>3</sup> (320 ppm)/8 h</li> </ul>	Fiche toxicologique de l'INRS, 2006
Dioxyde d'azote	233-272-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : gaz rouge brun, d'odeur très irritante</li> <li>- Formule chimique : NO<sub>2</sub></li> <li>- Masse molaire = 46,0 g/mol</li> <li>- Point de fusion = - 11,2 °C</li> <li>- Point d'ébullition = 21,15 °C</li> <li>- Pression de vapeur = 96 kPa à 20 °C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CL50 inhalation rat : 210 mg/m<sup>3</sup> (110 ppm)/1 h</li> </ul>	Fiche toxicologique de l'INERIS, 2005
Méthane	74-82-8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : gaz inodore</li> <li>- Formule chimique : CH<sub>4</sub></li> <li>- Masse molaire = 16,04 g/mol</li> <li>- Point de fusion = -182,6 °C</li> <li>- Point d'ébullition = -161,5 °C</li> <li>- Pression de vapeur = 760,00 mm de Hg (101,32472 kPa) à 20 °C</li> </ul>	Non disponible	Toxnet HSDB

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

Tableau 23 : Les polluants générés par la combustion d'une spirale : les COV

Les COV				
Substance (nom usuel)	N°CAS	Propriétés physico-chimiques	Toxicologie	Source
Dichlorométhane ou chlorure de méthylène	75-09-2	- Formule chimique : $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ - Masse molaire = 84,93 g/mol - Point de fusion = - 97°C - Point d'ébullition = 40 °C - Pression de vapeur = 46,5 kPa à 20°C	- DL <sub>50</sub> oral Rat > 2000 mg/Kg  - CL <sub>50</sub> inhalation Rat = 88000 mg/m <sup>3</sup> /30 mn Les effets sont principalement neurologiques avec des troubles respiratoires	Fiche toxicologique INRS, 1997
cis-1,2-Dichloroethene	156-59-2	- Formule chimique : $\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$ - Masse molaire = 96,95 g/mol - Point de fusion = - 81°C - Point d'ébullition = 60 °C - Pression de vapeur = 24 kPa à 20°C	- CL <sub>50</sub> inhalation Rat = 13700 ppm/h - Les valeurs de DL <sub>50</sub> n'ont pas été définies	Fiche toxicologique INRS, 2004
Chloroforme	67-66-3	- Formule chimique : $\text{CHCl}_3$ - Masse molaire = 119,38 g/mol - Point de fusion = -63,5°C - Point d'ébullition = 61,3°C - Pression de vapeur = 21,3 kPa à 20°C	- DL <sub>50</sub> voie orale rat = 1,5 g/kg ; la mort survient 2 à 4 heures après l'ingestion - CL <sub>50</sub> inhalation rat et la souris est de 6 à 10 g/m <sup>3</sup> pour une exposition de 6 heures.	Fiche toxicologique INRS, 2006
1,2 dichloroéthane	107-06-2	- Formule chimique : $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$ - Masse molaire = 98,97 g/mol - Point de fusion = 35,5°C - Point d'ébullition = 84°C - Pression de vapeur = 8,5 kPa à 20°C	- DL <sub>50</sub> orale rat = 670 mg/kg - CL <sub>50</sub> inhalation Rat = 1646 ppm pour une exposition de 6 heures	Fiche toxicologique INRS, 1997
m-Xylene	108-38-3	- Formule chimique : $\text{C}_8\text{H}_{10}$ - Masse molaire = 106,16 g/mol - Point de fusion = -47,4°C - Point d'ébullition = 139,1°C - Pression de vapeur = 790 kPa à 20°C	- CL <sub>50</sub> inhalation souris = 5 267 ppm (22 911,5 mg/m <sup>3</sup> ) pour une exposition de 6 heures	Fiche toxicologique INERIS, 2006
p-Xylene	106-42-3	- Formule chimique : $\text{C}_8\text{H}_{10}$ - Masse molaire = 106,16 g/mol - Point de fusion = 13,4°C - Point d'ébullition = 138,4°C - Pression de vapeur = 863 Pa à 20°C	- CL <sub>50</sub> inhalation souris = 3 907 ppm (16 995,45 mg/m <sup>3</sup> ) pour une exposition de 6 heures	Fiche toxicologique INERIS, 2006

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

o-Xylène	95-47-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formule chimique : C<sub>8</sub>H<sub>10</sub></li> <li>- Masse molaire = 106,16 g/mol</li> <li>- Point de fusion = -25°C</li> <li>- Point d'ébullition = 144,4°C</li> <li>- Pression de vapeur = 663 Pa à 20°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation souris = 4 595 ppm (19 988,25mg/m<sup>3</sup>) pour une exposition de 6 heures</li> </ul>	Fiche toxicologique INERIS, 2006
Styrene	100-42-5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formule chimique : C<sub>8</sub>H<sub>8</sub></li> <li>- Masse molaire = 104,15 g/mol</li> <li>- Point de fusion = -30,6°C</li> <li>- Point d'ébullition = 145-146°C</li> <li>- Pression de vapeur = 0,667 kPa à 20°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> voie orale souris = 316 mg/kg ;</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation souris = 4940 ppm/2 heures.</li> </ul>	
Toluène	108-88-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence :</li> <li>- Formule chimique : C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>3</sub></li> <li>- Masse molaire = 92,14 g/mol</li> <li>- Point d'ébullition = -110,6°C</li> <li>- Pression de vapeur = 2,922. KPa à 20°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation rat : 45,8 mg/L/7h</li> </ul>	
Isoprène	78-79-5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : gaz</li> <li>- Formule chimique : C<sub>5</sub>H<sub>8</sub></li> <li>- Masse molaire = 68,12 g/mol</li> <li>- Point de fusion = - 145,9 °C</li> <li>- Point d'ébullition = - 34,0 °C</li> <li>- Pression de vapeur = 733,3 hPa à 25°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation souris mâles : 139000 mg/m<sup>3</sup></li> </ul>	
Ethylbenzène	100-41-4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide incolore</li> <li>- Formule chimique : C<sub>8</sub>H<sub>10</sub></li> <li>- Masse molaire = 106,16 g/mol</li> <li>- Point de fusion = - 94,9 °C</li> <li>- Point d'ébullition = 136,1 °C</li> <li>- Pression de vapeur = 9,6 mm Hg à 25°C</li> <li>- Log Kow : 3,15</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> ingestion rats : 3500 mg/lg</li> <li>- LCL<sub>0</sub> inhalation rats : 4000 ppm/4h</li> </ul>	
Benzène	71-43-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide</li> <li>- Masse molaire (g/mol) : 78,11</li> <li>- Point d'ébullition : 80,1°C</li> <li>- Pression de vapeur : 10 032 Pa à 20°C 12 875 Pa à 25°C</li> <li>- Log Kow : 2,13</li> <li>- Coefficient de diffusion dans l'air (cm<sup>2</sup>/s) : 0,088 à 25°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chez l'homme, voie respiratoire : une exposition à 20000 ppm pendant 5 à 10 min est fatale. Entre 50 et 100ppm = fatigue et maux de tête, entre 250 et 500 ppm= vertiges, céphalées, malaises, nausées (Hathaxay, et al., 1991)</li> <li> </li> <li>- Chez l'homme voie orale : la dose létale se situe d'après Gosselin et al., 1984 entre 5à et 500 mg/kg.</li> </ul>	

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

	<p>-Présent dans l'air sous forme gazeuse, il est dégradé en réagissant avec les radicaux hydroxyles formés par réaction photochimique.</p>	<p>-Chez l'animal, voie orale : DL<sub>50</sub>=810mg/kg</p> <p>Chez l'animal, voie respiratoire : CL<sub>50</sub>=44,5g/m<sup>3</sup> pour une exposition chez des rats femelles pendant 4h. (Drew et Fouts, 1974) ou CL<sub>50</sub>=34g/m<sup>3</sup> (Svirlely et al., 1943).</p> <p>-Chez l'homme, effets hémotoxiques et immunotoxiques par voie respiratoire mis en évidence par de nombreuses études.</p> <p>Chez l'animal, par voie respiratoire : effets hématopoïques dès 10ppm. (Baarson et al., 1984)</p> <p>Chez l'animal par voie orale, effets dès 25mg/kg de poids corporel. (Cronkite et al., 1985)</p> <p>Relation doses-effets moins claire pour les autres effets.</p> <p>- le benzène est classé cancérigène certain pour l'homme. Cela a été montré par plus de 25 études relatives à des expositions professionnelles avec des risques relatifs variant autour de 3.</p>	
--	---	--	--

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

**Tableau 24 : Les polluants générés par la combustion d'une spirale : les composés carbonylés**

Les composés carbonylés				
Substance (nom usuel)	N°CAS	Propriétés physico-chimiques	Toxicologie	Source
Acétaldéhyde	75-07-0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide ou gaz incolore</li> <li>- Formule chimique : C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O</li> <li>- Masse molaire = 44,05 g/mol</li> <li>- Point de fusion = - 123,5 °C</li> <li>- Point d'ébullition = 21°C</li> <li>- Pression de vapeur = 902 mm Hg à 25°C</li> <li>- Log Kow = - 0,34</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat : 661 mg/kg</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat : 24 g/m<sup>3</sup>/4 h</li> </ul>	Toxnet ChemIDplus
Acétone	67-64-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide incolore volatil</li> <li>- Formule chimique : C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O</li> <li>- Masse molaire = 58,08 g/mol</li> <li>- Point de fusion = - 94,8 °C</li> <li>- Point d'ébullition = 56 °C</li> <li>- Pression de vapeur = 232 mm Hg à 25°C</li> <li>- Log Kow = - 0,24</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat : 5800mg/kg</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat : 50,1 g/m<sup>3</sup>/8h</li> </ul>	Toxnet ChemIDplus
Acroléine	107-02-8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide incolore à jaunâtre</li> <li>- Formule chimique : C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O</li> <li>- Masse molaire = 56,06 g/mol</li> <li>- Point de fusion = - 87,7 °C</li> <li>- Point d'ébullition = 52,6 °C</li> <li>- Pression de vapeur = 274 mm Hg à 25°C</li> <li>- Log Kow = - 0,01</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- LD50 oral Rat : 26 mg/kg</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat : 18mg/m<sup>3</sup>/4h</li> </ul>	Toxnet ChemIDplus
2-Butanone	78-93-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide incolore</li> <li>- Formule chimique : C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O</li> <li>- Masse molaire = 72,11 g/mol</li> <li>- Point de fusion = - 86,6 °C</li> <li>- Point d'ébullition = 79,5 °C</li> <li>- Pression de vapeur = 90,6 mm Hg à 25°C</li> <li>- Log Kow = 0,29</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat : 2737 mg/kg</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat : 23,5 g/m<sup>3</sup>/8h</li> </ul>	Toxnet ChemIDplus
Butyraldéhyde	123-72-8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide incolore</li> <li>- Formule chimique : C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat : 2490mg/kg</li> </ul>	Toxnet

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Masse molaire = 72,11 g/mol</li> <li>- Point de fusion = - 99 °C</li> <li>- Point d'ébullition = 74,8 °C</li> <li>- Pression de vapeur = 111 mm Hg à 25°C</li> <li>- Log Kow = 0,88</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat : 8000 ppm/4h</li> </ul>	
Crotonaldéhyde	4170-30-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide blanc</li> <li>- Formule chimique : C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O</li> <li>- Masse molaire = 70,09 g/mol</li> <li>- Point de fusion = - 76,5 °C</li> <li>- Point d'ébullition = 104 °C</li> <li>- Pression de vapeur = 30 mm Hg à 20°C</li> <li>- Log Kow = 0,60</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat : 80 mg/kg</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat : 200 mg/m<sup>3</sup>/2h</li> </ul>	ChemIDplus
Formaldéhyde	50-00-0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- forme physique : gaz</li> <li>- masse molaire = 30g/mol</li> <li>- Point d'ébullition = 6 19,1°C</li> <li>- Pression de vapeur : 440kPa à 20°C</li> <li>- très soluble dans l'eau, soluble dans les solvants organiques</li> <li>- Log Kow = 0,35 à 25°C</li> </ul>	<p><u>Par inhalation :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>exposition aigue</u> chez l'homme : irritation des yeux, du nez et de la gorge dès quelques minutes d'exposition: 300 µg/m<sup>3</sup> &lt; LOAEL &lt; 1000 à 1250 µg/m<sup>3</sup></li> </ul> <p>Une diminution de la clairance mucociliaire est observée dans la cavité nasale, ainsi qu'une augmentation des protéines totales, de l'albumine et de éosinophiles dans le liquide de lavage nasal.</p> <p><u>exposition chronique</u> chez l'homme les effets observés sont les mêmes que ceux observés dans le cas de l'exposition aigue : irritation des muqueuses, avec toutefois une diminution de la concentration de formaldéhyde.</p> <p>Des effets sur la capacité respiratoire, des phénomènes de sensibilisation et de pathologies asthmatiques ont également été observés, notamment chez des enfants.</p> <p>Pour la population générale : 39,3 µg/m<sup>3</sup> &lt; LOAEL &lt; 400 µg/m<sup>3</sup></p> <p><u>Effet cancérigène :</u> suite à de nombreuses étude épidémiologiques, le formaldéhyde est reconnu comme favorisant le cancer du nasopharynx, si la population est exposée à des concentrations &gt; ou = à 5mg/m<sup>3</sup> ; le formaldéhyde est classé dans la catégorie « composé cancérogène de classe 1 »</p>	<p><b>AFSSET 2007</b></p> <p>IPCS 2002</p> <p><b>INERIS</b></p>



## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

			Par ingestion : RfD = 0,2mg/kg/j	<b>2005</b> US EPA 1990
Glyoxal	107-22-2	- Apparence : liquide jaune pâle - Formule chimique : C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> - Masse molaire = 58,04 g/mol - Point de fusion = 15°C - Point d'ébullition = 50,4 °C - Pression de vapeur = 255 mm Hg à 25°C - Log Kow = - 1,66	- DL <sub>50</sub> oral Rat : 1400mg/kg - CL <sub>50</sub> inhalation Rat : 1300 mg/m <sup>3</sup> /4h/ 80% glyoxal	ChemIDplus
Methacroléine	78-85-3	- Apparence : liquide incolore - Formule chimique : C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O - Masse molaire = 70,09 g/mol - Point de fusion = - 81 °C - Point d'ébullition = 68,4 °C - Pression de vapeur = 155 mm Hg à 25°C - Log Kow = 0,74	- DL <sub>50</sub> oral Rat : 140 mg/kg  - CL <sub>50</sub> inhalation Rat : 125 ppm/4h	Toxnet
Methylglyoxal	78-98-8	- Apparence : liquide jaune pâle - Formule chimique : C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> - Masse molaire = 72,06 g/mol - Point de fusion = < 25 °C - Point d'ébullition = 72 °C - Pression de vapeur = 26,7 mm Hg à 25°C - Log Kow = -1,50	- DL <sub>50</sub> oral Rat : 1165 mg/kg	ChemIDplus
4-Methyl-2-pentanone	108-10-1	- Apparence : liquide incolore - Formule chimique : C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O - Masse molaire = 100,16 g/mol - Point de fusion = - 84 °C - Point d'ébullition = 116,5 °C - Pression de vapeur = 19,2 mm Hg à 25°C - Log Kow = 1,31	- DL <sub>50</sub> oral Rat : 2080mg/kg - CL <sub>50</sub> inhalation Rat : 8,2-16,4 g/m <sup>3</sup> /4 h	Toxnet
Propionaldéhyde	123-38-6	- Apparence : liquide incolore - Formule chimique : C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O - Masse molaire = 58,08 g/mol - Point de fusion = - 80 °C	- DL <sub>50</sub> oral Rat : 1410 mg/kg  - CL <sub>50</sub> inhalation Rat : 8000 ppm/4h	ChemIDplus

## Annexe B : Identification des différents polluants et leurs dangers

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Point d'ébullition = 48 °C</li> <li>- Pression de vapeur = 317 mm Hg à 25°C</li> <li>- Log Kow = 0,59</li> </ul>		
M-Tolualdéhyde	620-23-5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide incolore à jaune pâle</li> <li>- Formule chimique : <math>C_8H_8O</math></li> <li>- Masse molaire = 120,15 g/mol</li> <li>- Point de fusion = &lt; 25 °C</li> <li>- Point d'ébullition = 199 °C</li> <li>- Log Kow = 2,26</li> </ul>	Non documenté	Toxnet
o-Tolualdéhyde	529-20-4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide jaune pâle</li> <li>- Formule chimique : <math>C_8H_8O</math></li> <li>- Masse molaire = 120,15 g/mol</li> <li>- Point de fusion = &lt;25°C</li> <li>- Point d'ébullition = 200°C à 760 mmHg</li> <li>- Pression de vapeur = 0,335 mm Hg à 25°C</li> <li>- Log Kow = 2,26</li> </ul>	Non documenté	Toxnet ChemIDplus
Valeraldéhyde	110-62-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apparence : liquide incolore</li> <li>- Formule chimique : <math>C_5H_{10}O</math></li> <li>- Masse molaire = 72,11 g/mol</li> <li>- Point de fusion = - 91,5 °C</li> <li>- Point d'ébullition = 103 °C</li> <li>- Pression de vapeur = 26 mm Hg à 20°C</li> <li>- Log Kow = 1,31</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DL<sub>50</sub> oral Rat : 3200 mg/kg</li> <li>- CL<sub>50</sub> inhalation Rat : 4000 ppm/4h</li> </ul>	Toxnet ChemIDplus

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

Les différents facteurs d'incertitudes répertoriés dans les études de VTR sont les suivants :

- $UF_A$  variabilité inter espèce
- $UF_H$  variabilité inter individuelle
- $UF_{B/L}$  Utilisation d'une BMDL/BMDL ou d'un LOAEL
- $UF_O$  Insuffisance de données (qualité ou quantité)
- $UF_S$  transposition subchronique à chronique

En première approximation, lorsqu'aucune VTR n'est donnée dans une étude, mais qu'il est fourni les facteurs d'incertitude (UF), il a été calculé les VTR de la façon suivante :

$$\mathbf{VTR (= NOAEL_{\text{homme}}) = NOAEL_{\text{rat}} * (V_{\text{rat}}/PC_{\text{rat}})^* (PC_{\text{homme}}/V_{\text{homme}}) /UF}$$

Avec : V= taux de ventilation

PC = poids corporel

$V_{\text{rat}}$  = taux de ventilation du rat = 64mL/min = 3,84L/h,

$PC_{\text{rat}}$  = poids corporel du rat = 0,3kg

$V_{\text{homme}}$  = taux de ventilation de l'homme = 833L/h

$PC_{\text{homme}}$  = poids corporel de l'homme = 70kg

Suite à ces calculs, il a été constaté que le facteur de conversion  $(V_{\text{rat}}/PC_{\text{rat}})^* (PC_{\text{homme}}/V_{\text{homme}})$  ne modifiait par l'ordre de grandeur de la VTR, si bien que ce facteur n'est appliqué que quand précisé.

Ensuite lorsque les VTR pour la voie d'inhalation sont données en mg/kg/j, celles-ci ont été converties en  $\text{mg}/\text{m}^3$  en considérant qu'un homme de 70kg respire 833L/h, soit environ  $20\text{m}^3/\text{j}$ . Ainsi la conversion des mg/kg/j en  $\text{mg}/\text{m}^3$  se fait de la façon suivante :

$$\mathbf{Valeur\ en\ mg/kg/j * 70/20 = Valeur\ en\ mg/m^3}$$

Dans cette annexe 2, les tableaux qui suivent sont le résultat des différentes recherches bibliographiques concernant les valeurs toxicologiques de référence des différents polluants en relation avec les spirales anti-moustiques.

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

**Tableau 25 : Valeurs toxicologique de références des substances actives naturelles**

Substances actives naturelles					
Substance	Exposition	Dose critique	Facteur d'incertitude	Etude et effets toxicologiques	Source
Citronnelle	Orale	Non Documenté		.	
	Inhalation	Non Documenté			
Pyrèthre	<b>Inhalation Court terme (1-30j)</b>	<b>NOEL<sub>homme</sub> = 824µg/kg/j</b> <b>valeur calculée en considérant le calcul explicité plus haut :</b> <b>Avec UF = 100</b> <b>VTR = 289µg/m3</b>	<b>UF =100</b>	<b>Etude de toxicité sub-chronique chez les rats : où LOEL = 25,56mg/kg/j ; NOAEL = 0,03 mL/kg/j (soit 7,67mg/kg/j) effet sur la respiration, hyperactivité, perte de poids</b>	<b>US EPA, 2006</b>
	Inhalation Intermédiaire et Inhalation chronique	Valeur calculée du LOEL <sub>homme</sub> = 2,7µg/kg/j Avec UF = 1000 VTR = 9,63µg/m3	Total UF =1000 UF*10 car manque de NOAEL	Etude de toxicité sub-chronique chez les rats : où LOEL = 2,56mg/kg/j (0,01L/kg/j) : lésions respiratoires	US EPA, 2006
	<b>Inhalation long terme (&gt; 6mois)</b>	<b>Valeur calculée du LOEL<sub>homme</sub> = 2,7mg/kg/j = 9,63mg/m3</b> <b>Avec UF = 1000</b> <b>VTR = 9,63µg/m3</b>	<b>Total UF = 1000</b>	<b>Idem ci-dessus</b>	<b>US EPA, 2006</b>
	Contact cutané	Pas de risques		Exposition de lapin à une dose de 1000mg/kg/j	
	Ingestion aiguë : pour les enfants	Valeur donnée = 0.07mg/kg/j j	UF = 100 Total UF = 300 (FQPA SF = 3*)	Etude de neurotoxicité aiguë sur des rats : tremblements des femelles : LOAEL = 63 mg/kg/j NOAEL = 20mg/kg/j	US EPA, 2006
	Ingestion chronique : pour toute la population	Valeur = 0.044mg/kg/j	UF = 100 Total UF = 100 PAD = 0.044mg/kg/j	Etude de toxicité chronique sur des rats : augmentation de l'incidence de l'hyperplasie des cellules folliculaires de la thyroïde : LOAEL = 42.9 mg/kg/j, NOAEL = 4.37mg/kg/j	US EPA, 2006
	Ingestion court terme (1-30j)	Valeur calculée : = 0,06mg/kg/j	UF = 100 Total UF = 3*100	Etude de neurotoxicité aiguë sur des rats : tremblements des femelles : LOAEL = 63 mg/kg/j , NOAEL = 20mg/kg/j	US EPA, 2006

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

	Ingestion moyen terme (1-6 mois)	Valeur calculée : 64µg/kg/j	UF = 100 Total UF = 1*100	Etude de reproduction de 2 générations de rats : décroissance du poids corporel durant la lactation : LOAEL = 65 mg/kg/j , NOAEL = 6.4mg/kg/j	US EPA, 2006
	Cancer (pour ingestion, inhalation et contact cutané)			Classé risque cancérigène probable, mais insuffisant pour évaluer risque humain  non cancérigène pour l'homme (classe A4)	US EPA, 2006 HSDB, 2005 [ref étude HSDB]

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

**Tableau 26 : Valeurs toxicologiques de référence des substances actives de synthèse**

Substances actives de synthèse : les pyréthriinoïdes					
Substance	Exposition	Dose critique	Facteur d'incertitude	Etude et effets toxicologiques	Source
D-alléthrine ou Pynamine forte	Orale 3 mois	49,6 µg/kg/j	Non documenté 1000 UF <sub>A</sub> = 10 UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>O</sub> = 10	Effets à seuil 3 mois sur des rats males et femelles. Doses : 0 - 750 - 2000 - 4000 mg/kg Effet à 2000 mg/kg : augmentation du poids du foie Effets à 4000 mg/kg : augmentation du poids du foie et augmentation de l'activité alanine aminotransférase (ALAT) NOAEL (M) = 49,6 mg/kg/j NOAEL (F) = 59,2 mg/kg/j	Kadota, 1977 IPCS, 1989
	Inhalation 3 mois	50 µg/m <sup>3</sup>	Non documenté 1000 UF <sub>A</sub> = 10 UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>O</sub> = 10	3 mois sur des rats males et femelles NOAEL (M et F) = 50 mg/m <sup>3</sup>	Kawaguchi et al., 1993
<b>D-trans-alléthrine</b> ou <b>Bioalléthrine</b>	Ingestion 3 mois	135 µg/kg/j	Non documenté 1000 UF <sub>A</sub> = 10 UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>O</sub> = 10	3 mois sur 16 rats males et 16 rats femelles. Doses : 500 - 1500 - 5000 - 10000 mg/kg Effets pour des doses ≥ 5000 mg/kg : faible baisse de gain de poids corporel et léger dysfonctionnement hépatique NOAEL = 135 mg/kg/j	Wallwork et al., 1972 IPCS, 1989
	Inhalation 10 jours	125 µg/m <sup>3</sup>	<b>Non documenté</b> <b>1000</b> <b>UF<sub>A</sub> = 10</b> <b>UF<sub>H</sub> = 10</b> <b>UF<sub>O</sub> = 10</b>	<b>Inhalation continue pendant 10 jours d'une concentration de 125 mg /m<sup>3</sup> d'air, sur des rats males</b> <b>Pas d'effets observés</b> <b>NOAEL = 125 mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Chesher et Malone,</b> <b>1972</b> <b>IPCS, 1989</b>
<b>S-bioalléthrine</b> ou <b>ou</b>	Ingestion 3 mois	19,6 µg/kg/j	Non documenté	28 jours sur des rats males et femelles LOAEL = 6.5 mg/kg/j basée sur des signes cliniques chez les femelles	WHO, 2006a

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

<b>Esbol</b>			1000 UF <sub>A</sub> = 10 UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>O</sub> = 10	(tremblements, prostration, vocalisation) NOAEL = 19.6 mg/kg/j	
	<b>Inhalation 1 mois</b>	<b>15 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>1000</b>  <b>UF<sub>A</sub> = 10</b> <b>UF<sub>H</sub> = 10</b> <b>UF<sub>O</sub> = 10</b>	<b>28 jours sur des rats males et femelles</b> <b>NOAEL = 3,3 mg/kg/j (soit 15 mg/m<sup>3</sup>)</b> <b>LOAEL = 6.5 mg/kg/j basée sur des signes cliniques chez les femelles</b> <b>(tremblements, prostration, vocalisation)</b>	<b>WHO, 2006a</b>
<b>Esbiothrine</b>	Ingestion 8 semaines	20 µg/kg/j	1000 UF <sub>A</sub> = 10 UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>O</sub> = 10	8 semaines sur des chiens. NOAEL = 20 mg/kg/j LOAEL = 63 mg/kg/j basée sur une augmentation des enzymes du foie et une augmentation du pois du foie	US EPA, 2007
<b>Methofluthrine</b>	Ingestion 90 jours	DJA = 20,6 µg/kg/j	Non documenté 1000 UF <sub>A</sub> = 10 UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>O</sub> = 10	3 mois sur des rats males et femelles. Doses : 0 - 100 - 300 - 1000 - 2500 mg/kg NOAEL (M) = 20,6 mg/kg/j NOAEL (F) = 21,6 mg/kg/j LOAEL (M) = 70,4 mg/kg/j LOAEL (F) = 73 mg/kg/j  - Effets sur les rats males et femelles : augmentation du poids du foie - Effets sur les rats males : augmentation du cholesterol et des phospholipides du serum et augmentation de l'incidence de foies hypertrophiés - Effets sur les rats femelles : baisse de gain de poids corporel	US EPA, 2006
	<b>Inhalation 28 jours</b>	<b>CAA = 99 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Non documenté</b> <b>1000</b> <b>UF<sub>A</sub> = 10</b> <b>UF<sub>H</sub> = 10</b> <b>UF<sub>O</sub> = 10</b>	<b>Rats (M): 4 h/j, pendant 28 jours</b> <b>Rats (F): 4 h/j, pendant 29 jours</b> <b>Doses : 0 - 10 - 50 - 100 - 200 mg/m<sup>3</sup></b> <b>NOAEL (M et F) = 99 mg/m<sup>3</sup></b> <b>LOAEL = 0,196 mg/L, basée sur la mortalité et des signes cliniques</b> <b>(tremblements, hypersensibilité, convulsions, hypothermie...)</b>	<b>US EPA, 2006</b>
<b>Transfluthrine</b>	Ingestion 28 jours	DJA = 50 µg/kg/j	Non documenté 1000	28 jours sur des rats males et femelles Doses : 0 - 10 - 50 - 250 mg/kg NOAEL = 50 mg/kg/j	WHO, 2006b

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

			$UF_A = 10$ $UF_H = 10$ $UF_O = 10$		
	Inhalation 28 jours	CAA = 36,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<b>Non documenté</b> <b>1000</b> $UF_A = 10$ $UF_H = 10$ $UF_O = 10$	<b>28 jours sur des rats males et femelles</b> <b>Doses : 0 - 1,6 - 6,6 - 36,6 - 168,1 <math>\text{mg}/\text{m}^3</math> d'air (6 h/j et 5 j/sem)</b> <b>NOAEL = 36,6 <math>\text{mg}/\text{m}^3</math></b> <b>(soit 13 <math>\text{mg}/\text{kg}/\text{j}</math>)</b>	<b>WHO, 2006b</b>
	Inhalation 90 jours	CAA = 46,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<b>Non documenté</b> <b>1000</b> $UF_A = 10$ $UF_H = 10$ $UF_O = 10$	<b>90 jours sur des rats males et femelles</b> <b>Doses : 0 - 4,9 - 46,7 - 220.2 <math>\text{mg}/\text{m}^3</math> d'air (6 h/j et 5 j/sem)</b> <b>NOAEL = 46,7 <math>\text{mg}/\text{m}^3</math> (soit 17 <math>\text{mg}/\text{kg}/\text{j}</math>)</b>	<b>WHO, 2006b</b>
<b>Praléthrine</b>	Ingestion 90 jours	DJA = 79,1 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$	<b>Non documenté</b> <b>1000</b> $UF_A = 10$ $UF_H = 10$ $UF_O = 10$	<b>90 jours sur des rats males et femelles</b> <b>Doses : 0- 100 - 300 - 1000 - 3000 <math>\text{mg}/\text{kg}</math></b> <b>NOAEL = 79,1 <math>\text{mg}/\text{kg}/\text{j}</math></b> <b>LOAEL = 3000 <math>\text{mg}/\text{kg}</math> = 230 <math>\text{mg}/\text{kg}/\text{j}</math> basée sur une pelade transitoire, une baisse du poids corporel, diminution des hématocrites et des hémoglobulines, augmentation du poids des reins, augmentation du nombre de follicules thyroïdiens...</b>	<b>US EPA, 2000</b> <b>WHO, 2004</b> <b>PSD, 1995</b>
	Inhalation 28 jours	CAA = 1,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<b>Non documenté</b> <b>1000</b> $UF_A = 10$ $UF_H = 10$ $UF_O = 10$	<b>28 jours sur des rats males et femelles (4h/j)</b> <b>Doses = 1,01- 4,39 - 19,6 <math>\text{mg}/\text{m}^3</math></b> <b>NOAEL = 1,01 <math>\text{mg}/\text{m}^3</math> (soit 0,0010 <math>\text{mg}/\text{L}/\text{j}</math>)</b> <b>Effets pour des doses <math>\geq 4,39 \text{ mg}/\text{m}^3</math> : diminution de l'activité, respiration irrégulière, salivation</b>	<b>US EPA, 2000</b> <b>WHO, 2004</b>



## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

**Tableau 27 : Valeurs toxicologiques de référence des substances activatrices**

Substances activatrices					
Substance	Exposition	Dose critique	Facteur d'incertitude	Etude et effets toxicologiques	Source
Le piperonyl butoxyde (BPO)	Inhalation aigüe	VTR = 0,013 mg/kg/j . Si VTR transposée en $\mu\text{g}/\text{m}^3 = 45\mu\text{g}/\text{m}^3$	UF = 100	Etude sur développement rats où : NOAEL = 630 mg/kg/j	US EPA 2006
	Inhalation Court et moyen terme	VTR = 0,013 mg/kg/j . Si VTR transposée en $\mu\text{g}/\text{m}^3 = 45\mu\text{g}/\text{m}^3$	UF = 300	LOAEL = 3,91 mg/kg/j . une hyperplasie et métaplasie laryngée	US EPA 2006
	Inhalation Long terme	VTR = 0,0039 mg/kg/j Si VTR transposée en $\mu\text{g}/\text{m}^3 = 13,6\mu\text{g}/\text{m}^3$	UF = 1000	LOAEL = 3,91 mg/kg/j	US EPA 2006
n-octyl bicycloheptene dicarboximide (MGK-264)	Inhalation chronique	VTR = 0,01 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$ Si VTR transposée en $\mu\text{g}/\text{m}^3 = 0,035\mu\text{g}/\text{m}^3$	UF = 1000	Etude sur 90j sur des rats a mis en évidence une LOAEL = 0,01 mg/L : hyperplasie et métaplasie du larynx	US EPA 2006
	Ingestion	VTR = 61 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$ Si VTR transposée en $\mu\text{g}/\text{m}^3 = 213\mu\text{g}/\text{m}^3$	UF = 1000	perte de poids corporel chez les bébés rats durant lactation	US EPA 2006

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

**Tableau 28 : Valeurs toxicologiques de référence des métaux lourds et des métalloïdes**

Métaux lourds et Métalloïdes					
Substance	Exposition	Dose critique	Facteur d'incertitude	Etude et effets toxicologiques	Source
Cadmium	Orale	MRL=2.10 <sup>-4</sup> mg/kg/j	10 UF <sub>H</sub> =10	Effets avec seuil.  Valeur établie à partir de l'étude épidémiologique de Nagawa et al., 1989, chez 1850 sujets exposés et 294 témoins. NOAEL=0,0021mg/kg/j pour les altérations rénales.	ATSDR, 1999
	Orale	DHTP=7.10 <sup>-3</sup> mg/kg	-	Effets avec seuils.  Valeur établie par le groupe le comité mixte FAO/OMS d'experts sur les additifs alimentaire, pour une concentration rénale maximale de 50 mg/kg. La marge entre la valeur limite et la dose effectivement absorbée par la population est reconnue comme étant faible.	OMS, 2004
	Inhalation (Effets sans seuil)	ERU <sub>i</sub> =1,8.10 <sup>-3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	-	<b>Effets sans seuil.</b>  <b>Valeur établie à partir d'une étude épidémiologique chez 602 des travailleurs masculin pour des excès de cancers du poumon.</b>	US EPA, 1999
	Orale	TDI=5.10 <sup>-4</sup> mg/kg/j	ND	Effets avec seuil.  Valeur établie pour une concentration rénale maximale de 50 mg/kg. Concentration susceptible d'être atteinte pour une exposition de 40 à 50 ans pour une dose de 1 µg/kg/j. Application d'un coefficient de sécurité de 2.	RVIM, 2001
	Inhalation chronique	REL=2.10 <sup>-2</sup> µg/m <sup>3</sup>	30 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>S</sub> = 3	<b>Effets avec seuil.</b>  <b>Valeur établie à partir d'une étude épidémiologique chez des travailleurs exposés sur des périodes de 1 à plus de 20 ans. NOAEL=1,4µg/m<sup>3</sup> et LOAEL= 21µg/m<sup>3</sup> pour des effets rénaux et respiratoires et pour une moyenne d'exposition de 4,1 an. Ajustement à une exposition continue : 1, 4 X 10m<sup>3</sup>/20m<sup>3</sup> X 5j/7j.</b>	OEHHA, 2003
	Inhalation	CT <sub>0,05</sub> =5,1.10 <sup>-3</sup> mg/m <sup>3</sup>		Effets sans seuil.  Etude chez des rats exposés par aérosols au chlorure de cadmium durant 72 semaines (23h/j). Utilisation d'un modèle multiétape pour déterminer la dose qui induit une augmentation de 5% de l'incidence des cancers. Puis ajustement pour une exposition continue chez l'homme en prenant en compte le poids corporel et le volume respiratoire.	Santé Canada, 1993

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

	Inhalation	$ERU_i=4,2 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$		Effets sans seuil.  Valeur établie à partir de l'étude épidémiologique de Thun et al., 1985, la même étude que celle utilisée par l'US EPA pour établir son ERU <sub>i</sub> . Utilisation d'une régression de Poisson pour calculer le risque cancérigène.	OEHHA, 2002
<b>Cobalt</b>	Inhalation, chronique	$MRL=1 \cdot 10^{-4} \text{ mg}/\text{m}^3$	10 $UF_H=10$	<b>Effets avec seuil.</b>  <b>Valeur basée sur un NOAEL=5,3.10<sup>-4</sup> mg/m<sup>3</sup> et un LOAEL=15,1 µg/m<sup>3</sup> pour des effets respiratoires chez des salariés.</b>	<b>ATSDR, 2004</b>
	Orale, sub-chronique	$MRL=1 \cdot 10^{-2} \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$	100 $UF_H=10$ $UF_{B/L}=10$	Effets avec seuil.  Valeur basée sur un LOAEL=1mg/kg/j pour une polycythémie chez l'homme exposé à 120 ou 150 mg/kg/j pendant 22j.	ATSDR, 2004
	Inhalation	$TCA=5 \cdot 10^{-4} \text{ mg}/\text{m}^3$	100 $UF_H=10$ $UF_{B/L}=10$	Effets avec seuil.  Valeur basée sur un LOAEL=0,05 mg/m <sup>3</sup> pour les effets pulmonaires chez l'homme.	RVIM, 2001
	Orale	$TDI=1,4 \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$	30 $UF_H=3$ $UF_{B/L}=10$	Effets avec seuils.  Valeur basée sur un LOAEL=0,04 mg/kg/j pour une exposition sub-chronique chez l'homme pour les effets cardiovasculaires.	RVIM, 2001
<b>Plomb</b>	Orale	DHT=25µg/kg DJT=3,5 µg/kg	-	Effets avec seuil.  Valeur issues de plusieurs études qui montrent un NOAEL=4µg/kg/j et un LOAEL=5µg/kg/j.	OMS, 1993
	Orale	$RfD=10^{-7} \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$	10 000 $UF_A=10$ $UF_S=10$ $UF_H=10$ $UF_{B/L}=10$	Effets avec seuil.  Chez des rats exposés 20 semaines par gavage. A partir du LOAEL à 5j=1,7 µg/kg/j calcul du LOAEL à 7j=1,2 µg/kg/j. pour des effets hépatiques et neuronaux.	US EPA, 1991
	Orale	$3,6 \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$	Selon RVIM, fiabilité de la valeur élevée.	Effets avec seuils.  Valeur directement liée à la dose hebdomadaire tolérable de 15µg/kg proposée par le Joint Expert Committee on Food Additives en 1993. Initialement calculée pour des enfants, cette valeur a été étendue à l'ensemble de la population.	RVIM, 2001
	Inhalation (Effets sans seuil)	$ERU_i=1,2 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	-	<b>Effets sans seuil.</b>  <b>Calculée à partir de l'ERU<sub>o</sub>, en considérant que l'exposition par inhalation est cinq fois supérieure à l'ingestion.</b>	<b>OEHHA, 2002</b>

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

	Orale	$ERU_o=8,5.10^{-3} \text{ (mg/kg/j)}^{-1}$	-	Effets sans seuil.  Valeur calculée à partir d'une étude cancérologique chez le rat (Azar et al., 1973), exposés pendant deux ans à des doses de 0, 10, 50, 100, 500, 1000 et 2000 ppm dans leur alimentation. Observation de tumeurs rénales chez les mâles. Utilisation d'un modèle multiétape pour calculer l'ERUo.	OEHHA, 2002
<b>Nickel</b>	Inhalation, sub-chronique	MRL=2.10-4mg/m <sup>3</sup>	30 UF <sub>A</sub> =3 UF <sub>H</sub> =10	Effets avec seuil.  Etude chez des 20 rats mâles et femelles exposés à des doses de 0 ; 0,03 ; 0,06 ; 0,11 ; 0,22 et 0,44 mg de nickel/m <sup>3</sup> pendant 13 semaines (6h/j, 5j/sem). NOAEL=0,06mg/m <sup>3</sup> pour les effets inflammatoires. Valeur ajustée pour une exposition continue : NOAELaj=0,011mg/m <sup>3</sup> . Application d'un facteur de 0,474 pour tenir compte des différences de dépôts entre les poumons du rat et ceux de l'homme, d'où NOAEL <sub>HEC</sub> =0,052 mg/m <sup>3</sup> .	ATSDR (draft), 2005
	Inhalation, chronique	MRL=9.10 <sup>-5</sup> mg/m <sup>3</sup>	30 UF <sub>A</sub> =3 UF <sub>H</sub> =10	<b>Effets avec seuil.</b>  <b>Valeur obtenue par l'étude ci-dessus. NOAEL=0,03mg/m<sup>3</sup> pour une inflammation chronique et des effets sur les alvéoles pulmonaires. Ajustement à une exposition continue : NOAELaj=0,0054 mg/m<sup>3</sup>. Puis NOAEL<sub>HEC</sub>=0,0027 mg/m<sup>3</sup>.</b>	ATSDR (draft), 2005
	Orale, chronique	RfD=2.10 <sup>-2</sup> mg/kg/j	300 UF <sub>O</sub> =3 UF <sub>A</sub> =10	Effets avec seuil.  Etude chez le rat exposé par l'alimentation à des doses de 0, 100, 1000 ou 2500 ppm de sulfate de nickel. LOAEL=50mg/kg/j et NOAEL=5mg/kg/j pour une perte significative du poids du cœur et du foie par rapport au poids corporel.	US EPA, 1996
	Orale chronique	TDI=5 µg/kg/j	1000 UF <sub>O</sub> =100 UF <sub>A</sub> =10	Effets avec seuil.  Valeur établie à partir de l'étude précédente. NOAEL=5mg/kg/j	OMS, 2004
	Inhalation (Effets sans seuil)	ERUi=2,4.10 <sup>-4</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil.  <b>Valeur calculée à partir d'études épidémiologiques de cancérogénèses chez des travailleurs de raffinerie de nickel. Utilisation d'un modèle d'extrapolation additif et multiplicatif. (La valeur ne peut pas être utilisée pour une concentration de nickel dans l'air &gt;40µg/m<sup>3</sup>.)</b>	US EPA, 1991a
Sous-sulfure de nickel	Inhalation	ERUi=4,8.10 <sup>-4</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil.  Utilisation de l'étude précédente en utilisant le fait qu'il y a environ 50% de disulfure de trinickel dans les poussières de raffinerie.	US EPA, 1991b

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

				(La valeur ne peut pas être utilisée pour une concentration de nickel dans l'air >20µg/m <sup>3</sup> .)	
Nickel métal	Inhalation	Cap=1,8.10 <sup>-5</sup> mg/m <sup>3</sup>	1000 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>O</sub> =10	Effets avec seuil.  Etude réalisée chez des lapins exposés à 0,1 mg/m <sup>3</sup> jusqu'à 8mois (6h/j, 5j/sem). LOEAL=0,1mg/m <sup>3</sup> soit pour une exposition continue LOEALaj=0,0178 mg/m <sup>3</sup>	Santé Canada, 1993/1996
Nickel et composés	Inhalation	REL=0,05 µg/m <sup>3</sup>	30 UF <sub>A</sub> =3 UF <sub>H</sub> =10	Effets avec seuil.  Valeur provenant d'une étude sur des rats exposés par inhalation au sulfate de nickel pendant 104 semaines (6h/j, 5j/sem). NOAEL =30µg/m <sup>3</sup> pour des effets sur le système respiratoire. Pour une exposition continue NOAELaj=5,4µg/m <sup>3</sup> Calcul d'un équivalent pour l'homme : NOAEL <sub>HEC</sub> =1,6µg/m <sup>3</sup>	OEHHA, 2000
	Inhalation	CTA=0,05 µg/m <sup>3</sup>	100 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10	Effets avec seuil.  Utilisation l'étude décrite précédemment. NOAELaj=5,4µg/m <sup>3</sup>	RVIM, 2001
	Orale	REL=0,05 mg/kg/j	100 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10	Effets avec seuil.  Valeur établie à partir de la même étude que celle ayant servie à l'US EPA à définir son RfD des sels de nickel. LOAEL=50mg/kg/j et NOAEL=5mg/kg/j.	OEHHA, 2000
	Orale	TDI = 0,05 mg/kg/j	100 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10	Effets avec seuil.  Comme pour la valeur de l'OEHHA ci-dessus. LOAEL=50mg/kg/j et NOAEL=5mg/kg/j.	RVIM, 2001
Chlorure de nickel	Orale	DJA = 1,3.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j	1000 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>B/L</sub> =10	Effets avec seuil.  Valeur déterminée à partir d'une étude chez des rats femelles exposées à des doses de 0 ; 0,1 ; 6,8 ; 31,6 mg de nickel/kg/j pendant 11 semaine avant l'accouplement puis pendant deux périodes successives d'accouplement, gestation, lactation. LOAEL=1,3mg/kg/j pour des effets sur la reproduction.	Santé Canada, 1993/1996
Sous-sulfure de nickel	Inhalation	CA = 1,8.10 <sup>-5</sup> mg/m <sup>3</sup>	1000 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>S</sub> =10	Effets avec seuil.  Valeur établie à partir d'une étude chez des rats et souris exposés à des concentrations de 0,1 et 1,8 mg/m <sup>3</sup> du sous-sulfure par inhalation pendant 90 jours (6h/j, 5j/sem). LOAEL (rat) et NOAEL (souris) de 0,1mg/m <sup>3</sup> ont été déterminés. Ajustement pour une exposition continue NOAEL=0,0178mg/m <sup>3</sup>	Santé Canada, 1993/1996
Monoxyde de nickel	Inhalation	CA = 2.10 <sup>-5</sup> mg/m <sup>3</sup>	1000 UF <sub>A</sub> =10	Effets avec seuil.	Santé Canada,

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

			UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>S</sub> =10	Valeur obtenue à partir d'une étude sur des rats exposés de façon continue à 0,02 mg de nickel /m <sup>3</sup> sous forme de monoxyde de nickel pendant 4 mois. LOAEL=0,02 mg/m <sup>3</sup> pour des effets pulmonaires.	1993/1996
	Inhalation	REL = 0,10 µg/m <sup>3</sup>	300 UF <sub>A</sub> =3 UF <sub>H</sub> =10	Effets avec seuil.  Valeur déterminée à partir d'une étude chez des rats exposés pendant 104sem (6h/j, 5j/sem). LOAEL=500µg/m <sup>3</sup> pour des effets sur les poumons, soit pour une exposition continue : LOAEL <sub>aj</sub> =89,5µg/m <sup>3</sup> . Calcul d'un LOAEL <sub>HEC</sub> =30µg/m <sup>3</sup> .	OEHHA, 2000
Sulfate de nickel	Inhalation	CA = 3,5.10 <sup>-6</sup> mg/m <sup>3</sup>	1000 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>S</sub> =10	Effets avec seuil.  Valeur issue d'une étude sur des rats exposés par inhalation à des doses de 0,02 et 0,4 mg de nickel /m <sup>3</sup> (6h/j, 5j/sem). LOAEL=0,02mg/m <sup>3</sup> , soit LOAEL <sub>aj</sub> =0,00357mg/m <sup>3</sup>	Santé Canada, 1993/1996
	orale	DJA = 0,05 mg/kg/j	100 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10	Effets avec seuil.  Même valeur et même étude que celles utilisées par l'OEHHA et le RVIM pour leur REL et leur TDI de 0,05mg/kg/j.	Santé Canada, 1993/1996
Nickel et composés	Inhalation	ERUi = 2,6.10 <sup>-4</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil.  Valeur déterminée à partir d'études épidémiologiques réalisées sur des travailleurs de raffinerie de nickel de l'Ontario.	OEHHA
	Inhalation	CT <sub>0,05</sub> = 0,07 mg/m <sup>3</sup>	-	Effets sans seuil.  Valeur déterminée à partir d'études épidémiologiques réalisées sur des travailleurs de raffinerie de nickel de l'Ontario et de Norvège.	Santé Canada, 1993/1996
<b>Manganèse</b>	Orale	DJA=0,06 mg/kg	3 UF <sub>O</sub> =3	Effets avec seuil.  Valeur établie à partir d'une étude chez l'homme montrant l'absence d'effet chez des femmes supplémentées avec 15mg de manganèse/j. Une autre étude rapporte des consommations moyennes comprises entre 0,7 et 10,9 mg/j. NOAEL<11mg/j soit pour un adulte de 60kg NOAEL=0,18mg /kg/j. Facteur d'incertitude dû à la biodisponibilité dans l'eau de boisson.	OMS, 2006
	Inhalation, chronique	0,15 µg/m <sup>3</sup>	50	Effets avec seuil.  Valeur issue d'une étude réalisée chez des ouvriers de fabrication de piles sèches exposés à une concentration moyenne de 215µg/m <sup>3</sup> de dioxyde de manganèse dans les poussières inhalable et 948µg/m <sup>3</sup> dans les poussières totales, pendant une durée moyenne de 5,3 ans (8h/j, 5j/sem). Des effets neurologiques ont été observés. Utilisation d'une analyse de benchmark dose : BMDL <sub>5</sub> =30µg/m <sup>3</sup> . Ajustement pour une exposition continues : BMDL <sub>5aj</sub> =7,14 µg/m <sup>3</sup>	OMS, 2000

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

	Inhalation, chronique	$RfC = 5.10^{-5} \text{ mg/m}^3$	1000 $UF_H=10$ $UF_{B/L}=10$ $UF_O=10$	Effets avec seuil.  L'US EPA a utilisé la même étude que l'OMS. La valeur proposée est calculée pour chaque ouvrier en fonction de la concentration et de la durée d'exposition. La moyenne géométrique de ces valeurs est de $0,793 \text{ mg/m}^3/\text{an}$ . division de cette moyenne par la durée moyenne d'exposition (5,3 ans). $LOAEL=0,15\text{mg/m}^3$ $LOAEL_{HEC}=0,05\text{mg/m}^3$ pour une exposition professionnelle de 8h/j à $10\text{m}^3$ d'air contaminé par du manganèse sur un total de $20\text{m}^3$ d'air inhalé par jour sur 5j/sem.	US EPA, 1993
	Inhalation chronique	$MRL = 4.10^{-5} \text{ mg/m}^3$	500 $UF_H=10$ $UF_O=10$  Facteur modifiant =5 pour la susceptibilité particulière des enfants	Effets avec seuil.  L'ATSDR utilise la même méthode que l'OMS : $BMDL_{10}=74\mu\text{g/m}^3$ . Ajustement pour une exposition continue : $BMDL_{10aj}=17,6\mu\text{g/m}^3$ .	ATSDR, 2000
	Orale, chronique	$RfD = 0,14 \text{ mg/kg/j}$	1 (3 pour l'eau de boisson)	Effets avec seuil.  Des teneurs en manganèse à ne pas dépasser pour les apports alimentaires journaliers ont été recommandés. Ils sont compris entre 2 et $9\text{mg/j}$ . L'US EPA en conclue un $NOAEL=10\text{mg/j}$ soit $0,14 \text{ mg/kg/j}$ pour un adulte de 70 kg.	US EPA, 1996b
	Inhalation, chronique	$REL = 0,20 \mu\text{g/m}^3$	300 $UF_H=10$ $UF_{B/L}=10$ $UF_S=10$	Effets avec seuil.  Valeur issue de la même étude que celle ayant servi à l'OMS, à l'US EPA et à l'ATSDR pour leur VTR. L'OEHHA suit la même démarche que l'US EPA et aboutit à un $LOAEL_{HEC}=0,054\text{mg/m}^3$ .	OEHHA, 2000
Manèbe	Orale, chronique	$RfD= 5.10^{-3} \text{ mg/kg/j}$	1000 $UF_A=10$ $UF_H=10$ $UF_S=10$	Effets avec seuil.  Valeur établie à partir d'une étude chez des mâles et des femelles singes exposés à des doses de 0, 100, 300 ou 3000 ppm de manèbe pendant 6 mois. $NOAEL=100\text{ppm}$ pour les effets systémiques.	US EPA, 1992
	Orale, chronique	$TDI = 50 \mu\text{g/kg/j}$	100 $UF_A=10$ $UF_H=10$	Effets avec seuil. Valeur établie à partir d'études animales ayant conduit à l'établissement d'un $NOAEL$ sub-chronique par voie orale de $5\text{mg/kg/j}$ pour des effets sur la thyroïde.	RVIM, 2001
	Inhalation chronique	$CTA = 18 \mu\text{g/m}^3$	100 $UF_A=10$ $UF_H=10$	Effets avec seuil. Valeur établie à partir d'études animales ayant conduit à l'établissement d'un $NOAEC$ sub-chronique par inhalation de $10\text{mg/m}^3$ . Ajustement pour une exposition continue= $1,8 \text{ mg/m}^3$ .	RVIM, 2001

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

Chrome (aérosol)	VI	Inhalation, subchronique	MRL = 5.10 <sup>-6</sup> mg/m <sup>3</sup>	100 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>B/L</sub> =10	Effets avec seuil.  Valeur établie à partir d'une étude épidémiologique Suédoise. Les salariés étaient exposés au chrome VI sous forme de trioxyde de chrome à des concentrations supérieures ou égales à 0,002 mg/m <sup>3</sup> sur une durée moyenne de 2,5 ans. LOAEL=0,002 mg/m <sup>3</sup> pour une exposition de 8h/j, 5j/sem pour des effets sur le système respiratoire et la muqueuse nasale. Extrapolation à la population générale pour une exposition continue : 5.10 <sup>-4</sup> mg/m <sup>3</sup> .	ATSDR, 2000
Chrome (particulaire)	VI	Inhalation, subchronique	MRL = 1.10 <sup>-3</sup> mg/m <sup>3</sup>	30 UF <sub>O</sub> =3 UF <sub>H</sub> =10	Effets avec seuil.  Valeur issue d'une étude chez des rats exposés à des aérosols de dichromate durant 90 jours. Détermination d'une benchmark dose BMC <sub>10</sub> =0, 016mg/m <sup>3</sup> . Ajustement pour tenir compte du passage de l'animal à l'homme : BMC <sub>10aj</sub> =0,034mg/m <sup>3</sup> .	ATSDR, 2000
Chrome (aérosol)	VI	Inhalation chronique	RfC = 8.10 <sup>-6</sup> mg/m <sup>3</sup>	90 UF <sub>S</sub> =3 UF <sub>B/L</sub> =3 UF <sub>H</sub> =3	Effets avec seuil.  Valeur issue de la même étude épidémiologique suédoise que celle utilisée par l'ATSRD. LOAEL=0,002 mg/m <sup>3</sup> . Ajustée pour une exposition continue et pour tenir compte des volumes d'air inhalés.	US EPA, 1998
Chrome (particulaire)	VI	Inhalation chronique	RfC = 1.10 <sup>-4</sup> mg/m <sup>3</sup>	300 UF <sub>O</sub> =3 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>S</sub> =10	Effets avec seuil.  Valeur établie à partir de la même étude que celle utilisée par l'ATSDR. Application d'un facteur de 2,1576 pour tenir compte des variations pharmacocinétiques entre différentes espèces.	US EPA, 1998
Chrome VI		Orale	RfD = 3.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j	900 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>S</sub> =9	Effets avec seuil.  Valeur déterminée à partir d'une étude chez des rats exposés au chrome VI à des doses de 0 à 25 mg/L pendant 1an dans l'eau de boisson. NOAEL=2,4mg/kg/j.	US EPA, 1998
Chrome III		Orale	RfD = 1,5 mg/kg/j	1000 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>O</sub> =10	Effets avec seuil.  Valeur calculée à partir d'une études réalisée chez des rats ayant permis l'établissement d'un NOAEL=1800 g/kg de poids corporel pour l'acide chromique ce qui correspond à un NOAEL=1468 mg/kg/j pour le chrome III.	US EPA, 1998
Chrome VI		Inhalation (Effets sans seuil)	ERU <sub>i</sub> = 1,2 10 <sup>-2</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil.  Valeur issue d'une étude épidémiologique portant sur 332 salariés établissant une corrélation entre l'exposition aux dérivés solubles du chrome VI et la mort par cancer pulmonaire.	US EPA, 1998



## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

Chrome VI	Inhalation	$ERU_i = 4 \cdot 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	-	Effets sans seuil.  Valeur établie à partir de plusieurs études épidémiologiques portant sur la survenue de cancers pulmonaires. Les estimations du risque allaient de $1,1 \cdot 10^{-2}$ à $1,3 \cdot 10^{-1}$ . C'est la moyenne géométrique de ces valeurs qui a été finalement retenue.	OMS, 2000
Chrome VI	Orale	$pTDI = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$	500 $UF_A=10$ $UF_H=10$ $UF_S=5$	Effets avec seuil.  Valeur établie à partir d'une étude chez des rats exposé au chrome VI sous forme de chromate de potassium à des doses de 0 à 25 mg/l pendant un an dans l'eau de boisson. $NOAEL=2,4\text{mg}/\text{kg}/\text{j}$ .	RVIM, 2001
Chrome III (métal et insoluble)	Inhalation	$TCA = 6 \cdot 10^{-2} \text{ mg}/\text{m}^3$	10 Fiabilité moyenne selon le RIVM.	Effets avec seuil.  Valeur issue d'études utilisant des composés insolubles du chrome III ayant aboutit à des $NOAECs$ d'environ $2\text{mg}/\text{m}^3$ . De plus une étude chez l'homme a montré un $NOAEC=0,6\text{mg}/\text{m}^3$ .	RVIM, 2001
	Orale	$TDI = 5 \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$	100 $UF_A=10$ $UF_H=10$ Fiabilité de la valeur moyenne selon le RIVM.	Effets avec seuil.  Valeur calculée à partir des résultats de plusieurs études chez le rat établissant des $NOAEL$ variant de $2040 \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$ pour l'oxyde de chrome à $0,46 \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$ pour l'acétate de chrome. Utilisation de ce dernier $NOAEL$ et l'information donnée dans le rapport de l'ATSDR (2000) qui dit que la toxicité des composés insolubles du chrome est 1000 fois plus faible. D'où la $TDI$ de $5\text{mg}/\text{kg}/\text{j}$ .	RVIM, 2001
Chrome III (soluble)	Orale	$TDI = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$	100 $UF_A=10$ $UF_H=10$ Fiabilité de la valeur moyenne selon le RIVM.	Effets avec seuil.  Utilisation des mêmes étude que ci-dessus. Le $NOAEL=0,46 \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$ a servi pour calculer la $TDI$ pour les composés solubles du chrome III.	RVIM, 2001
Chrome VI (soluble sauf $\text{CrO}_3$ )	Inhalation	$REL = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mg Cr(VI)}/\text{m}^3$	100 $UF_A=3$ $UF_H=10$ $UF_S=3$	Effets avec seuil.  Valeur issue d'une étude expérimentale réalisée sur des rats exposés par inhalation à des doses de 0, 54, 109, 204 et $403 \mu\text{g Cr IV} / \text{m}^3$ pendant 90 jours sous forme d'aérosol de dichromates de chrome. $LOAEL=50\mu\text{g}/\text{m}^3$ établis pour des effets pulmonaires. Calcul d'une concentration repère $0,5\% \text{ BMC}_{05}=12,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Selon l'OEHHA, une $\text{BMC}_{50}$ équivaut à un $NOAEL$ . Ajustement à une exposition continue : $\text{BMC}_{05aj}=11,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Puis extrapolation à l'homme : $\text{BMC}_{05}= 24,47\mu\text{g}/\text{m}^3$ .	OEHHA, 2003

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

	Orale	$REL = 2.10^{-2} \text{ mg Cr(VI)/kg/j}$	100 $UF_A=10$ $UF_H=10$	Effets avec seuil.  Valeur provenant de la même étude que celle utilisée par l'US EPA pour sa RfD. $NOAEL=2,4\text{mg/kg/j}$ .	OEHHA, 2003
Oxyde de chrome	Inhalation	$REL = 2.10^{-6} \text{ mg Cr(VI)/m}^3$	300 $UF_S=10$ $UF_H=10$ $UF_{B/L}=3$	Effets avec seuil.  Valeur déterminée à partir d'une étude épidémiologique chez des travailleurs exposés à l'acide chromique par inhalation pendant une période moyenne de 2,5 ans. $LOAEL=1,9\mu\text{g/m}^3$ pour des effets respiratoires. Ajustement à une exposition continue : $LOAEL_{aj}=0,68\mu\text{g/m}^3$ .	OEHHA, 2003
Chrome VI	Inhalation	$CR_{inhal} = 2,5.10^{-6} \text{ mg/m}^3$	-	Effets sans seuil.  Valeur calculée à partir d'études épidémiologique établissant un risque vie entière de $4.10^{-2}$ pour une exposition à $1\mu\text{g/m}^3$ chez des travailleurs. Ici la valeur correspond à un risque de $1.10^{-4}$ .	RVIM, 2001
Chrome total	Inhalation	$CT_{0,05} = 4,6.10^{-3} \text{ mg/m}^3$	-	Effets sans seuil.  Valeur établie à partir d'une étude épidémiologique portant sur 332 salariés démontrant une corrélation entre l'exposition aux dérivés solubles de chromes et la mort par cancer du poumon. La dose marquant une augmentation de 5% de l'incidence des tumeurs, de $4,6\mu\text{g/m}^3$ , a été déterminée à partir de la courbe de la relation dose-réponse.	Santé Canada, 1993
Chrome VI	Inhalation	$CT_{0,05} = 6,6.10^{-4} \text{ mg/m}^3$	-	Effets sans seuil.  Utilisation de la même étude que ci-dessus et d'une étude antérieure réalisée dans la même usine ayant montrée que la proportion de chrome III par rapport au chrome VI était de 6 pour 1 ou moins. D'où, les concentration en chrome VI égales à 1/7 du chrome total. Ce qui conduit à une $CT_{0,05} = 6,6.10^{-4} \text{ mg/m}^3$ .	Santé Canada, 1993
Chrome VI	Inhalation	$ERU_i = 1,5.10^{-1} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$	-	Effets sans seuil.  Valeur calculée à partir de l'étude épidémiologique ci-dessus. Utilisation d'un modèle multiétape.	OEHHA, 2002
	Orale	$ERU_o = 0,42 (\text{mg/kg/j})^{-1}$	-	Effets sans seuil.  Valeur issue d'une étude expérimentale chez des souris exposées à 1 mg de chromate de potassium par jour pendant deux ans. Effets observés sur l'estomac. Utilisation d'un modèle multiétape linéarisé pour estimer le risque : $3,17.10^{-2}$ chez la souris. Facteur d'extrapolation chez l'homme de 13,1.	OEHHA, 2002

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

Tableau 29 : Valeurs toxicologiques de référence des éthers halogénés

Les polluants émis lors de la combustion d'une spirale					
Les éthers halogénés					
Substance	Exposition	Dose critique	Facteur d'incertitude	Etude et effets toxicologiques	Source
bis(chloro-méthyl)ether (BCME )	Inhalation	MRL = 0.0003ppm	UF = 100	Aucun effet (oedeme, hemorragie ou apparance histologique des poumons) n'est observé sur des rats exposés 0.1ppm de BCME durant 6mois, 6h/j, 5j/semaine ; c'est par conséquent cette valeur qui a servi au calcul de la MRL de 0.0003ppm (après conversion de 0.1ppm animal en équivalent humain, et avec UF = 100 (10 pour l'extrapolation animal/homme, et 10 pour la variabilité interhumaine)	US EPA 1991 Leong et al 1971
	Inhalation (Effets sans seuil)	Facteur de pente 220 (mg/kg/jour) <sup>-1</sup> ERU = 6,2.10 <sup>-2</sup> (µg/cm <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Procédure par linéarisation multiétape	Produit classé Cancérigène de classe A pour l'homme	ATSDR 1989 US EPA, 1991
	Orale	ERU = 6,2.10 <sup>-3</sup> (µg/L) <sup>-1</sup>	Procédure par linéarisation multiétape		US EPA, 1991

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

Tableau 30 : Valeurs toxicologiques de référence des HAP

Les polluants émis lors de la combustion d'une spirale					
Les HAP					
Substance	Exposition	Dose critique	Facteur d'incertitude	Etude et effets toxicologiques	Source
Acénaphène	Orale subchronique	MRL=0,6mg/kg/j	300 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>B/L</sub> =3	Effets avec seuil.  Calculé à partir d'un LOAEL de 175mg/kg/j établis pour une perte du poids du foie de souris exposée 90 j	ATSDR, 1995
	Orale subchronique	RfD=6.10-2mg/kg/j	3000 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>S</sub> =10 UF <sub>B/L</sub> =3	Effets avec seuil.  Chez 4 groupes de 20 souris exposées par gavage à des doses de 0, 175, 350, 700 mg/kg/j pendant 90j ayant provoqué une atteinte hépatique	US EPA, 1994
	Orale	CRorale=0,5 mg/kg/j	Fiabilité de la valeur estimée comme élevée	Effets sans seuil.  Valeur calculée en utilisant l'approche facteur d'équivalence toxicologique (FET). Cette valeur est obtenue par comparaison avec la VTR du benzo(a)pyrène (0,5µg/kg/j pour un excès de risque de 1.10 <sup>-4</sup> ). Un FET de 0,001 a été attribué à l'acénaphène.	RVIM 2001
Acénaphylène	Non Documenté				
Anthracène	Orale, subchronique	MRL=10mg/kg/j	100 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10	Effets avec seuil.  Chez la souris, NOAEL=1000mg/kg/j	ATSDR, 1995
	Orale, chronique	RfD=0,3mg/kg/j	3000 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>S</sub> =10 UF <sub>O</sub> =3	Effets avec seuil.  Chez des souris mâles, exposés par gavage à des doses de 0, 250, 500 et 1000mg/kg/j pendant 90.	US EPA, 1993
	Orale, chronique	TDI=4.10 <sup>-2</sup> mg/kg/j	-	Effets avec seuil.	RVIM, 2001
Benz[a]anthracène	Non Documenté				
<b>Benzo[a]pyrène</b>	Orale	ERUo=7,3 (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil.	US EPA, 1994

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

				C'est une moyenne géométrique calculée à partir des études chez le rat et la souris (Neal et Ridgon, 1967 ; Rabstein et al., 1973 ; Brune et al., 1982). Risques entre 4,5 et 11,7 (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	
Inhalation (Effets sans seuil)	ERU <sub>i</sub> = 8,7 (ng/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>			<b>Effets sans seuil.</b>  <b>Valeur établie à partir des données épidémiologiques chez des travailleurs dans une cokerie exposés à un mélange de HAPs pour lequel le benzo[a]pyrène a été choisi comme indicateur. Puis utilisation d'un modèle linéaire multiétape pour un excès de risque individuel pour la vie entière associé à une exposition à 1µg/m<sup>3</sup>. Valeur estimée à 6,2.10<sup>-4</sup>(µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>. Enfin prise en considération de la teneur en benzo[a]pyrène du mélange de HAPs pour obtenir la valeur de référence.</b>	<b>OMS, 2000</b>
Inhalation	CT <sub>0,05</sub> =1,6 mg/m <sup>3</sup>	Non Documenté		Effets sans seuil.  Chez le hamster exposé par inhalation à des doses de 0, 2,2, 9,5 ou 45,6 mg/m <sup>3</sup> pendant 96 semaines (7j/7j, 4,5h/j pendant les 10 premières semaines puis 3h/j). Estimation de la CT <sub>0,05</sub> à l'aide d'un modèle multiétape reprenant les effets au niveau du tractus respiratoire.	Santé Canada, 1993
Orale	CR <sub>orale</sub> =5.10 <sup>-4</sup> mg/kg/j	Fiabilité élevée selon le RVIM.		Effets sans seuil.  Etude chez le rat exposé par gavage à des doses de 0, 3, 10 ou 30mg/kg/j durant 2ans, 5j/sem. Conclusion d'un excès de risque cancérogène 1/10 <sup>6</sup> vie entière pour 5ng de benzo[a]pyrène/kg/j	RVIM, 2001
Inhalation	ERU <sub>i</sub> =1,1.10 <sup>-3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	-		Effets sans seuil.  Chez le hamster exposé par inhalation à des doses de 0, 2,2, 9,5 ou 45,6 mg/m <sup>3</sup> pendant 96 semaines (7j/7j, 4,5h/j pendant les 10 premières semaines puis 3h/j). Utilisation d'un modèle multiétape linéarisé. Prise en compte du volume respiratoire, et du poids corporel pour obtenir une valeur de risque de 0,43 (mg/kg/j) <sup>-1</sup> . Puis application d'un facteur de correction de (70/0,1) <sup>1/3</sup> .	OEHHA, 2002
Orale	ERU <sub>o</sub> =12 (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-		Effets sans seuil.  Etude chez la souris exposée à du benzo[a]pyrène dans l'alimentation pendant 4 à 6 mois à des doses de 50 à 250 mg/kg. Utilisation d'un modèle multiétape linéarisé.	OEHHA, 2002

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

<b>Benzo[b]fluoranthène</b>	Orale	$CR_{orale}=5.10^{-3}$ mg/kg/j	Fiabilité considérée comme élevée.	Effets sans seuil.  Valeur calculée en utilisant l'approche facteur d'équivalence toxicologique (FET). Cette valeur est obtenue par comparaison avec la VTR du benzo(a)pyrène ( $0,5\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$ pour un excès de risque de $1.10^{-4}$ ). Le RVIM considère une valeur de 0,1 pour le potentiel cancérigène relatif du Benzo[b]fluoranthène par rapport au Benzo[a]pyrène.	RVIM, 2001
	<b>Inhalation (Effets sans seuil)</b>	$ERU_i=1,1.10^{-4}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1</sup>	-	<b>Effets sans seuil.</b>  <b>Cette valeur dérive de l'excès de risque du Benzo[a]pyrène, qui est de <math>1,1.10^{-3}</math> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)<sup>-1</sup> sachant que le Benzo[b]fluoranthène a été affecté d'un facteur d'équivalence de 0,1.</b>	<b>OEHHA, 2002</b>
	Orale	$ERU_o=1,2$ (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil.  Cette valeur dérive de l'excès de risque du Benzo[a]pyrène, qui est de $12$ (mg/kg/j) <sup>-1</sup> sachant que le Benzo[b]fluoranthène a été affecté d'un facteur d'équivalence de 0,1.	OEHHA, 2002
Benzo[g,h,i]perylène	Orale, chronique	$TDI=30\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$	-	Effets avec seuil.	RVIM, 2001
<b>Benzo[k]fluoranthène</b>	Orale	$CR_{orale}=5.10^{-3}$ mg/kg/j	Fiabilité élevée de la valeur selon le RVIM.	Effets sans seuil.  Valeur calculée en utilisant l'approche facteur d'équivalence toxicologique (FET). Cette valeur est obtenue par comparaison avec la VTR du benzo(a)pyrène ( $0,5\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$ pour un excès de risque de $1.10^{-4}$ ). Le RVIM considère une valeur de 0,1 pour le potentiel cancérigène relatif du benzo[k]fluoranthène par rapport au Benzo[a]pyrène	RVIM, 2001
	<b>Inhalation (Effets sans seuil)</b>	$ERU_i=1,1.10^{-4}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1</sup>	-	<b>Effets sans seuil.</b>  <b>Cette valeur dérive de l'excès de risque du Benzo[a]pyrène, qui est de <math>1,1.10^{-3}</math> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)<sup>-1</sup> sachant que le Benzo[k]fluoranthène a été affecté d'un facteur d'équivalence de 0,1.</b>	<b>OEHHA, 2002</b>
	Orale	$ERU_o=1,2$ (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil.  Cette valeur dérive de l'excès de risque du Benzo[a]pyrène, qui est de $12$ (mg/kg/j) <sup>-1</sup> sachant que le Benzo[k]fluoranthène a été affecté d'un facteur d'équivalence de 0,1.	OEHHA, 2002

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

Chrysène	Orale	CR <sub>orale</sub> =50µg/kg/j	Non Documenté	Effets sans seuil.  Valeur calculée en utilisant l'approche facteur d'équivalence toxicologique (FET). Cette valeur est obtenue par comparaison avec la VTR du benzo(a)pyrène (0,5µg/kg/j pour un excès de risque de 1.10 <sup>-4</sup> ). Le RVIM considère une valeur de 0,1 pour le potentiel cancérigène relatif du Chrysène par rapport au Benzo[a]pyrène	RVIM, 2001
	Orale	ERU <sub>o</sub> =2,0 (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil.  Chez des souris mâles nouveau-nés exposés au chrysène par voie intrapéritonéale pour l'incidence des tumeurs hépatiques. Extrapolation par un modèle multiétape a permis de déterminer un potentiel cancérigène de 150(mg/kg/j) <sup>-1</sup> . Des études sur le benzo[a]pyrène montrent que le facteur de risque 75 fois plus élevé pour la voie intrapéritonéale que pour la voie orale.	OEHHA, 2003
Dibenz[a,h]anthracène	Orale	CR <sub>orale</sub> =5.10 <sup>-4</sup> mg/kg/j	Non Documenté	Effets sans seuil.  Valeur calculée en utilisant l'approche facteur d'équivalence toxicologique (FET). Cette valeur est obtenue par comparaison avec la VTR du benzo(a)pyrène (0,5µg/kg/j pour un excès de risque de 1.10 <sup>-4</sup> ). Le RVIM considère une valeur de 1 pour le potentiel cancérigène relatif du Dibenz[a,h]anthracène par rapport au Benzo[a]pyrène	RVIM, 2001
	Inhalation	ERU <sub>i</sub> =1,2.10 <sup>-3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil.  Etude chez des souris exposées par voie orale via l'eau de boisson au Dibenz[a,h]anthracène. Augmentation des cancers du poumon chez les mâles. A partir de ces données, un ERU <sub>o</sub> = 4,1 (mg/kg/j) <sup>-1</sup> a été calculé en utilisant un modèle multiétape linéarisé, en prenant en compte le poids corporel et le volume respiratoire journalier.	RVIM, 2002
	Orale	ERU <sub>o</sub> =4,1 (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil.  Etude chez des souris exposées par voie orale via l'eau de boisson au Dibenz[a,h]anthracène. Augmentation des cancers du poumon chez les mâles. A partir de ces données, un ERU <sub>o</sub> a été calculé en utilisant un modèle multiétape linéarisé.	RVIM, 2002
Fluoranthène	Orale, subchronique	MRL=0,4 mg/kg/j	300 UF <sub>A</sub> =10	Effets avec seuil.	ATSDR, 1995

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

			UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>B/L</sub> =3	4 groupes de 20 souris exposées par voie orale à des doses de 0, 125, 250 et 500 mg/kg/j pendant 90j. NOAEL=125 mg/kg/j et LOAEL=250mg/kg/j.	
	Orale	RfD=4.10 <sup>-2</sup> mg/kg/j	3000 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>S</sub> =10 UF <sub>O</sub> =3	Effets avec seuil.  Souris des deux sexes, exposées par voie orale à des doses de 0, 125, 250 et 500 mg/kg/j pendant 90j. NOAEL=125 mg/kg/j.	US EPA, 1993
	Orale	CR <sub>orale</sub> =5.10 <sup>-2</sup> mg/kg/j	Fiabilité de la valeur estimée comme élevée	Effets sans seuil.  Valeur calculée en utilisant l'approche facteur d'équivalence toxicologique (FET). Cette valeur est obtenue par comparaison avec la VTR du benzo(a)pyrène (5ng/kg/j pour un excès de risque de 1.10 <sup>-4</sup> ). Le RVIM considère une valeur de 0,01 pour le potentiel cancérigène du fluoranthène par rapport au benzo(a)pyrène. (Kroese <i>et al.</i> , 1999)	RVIM, 2001
Fluorène	Orale, sub-chronique	MRL=0,4mg/kg/j	300 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>B/L</sub> =3	Effets avec seuil.  Calculée à partir d'un LOAEL=125mg/kg/j pour une diminution du poids du foie chez des souris.	ATSDR, 1995
	Orale	RfD=4.10 <sup>-2</sup> mg/kg/j	3000 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>S</sub> =10 UF <sub>O</sub> =3	Effets avec seuil.  Chez des souris exposées par gavage à des doses de 0, 125, 250 ou 500 mg/kg/j, pendant 13 semaines. NOAEL=125mg/kg/j	US EPA, 1990
	Orale, chronique	TDI=4.10 <sup>-2</sup> mg/kg/j	-	Effets avec seuil.	RVIM, 2001
Indeno[1,2,3-cd]pyrène	Orale	CR <sub>orale</sub> =5.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j	Fiabilité de la valeur estimée comme élevée	Effets sans seuil.  Valeur calculée en utilisant l'approche facteur d'équivalence toxicologique (FET). Cette valeur est obtenue par comparaison avec la VTR du benzo(a)pyrène (0,5µg/kg/j pour un excès de risque de 1.10 <sup>-4</sup> ). Le RVIM considère une valeur de 0,1 pour le potentiel cancérigène relatif du Indeno[1,2,3-cd]pyrène par rapport au Benzo[a]pyrène.	RVIM, 2001
	Inhalation	ERU <sub>i</sub> =1,1.10 <sup>-4</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil.  Cette valeur dérive de l'excès de risque du Benzo[a]pyrène, qui est de 1,1.10 <sup>-3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> sachant que le Indeno[1,2,3-cd]pyrène a été affecté d'un facteur d'équivalence de 0,1.	OEHHA, 2002



## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

	Orale	$ERU_o=1,2 \text{ (mg/kg/j)}^{-1}$	-	Effets sans seuil.  Cette valeur dérive de l'excès de risque du Benzo[a]pyrène, qui est de 12 $(\text{mg/kg/j})^{-1}$ sachant que le Indeno[1,2,3-cd]pyrène a été affecté d'un facteur d'équivalence de 0,1.	OEHHA, 2002
Naphtalène	Orale, aiguë	$MRL=5.10^{-2} \text{ mg/kg/j}$	1000 $UF_A=10$ $UF_H=10$ $UF_{B/L}=10$	Effets avec seuil.  Sur des rats femelle exposées par ingestion à une dose de 50 mg/kg/j pendant 10j. LOAEL= 50 mg/kg/j	ATSDR, 1995
	Orale, subchronique	$MRL=2.10^{-2} \text{ mg/kg.j}$	300 $UF_A=10$ $UF_H=10$ $UF_{B/L}=3$	Effets avec seuil.  Basé sur un LOAEL=5,3mg/kg/j établi pour des souris albinos mâles et femelles exposés par ingestion pendant 90j.	ATSDR, 1995
	Inhalation, chronique	$MRL=0,01 \text{ mg/m}^3$	1000 $UF_A=10$ $UF_H=10$ $UF_{B/L}=10$	Effets avec seuil.  Chez des souris exposée à 10ppm pendant 2 ans/ LOAEL=10ppm.	ATSDR, 1995
	Orale, aiguë	$MRL=0,6 \text{ mg/kg/j}$	90 $UF_A=10$ $UF_H=3$ $UF_{B/L}=3$	Effets avec seuil.  Sur des rats femelles exposées par gavage du 6 <sup>ème</sup> au 15 <sup>ème</sup> jour de gestation. Effets sur le développement. LOAEL=50mg/kg/j.	ATSDR (Draft), 2003
	Orale, subchronique	$MRL=0,6 \text{ mg/kg/j}$	90 $UF_A=10$ $UF_H=3$ $UF_{B/L}=3$	Effets avec seuil.  Sur des rats femelles exposées par gavage du 6 <sup>ème</sup> au 15 <sup>ème</sup> jour de gestation. Effets sur le développement. LOAEL=50mg/kg/j.	ATSDR (Draft), 2003
	Inhalation, chronique	$MRL=3,5.10^{-3} \text{ mg/m}^3$	300 $UF_A=3$ $UF_H=10$ $UF_{B/L}=10$	Effets avec seuil.  Chez des souris et des rats des deux sexes. LOAEL=10ppm pour des effets respiratoires. LOAEL ajusté=1,8ppm = $10 \times (6\text{h}/24\text{h}) \times (5\text{j}/7\text{j})$ LOAEL <sub>HEC</sub> = 0,2 ppm	ATSDR (Draft), 2003
	Orale, chronique	$RfD=2.10^{-2} \text{ mg/kg.j}$	3000 $UF_A=10$ $UF_H=10$ $UF_S=10$ $UF_O=3$	Effets avec seuil.  Chez des rats mâles exposés de façon sub-chronique par gavage pendant 90j. NOAEL=71,4 mg/kg/j.	US EPA, 1998

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

	Inhalation, chronique	RfD=3.10 <sup>-3</sup> mg/m <sup>3</sup>	3000 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>O</sub> =3 UF <sub>B/L</sub> =10	Effets avec seuil.  LOAEL ajusté= 9,3 mg/m <sup>3</sup> chez des souris exposés chroniquement par voie respiratoire.	US EPA, 1998
	Orale, chronique	TDI=4.10 <sup>-2</sup> mg/kg/j	100	Effets avec seuil.	RVIM, 2001
	Inhalation, chronique	REL=9.10 <sup>-3</sup> mg/m <sup>3</sup>	1000 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>B/L</sub> =10	Effets avec seuil.  Souris exposées des doses de 0, 10 ou 30ppm pendant 104 semaines (6h/j, 5j/sem). LOAEL=10ppm pour lésions nasales et pulmonaires.	OEHHA, 2003
	Inhalation	ERUi=3,4.10 <sup>-5</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil.  Chez des souris femelles et des rats mâles. ERUi calculé pour chaque espèce, chaque sexe et chaque tumeur observée puis extrapolée à l'homme avec prise en compte du taux respiratoire et du poids corporel.	OEHHA, 2005
	Orale	ERUo=1,2.10 <sup>-1</sup> (µg/mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil.  Chez des souris femelles et des rats mâles. ERUo calculé pour chaque espèce, chaque sexe et chaque tumeur observée puis extrapolée à l'homme avec prise en compte du taux respiratoire et du poids corporel.	OEHHA, 2005
Phénanthrène	Orale, chronique	4.10 <sup>-2</sup> mg/kg/j	100	Effets avec seuil.	RVIM, 2001
Pyrène	Orale, chronique	RfD=3.10 <sup>-2</sup> mg/kg/j	3000 UF <sub>A</sub> =10 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>S</sub> =10 UF <sub>O</sub> =3	Effets avec seuil.  20 souris exposée par gavage pendant 13 semaines à des doses de 0, 75, 125 et 250 mg/kg/j. NOAEL=75mg/kg/j.	US EPA, 1993 révisée
	Orale	CRorale=0,5 mg/kg/j	Fiabilité de la valeur estimée comme élevée	Effets sans seuil.  Valeur calculée en utilisant l'approche facteur d'équivalence toxicologique (FET). Cette valeur est obtenue par comparaison avec la VTR du benzo(a)pyrène (0,5µg/kg/j pour un excès de risque de 1.10 <sup>-4</sup> ). Un FET de 0,001 a été attribué au pyrène.	RVIM, 2001

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

Tableau 31 : Valeurs toxicologiques de référence des gaz

Les polluants émis lors de la combustion d'une spirale					
Les gaz					
Substance	Exposition	Dose critique	Facteur d'incertitude	Etude et effets toxicologiques	Source
<b>Monoxyde de carbone</b>	Inhalation aiguë	10 mg/m <sup>3</sup> (8h)		La valeur seuil choisie par l'OMS correspond à un niveau d'HbCO à l'équilibre inférieur à 2,5 %, sachant que le seuil de 2,5 % est considéré comme la valeur à ne pas dépasser pour préserver la population générale de la toxicité du CO, y compris certaines populations sensibles. L'OMS s'est basée sur le modèle CFK pour définir les valeurs de concentration en CO à ne pas dépasser afin que la valeur d'HbCO n'excède pas les 2,5 %, pour un non fumeur, même si celui-ci réalise une activité physique modérée. Ainsi, pour une durée d'exposition de 8 heures, la concentration atmosphérique en CO modélisée est de 10 mg.m <sup>-3</sup> . (Avis de l'AFSSET relatif à la proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur pour le monoxyde de carbone)	OMS « European Air Quality Guidelines » (2000)
Monoxyde d'azote	Inhalation chronique	Non disponible			
<b>Dioxyde d'azote</b>	Inhalation aiguë	0,25 ppm (0,47 mg/m <sup>3</sup> ) (470 µg/m <sup>3</sup> )	UF=1	Cette valeur est établie à partir d'un rapport d'étude de la California Air Resources Board (1992) réalisée sur la population sensible des asthmatiques. L'effet critique retenu est l'augmentation de la réactivité bronchique. Un NOAEL de 0,25 ppm est rapporté pour une exposition de 1 heure.  NOAEL=0,25 ppm Calcul : 0,25 ppm x 1 = 0,25 ppm (0,47 mg/m <sup>3</sup> )	OEHHA, 1999
Méthane	Inhalation	Non disponible			

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

Tableau 32 : Valeurs toxicologiques de référence des COV

Les polluants émis lors de la combustion d'une spirale					
Les COV					
Substance	Exposition	Dose critique	Facteur d'incertitude	Etude et effets toxicologiques	Source
Dichlorométhane ou chlorure de méthylène	Inhalation aiguë	2,1 mg/m <sup>3</sup>	UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>L/B</sub> =10	étude expérimentale réalisée chez des volontaires exposés à 300, 500 ou 800 ppm de chlorure de méthylène durant 3-4 heures Des effets neurologiques ont été mis en évidence dès la plus faible dose (300 ppm), qui constitue donc un LOAEL pour cette étude. Le modèle pharmacodynamique de Reitz <i>et al.</i> , (1997) a été utilisé pour avoir une équivalence du LOAEL sur 24 heures, estimée à 60 ppm. LOAEL=60 ppm Calcul : 60 ppm x 1/100 = 0,6 ppm	ATSDR, 2000
	Inhalation chronique	1,1 mg/m <sup>3</sup>	UF <sub>A</sub> =3 UF <sub>H</sub> =10	Cette valeur établie à partir d'une étude expérimentale réalisée chez des rats, exposés jusqu'à 500 ppm de chlorure de méthylène à raison de 5-7 j/sem, 6 h/j durant 24 mois (Nitschke <i>et al.</i> , 1988a). Un NOAEL de 50 ppm pour les effets hépatiques a été déterminé. NOAEL=50 ppm Calcul : 50 ppm x 6 h/24 h x 5 j/7 j x 1/30 = 0,3 ppm MRL = 1,1 mg/m <sup>3</sup> (chronique)	ATSDR, 2000
	Inhalation (effet sans seuil)	ERUi = 4,7.10 <sup>-7</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>			Cette valeur a été calculée à partir d'une étude du NTP qui avait pour but de déterminer l'incidence de tumeurs malignes chez des rats F344/N et des souris B6C3F1 des deux sexes, exposés par inhalation à différentes concentrations de chlorure de méthylène pendant deux ans (NTP, 1986). Seuls les résultats chez la souris ont été exploités.
cis-1,2-Dichloroethene	Inhalation chronique	3.10 <sup>-2</sup> mg/m <sup>3</sup>	Non Documenté	Le RIVM propose une TCA provisoire de 3.10 <sup>-2</sup> mg/m <sup>3</sup> pour une exposition chronique par inhalation (Baars <i>et al.</i> , 2001). Pour le RIVM, il n'existe pas d'étude appropriée permettant de calculer une concentration tolérable dans l'air pour le <i>cis</i> -dichloroéthylène. La TCA a donc été calculée provisoirement à partir de la dose journalière admissible (TDI) pour l'isomère <i>cis</i> (extrapolation voie-à-voie). La méthode d'extrapolation utilisée n'est pas précisée. Pour le RIVM, la fiabilité de cette valeur est faible.	RIVM, 2001

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

Chloroforme	Inhalation aiguë	0,488 mg/m <sup>3</sup>	UF <sub>A</sub> =3 UF <sub>H</sub> =10	<p>Cette valeur a été établie à partir d'étude expérimentale réalisée chez des souris et des rats, exposés jusqu'à 300 ppm de chloroforme 6h/j durant 7 jours (Larson <i>et al.</i>, 1994a)</p> <p>Un NOAEL de 3 ppm pour les effets hépatiques a été déterminé chez les souris ppm pour les expositions aiguës par inhalation.</p> <p>NOAEL = 3 ppm</p> <p>Calcul : 3 ppm x 1/30 = 0,1 ppm</p>	ATSDR, 1998
	Inhalation chronique	0,098 mg/m <sup>3</sup>	UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>L/B</sub> = 10	<p>Cette valeur a été établie en prenant en compte les symptômes observés chez des travailleurs exposés au chloroforme à une concentration allant de 2 à 205 ppm durant 1 à 4 ans (Bomski <i>et al.</i>, 1967). Des effets sur le foie ont été observés dès 2 ppm dans 25 % des cas.</p> <p>Ce LOAEL a servi à calculer un MRL égal à 0,02 ppm pour les expositions intermédiaires par inhalation.</p> <p>LOAEL = 2 ppm</p> <p>Calcul : 2 ppm x 1/100 = 0,02 ppm</p>	ATSDR, 1998
	Inhalation (effets sans seuil)	ERUi = 2,3.10 <sup>-5</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		<p>Comme aucune étude de cancérogénèse par inhalation n'est disponible, cette valeur a été calculée à partir de l'étude du NCI (1976), qui a estimé l'incidence de carcinomes hépatocellulaires chez des souris B6C3F1 mâles et femelles après gavage au chloroforme. Les valeurs d'incidence des tumeurs, détaillées ci-dessous, ont été utilisées pour établir des risques de 3,3.10<sup>-2</sup> (mg/kg)/j pour les mâles et 2,0.10<sup>-1</sup> (mg/kg)/j pour les femelles. Le risque unitaire a été calculé en considérant la moyenne géométrique de ces valeurs.</p>	US EPA (IRIS), 2001
1,2 dichloroéthane	Inhalation chronique	0,4 mg/m <sup>3</sup>	UF <sub>A</sub> =3 UF <sub>H</sub> =10	<p>Cette valeur est issue d'une étude expérimentale au cours de laquelle des rats ont été exposés par inhalation à 0, 5, 10, 50 et 150 et 200 ppm de 1,2-dichloroéthane durant 3 à 18 mois (7h/j, 5j/sem) (Spreafico <i>et al.</i>, 1980).</p> <p>Un NOAEL de 10 ppm et un LOAEL de 50 ppm (pour une exposition sur 12 mois) ont été établis pour les effets hépatiques (modification du taux d'enzymes sériques hépatiques – élévation de l'ALAT, diminution de l'ASAT).</p> <p>NOAEL=10 ppm</p> <p>Calcul : 10 ppm x 7h/24 x 5j/7 x 1,5* x 1/30 = 0,1 ppm (0,4 mg/m<sup>3</sup>)</p> <p><i>*facteur correctif permettant d'aboutir à une concentration équivalente pour l'homme</i></p>	OEHHA, 2001

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

	Inhalation (effets sans seuil)	$ERU_i = 2,6 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$		Cette valeur a été calculée à partir de l'étude par voie orale du NCI (1978) ayant également conduit au calcul d'un ERU par voie orale (voir Sfo). L'US EPA considère qu'à ces faibles concentrations de 47 et 95 mg/kg/j, la totalité du 1,2-dichloroéthane est absorbé et métabolisé par les animaux.	US EPA, 1991
m-Xylène	Inhalation chronique	0,1 mg/m <sup>3</sup>	UF <sub>A</sub> =3 UF <sub>H</sub> =10	Cette valeur a été établie à partir d'une étude expérimentale chez le rat exposé par inhalation à 0, 50 ou 100 ppm de m-xylène durant 3 mois (6 h/j, 5 j/sem) (Korsak <i>et al.</i> , 1994). L'effet critique retenu est la coordination motrice. Pour cet effet, un NOAEL de 50 ppm (soit 217 mg/m <sup>3</sup> ) a été retenu et a servi à établir une RfC de 0,1 mg/m <sup>3</sup> .  Facteurs d'incertitude : - un facteur arrondi à 300 est appliqué : un facteur 3 pour l'extrapolation de l'animal à l'homme, un facteur 10 pour la variabilité au sein de la population humaine, un facteur 3 pour l'extrapolation de données subchroniques à chroniques, et un facteur 3 car il n'existe pas d'étude de reproduction sur deux générations pour le xylène. NOAEL=50 ppm Calcul : $217 \text{ mg}/\text{m}^3 \times 6 \text{ h}/24 \times 5 \text{ j}/7 \times 1/300 = 0,13 \text{ mg}/\text{m}^3$ (arrondi à 0,1)	US EPA, 2003
p-Xylène		Non disponible			
o-Xylène		Non disponible			
Xylenes totaux	Inhalation aiguë	1 ppm (4,35 mg/m <sup>3</sup> )	UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>L/B</sub> = 10	Cette valeur a été calculée à partir des résultats obtenus par Dudek <i>et al.</i> (1990) où 10 volontaires sains ont été exposés à un mélange de xyliènes. Une exposition à 100 ppm (435 mg/m <sup>3</sup> ) d'un mélange de xyliènes pendant 4 heures augmente le temps de réaction chez les individus exposés. LOAEL=100 ppm Calcul : $100 \text{ ppm} \times 1/100 = 1 \text{ ppm} (4,35 \text{ mg}/\text{m}^3)$	ATSDR, 1995
	Inhalation chronique	0,05 ppm (0,22 mg/m <sup>3</sup> )	UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>L/B</sub> = 10 UF=3 (effets neurotoxiques)	Cette valeur a été calculée à partir d'un LOAEL de 14 ppm (61 mg/m <sup>3</sup> ) obtenu pour un mélange de xyliènes et pour des effets neurotoxiques tels que l'augmentation de l'anxiété, une difficulté à se concentrer, une perte de mémoire, une irritation du nez et des yeux, des vertiges et des maux de gorge chez des travailleurs (Uchida <i>et al.</i> , 1993).  LOAEL=14 ppm  Calcul : $14 \text{ ppm} \times 1/100 \times 1/3 = 0,047 \text{ ppm}$ (arrondi à 0,05 ppm (0,22 mg/m <sup>3</sup> ))	ATSDR, 2005

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

Styrène	Inhalation aigüe	21 mg/ m <sup>3</sup>	UF <sub>H</sub> = 10	<p>Cette valeur est basée sur une étude menée chez trois volontaires exposés par inhalation au styrène (Stewart <i>et al.</i>, 1968). Une concentration de 376 ppm (1 617 mg/m<sup>3</sup>) pendant 25 minutes induit une diminution de la coordination et de la dextérité manuelle. Ces effets ne sont pas retrouvés chez les sujets lors d'une exposition à 216 ppm (930 mg/m<sup>3</sup>) pendant 1 heure. Pour une exposition à 99 ppm (426 mg/m<sup>3</sup>) pendant 20 minutes une irritation des yeux et de la gorge est rapportée. De cette étude, un LOAEL de 99 ppm (426 mg/m<sup>3</sup>) est déterminé pour une exposition de 20 minutes pour des irritations oculaires et de la gorge et à un NOAEL de 51 ppm (220 mg/m<sup>3</sup>).</p> <p>NOAEL = 51 ppm Calcul : 51 ppm x 1/10 = 5,1 ppm (21 mg/m<sup>3</sup>).</p>	OEHHA, 1999
	Inhalation chronique	0,9 mg/ m <sup>3</sup>	UF <sub>H</sub> = 3	<p>Cette valeur a été établie à partir de l'étude épidémiologique réalisée pour des expositions professionnelles de Mutti <i>et al.</i> (1984b). Un LOAEL de 25 ppm (108 mg/m<sup>3</sup>) a été établi pour des effets mineurs sur le système nerveux central de travailleurs exposés au styrène pendant plusieurs années. A partir de ce LOAEL, une "benchmark dose" de 1,7 ppm a été calculée. Un ajustement de durée d'exposition a été pratiqué.</p> <p>Calcul : 1,7 ppm x 5 j/7 j x 10 m<sup>3</sup>/20 x 1/3 = 0,2 ppm (0,9 mg/m<sup>3</sup>).</p>	OEHHA, 2003
Toluène	Inhalation aigüe	3,8 mg/m <sup>3</sup> (1 ppm)	UF <sub>A</sub> = 10	<p>Cette valeur est établie à partir d'une étude expérimentale chez 16 volontaires, exposés 6 heures par jour, pendant 4 jours consécutifs, aux concentrations de 0, 10, 40 et 100 ppm (0, 38,3, 153,2, 383 mg/m<sup>3</sup>). Les sujets ont été exposés à des concentrations différentes chaque jour (Andersen <i>et al.</i>, 1983). Aucun effet n'est observé pour les concentrations de 10 et 40 ppm (38,3 et 153,2 mg/m<sup>3</sup>). De cette étude, un NOAEL de 40 ppm est défini (ce qui correspond à 9,5 ppm pour une exposition continue).</p> <p>NOAEL=40 ppm Calcul : 40 ppm x 5 j/7 j x 8 h/24 h x 1/10 = 1 ppm (3,8 mg/m<sup>3</sup>)</p>	ATSDR, 2000
	Inhalation chronique	0,03 mg/m <sup>3</sup> (0,08 ppm)	UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>L/B</sub> = 10	<p>Cette valeur est établie dans le cadre d'expositions chroniques chez les salariés de l'industrie de la chaussure (Zavalic <i>et al.</i>, 1998a). Dans cette étude, un LOAEL de 35 ppm (134 mg/m<sup>3</sup>) pour des dysfonctionnements de vision de la couleur est définie.</p> <p>LOAEL=35 ppm Calcul : 35 ppm x 5 j/7 j x 8 h/24 h x 1/100 = 0,08 ppm (0,3 mg/m<sup>3</sup>)</p>	ATSDR, 2000

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

<b>Benzène</b>	Inhalation, aiguë	MRL=0,17 mg/m <sup>3</sup>	300 UF <sub>A</sub> =3 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>B/L</sub> =10	Effets avec seuil.  Chez la souris exposée par inhalation, 6h/j, pendant 6j. LOAEL=32mg/m <sup>3</sup> pour un effet sur le système immunitaire. <b>MRL donné pour une exposition de 24h/j pendant 6jours</b>	ATSDR, 1997
	Inhalation, sub-chronique	MRL=0,013 mg/m <sup>3</sup>	90 UF <sub>A</sub> =3 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>B/L</sub> =3	Effets avec seuil.  Chez la souris exposée par inhalation pendant 30j, 2h/j, 6j/sem. LOAEL=2,53 mg/m <sup>3</sup> pour l'apparition d'effets neurologiques.	ATSDR, 1997
	Inhalation, aiguë	Draft MRL=0,009 ppm	300 UF <sub>A</sub> =3 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>B/L</sub> =10	Effets avec seuil.  Chez la souris exposée pendant 6j, 6h/j. LOAEL=32 mg/m <sup>3</sup> pour des effets sur le système immunitaire. Ajustement pour une exposition continue.	ATSDR, 2005
	Inhalation, sub-chronique	Draft MRL= 0,006 ppm	300 UF <sub>A</sub> =3 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>B/L</sub> =10	Effets avec seuil.  Chez des souris mâles exposées pendant 20j, 6h/j, 5j/sem. LOAEL=10ppm sur le système immunitaire. Ajustement pour une exposition continue.	ATSDR, 2005
	Inhalation, chronique	Draft MRL=0,003 ppm	10 UF <sub>H</sub> =10	Effets avec seuil.  Etude épidémiologique chez 250 travailleurs dans une industrie de la chaussure en Chine, exposés par inhalation. BMCL <sub>0,25sd</sub> =0,10 ppm pour un effet sur le système immunitaire. Ajustement pour une exposition continue.	ATSDR, 2005
	Inhalation chronique	RfC=3.10 <sup>-2</sup> mg/m <sup>3</sup>	300 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>B/L</sub> =3 UF <sub>O</sub> =3 UF <sub>S</sub> =3	Effets avec seuil.  Etude épidémiologique chez 44 travailleurs à Shanghai, exposés par inhalation. Difficulté de prendre en compte les variabilités d'exposition dues aux différences de parcours professionnel. Définition d'une dose repère (BMC) =13,7 ppm sur 8h avec une limite inférieure à 95% (BMCL)=7,2 ppm. Effet sur le système immunitaire.	US EPA, 2003
	Orale	RfD=4.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j	300 UF <sub>H</sub> =10 UF <sub>B/L</sub> =3 UF <sub>O</sub> =3 UF <sub>S</sub> =3	Effets avec seuil.  Valeur obtenue par extrapolation voie-à-voie de la valeur précédente. La BMCL=7,2ppm, après ajustement, pour exposition continue BMCLaj=8,2ppm, et prise en compte du taux d'absorption (50% par voie respiratoire et 100% par voie orale).	US EPA, 2003



## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

Orale	ERUo entre 1,5 et 5,5.10 <sup>-2</sup> (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil.  Valeur extrapolée à partir de la relation dose-réponse pour une exposition par voie respiratoire. Prise en compte de la différence d'absorption entre les deux voies : absorption orale est le double de l'absorption respiratoire.	US EPA, 2000
Inhalation	ERUi entre 2,2 et 7,8.10 <sup>-6</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	-	Effets sans seuil. Valeur établie à partir d'études épidémiologiques portant sur la survenue de leucémie lors d'exposition professionnelle par voie respiratoire aux vapeurs de benzène.	US EPA, 1998
<b>Inhalation Sans seuil</b>	<b>ERUi=6.10<sup>-6</sup> (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup></b>	-	<b>Effets sans seuil.</b>  <b>Valeur de l'OMS retenue par la directive de la qualité de l'air et par le conseil supérieur d'hygiène public de France dans le cadre de la directive relative à la pollution de l'air ambiant (1997).</b>	<b>OMS 2000</b>
Inhalation, chronique	REL=0,06 mg/m <sup>3</sup>	10 UF <sub>H</sub> =10	Effets avec seuil.  Valeur établie à partir d'une étude épidémiologique chez 303 travailleurs exposés au benzène pendant 1 à 21 ans dans une raffinerie. L'exposition moyenne a été évaluée à 0,19 ppm.	OEHHA, 2003
Inhalation	CT <sub>0,05</sub> =15 mg/m <sup>3</sup>	-	Effets sans seuil.  Valeur établie à partir d'une étude épidémiologique chez 1165 travailleurs exposés au benzène par inhalation. Calcul de la CT <sub>0,05</sub> =15 mg/m <sup>3</sup> à partir de l'évaluation de Crump et Allen (1984). En divisant cette valeur par 5000, la concentration dans l'air devient 3.10 <sup>-3</sup> mg/m <sup>3</sup> ce qui représente un risque cancérigène de A sur 100 000.	Santé Canada, 1991
Inhalation	CR <sub>inhal</sub> =2.10 <sup>-2</sup> mg/m <sup>3</sup>	Fiabilité de la valeur élevée selon le RVIM.	Effets sans seuil.  Valeur correspondant à un excès de risque de 1.10 <sup>-4</sup> pour une exposition continue vie entière. C'est la limite inférieure de la l'estimation du risque cancérigène issu du groupe de travail de l'Union Européenne (CE, 1999). Valeur considérée comme protectrice pour les effets hématotoxiques du benzène.	RVIM, 2001
orale	CR <sub>orale</sub> =3,3.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j	Fiabilité moyenne selon le RVIM,	Effets sans seuil.  Valeur correspondant à un excès de risque de 1.10 <sup>-4</sup> pour une exposition	RVIM, 2001

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

			en raison de l'extrapolation voie-à-voie.	continue vie entière avec une extrapolation voie-à-voie : $CR_{inhal}=2.10^{-2} \text{ mg/m}^3$ correspond à $CR_{orale}=3,3.10^{-3} \text{ mg/kg/j}$ . (50% d'absorption par inhalation et 100% d'absorption par ingestion).	
	Inhalation	$ERU_i=2,9.10^{-5} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$	Non Documenté	Effets sans seuil.  Valeur établie à partir d'études épidémiologiques portant sur la survenue de leucémie lors d'exposition professionnelle par voie respiratoire aux vapeurs de benzène et d'études de cancérogenèse chez l'animal.	OEHHA, 2002
<b>Ethylbenzene</b>	Ingestion chronique	Rfd = 0,1 mg/kg/j	1000 $UF_A=10$ $UF_H=10$ $UF_S=10$	Effets avec seuil. Etude sur les rats Doses : 13,6 – 136 – 408 - 680 mg/kg/j, 5j/sem pendant 182 jours Effets sur le foie et les reins NOAEL: 97.1 mg/kg/j LOAEL: 291 mg/kg/j	US EPA
	<b>Inhalation aigüe</b>	<b>MRL = 10 ppm = 44 mg/m<sup>3</sup></b>	<b>30</b> <b><math>UF_A=10</math></b> <b><math>UF_H=3</math></b>	<b>Effets neurologiques</b> <b>Etude sur les rats exposés 8 h/j pendant 5 jours</b>	<b>ATSDR</b>
	Inhalation chronique	MRL = 0,3 ppm = 1,3 mg/m <sup>3</sup>	300	Effets sur le système rénal	ATSDR
	Inhalation chronique	REL= 2000 µg/m <sup>3</sup>	Non Documenté	Effets avec seuil.  Effets sur le développement, le foie, les reins et le système endocrinien	OEHHA
	<b>Inhalation chronique</b>	<b>RfC = 1000 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>300</b> <b><math>UF_A=10</math></b> <b><math>UF_H=3</math></b> <b><math>UF_O=10</math></b>	<b>Effets avec seuils</b> <b>Etude sur des rats et des lapins</b> <b>Doses : 0 – 100 – 1000 ppm durant 6-7 h/j, 7j/sem pendant 20 jours de gestation chez le rat et 25 jours de gestation chez le lapin.</b> <b>NOAEL: 434 mg/m<sup>3</sup> (100 ppm)</b> <b>NOAEL(ADJ): 434 mg/m<sup>3</sup></b> <b>NOAEL(HEC): 434 mg/m<sup>3</sup></b> <b>LOAEL: 4340 mg/m<sup>3</sup> (1000 ppm)</b> <b>LOAEL(ADJ): 4340 mg/m<sup>3</sup></b> <b>LOAEL(HEC): 4340 mg/m<sup>3</sup></b>	<b>US EPA</b>
	Ingestion sans seuil	$ERU_o=11 (\mu\text{g/kg/j})^{-1}$	-	Effets sans seuil. Cancer du rein chez le rat male exposé.	OEHHA
	<b>Inhalation sans seuil</b>	<b><math>ERU_i=2,5.10^{-6} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}</math></b>	-	<b>Effets sans seuil.</b> <b>Cancer du rein chez le rat male exposé.</b>	<b>OEHHA</b>

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

Tableau 33 : Valeurs toxicologiques de référence des composés carbonylés

Les polluants émis lors de la combustion d'une spirale					
Les composés carbonylés					
Substance	Exposition	Dose critique	Facteur d'incertitude	Etude et effets toxicologiques	Source
<b>Formaldéhyde</b>	Inhalation aiguë	VTR = 94µg/m <sup>3</sup> (1h)	UF = 10	irritation oculaire	OEHHA 1999
		<b>MRL = 50µg/m<sup>3</sup></b>	<b>UF = 10</b> <b>UF<sub>A</sub> = 3</b> <b>UF<sub>L/B</sub> = 3</b>	<b>irritation et réponse inflammatoire infraclinique (volontaires ayant une hypersensibilité cutanée), LOAEL de 0,5mg/m<sup>3</sup></b> <b>MRL donné pour une exposition de 2 heures</b>	<b>ATSDR 1999</b>
	Inhalation Chronique	VTR = 10 µg/m <sup>3</sup>	UF = 30	lésions de l'épithélium nasal	<b>ATSDR 1999</b>
		VTR = 3µg/m <sup>3</sup>	UF = 10	Irritation oculaire et nasale	OEHHA 1999
		<b>IUR = 1,3.10<sup>-5</sup> (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup></b>		<b>Carcinome de cellules squameuses des cavités nasales</b>	<b>US EPA 1991</b>
	Inhalation sans seuil	ERU = 6.10 <sup>-6</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		Carcinome de cellules squameuses des cavités nasales	OEHHA 2005
<b>Acétaldéhyde</b>	<b>Inhalation chronique</b>	<b>RfC = 9 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>1000</b> <b>UF<sub>A</sub> = 10</b> <b>UF<sub>H</sub> = 10</b> <b>UF<sub>s</sub> = 10</b>	<b>Effets à seuil</b>  <b>Etude de 4 semaines sur les rats (10 rats males par groupe).</b> <b>Doses : 0 - 150 - 500 ppm</b> <b>Exposition : inhalation 6h/j, 5j/sem pendant 4 semaines</b> <b>LOAEL= 500 ppm basée sur une dégénérescence de l'épithélium olfactif</b> <b>NOAEL = 150 ppm</b> <b>NOAEL (HEC) = 8,7 mg/m<sup>3</sup></b>	<b>US EPA Appleman et al.,1986</b>
	Inhalation chronique	CA = 390 µg/m <sup>3</sup>	Non Documenté	CA fondée sur la limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95 % (LIIC) d'une concentration de référence (CR) associée à une augmentation de 5 % des lésions non néoplasiques (CRI0,05) dans l'épithélium olfactif nasal de rats Wistar mâles exposés pendant 4 semaines	Santé Canada

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

	Inhalation (Effets sans seuil)	ERU = $2.2 \times 10^{-6}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1</sup>		Effets sans seuil  Etude de 27 mois sur 420 rats mâles et 420 rats femelles (105 rats mâles et 105 rats femelles par dose) Doses : 0 - 750 - 1500 - 3000 ppm Exposition : inhalation 6h/j, 5j/sem pendant 27 mois Effets : cancer nasal cutané (carcinome épidermoïde) ou adénocarcinome Méthode d'extrapolation : LMS - Incidence des cancers = 1/94 pour une dose de 0 ppm - Incidence des cancers = 20/95 pour une dose de 750 ppm - Incidence des cancers = 49/95 pour une dose de 1500 ppm - Incidence des cancers = 47/92 pour une dose de 1540 ppm	US EPA Woutersen et Appelmann, 1984 Woutersen et al., 1985
	Inhalation chronique	CT <sub>0.05</sub> = 28 mg/m <sup>3</sup>		Incidence accrue d'adénocarcinomes et de carcinomes épidermoïdes nasaux (combinées) chez des rats Wistar mâles exposés pendant une période allant jusqu'à 28 mois	Santé Canada
<b>Acétone</b>	Ingestion chronique	RfD = 0,9 mg/kg/j	1000 UF <sub>A</sub> = 10 <sup>1/2</sup> UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>S</sub> = 10 <sup>1/2</sup> UF <sub>D</sub> = 10	Effets à seuil  Etude de 13 semaines sur 10 rats mâles et 10 rats femelles par dose Doses rats mâles : 0 - 200 - 400 - 900 - 1700 - 3400 mg/kg/j pendant 13 semaines Doses rats femelles : 0 - 300 - 600 - 1200 - 1600 - 3100 mg/kg/j pendant 13 semaines Effets : maladie du rein (néphropathie) chez les rats mâles pour des doses de 1700 et 3400 mg/kg/j	US EPA  Dietz et al., 1991; NTP, 1991
	Ingestion intermédiaire	MRL = 2 mg/kg/j	100 UF <sub>A</sub> = 10 UF <sub>H</sub> = 10	Effets hémat.	ATSDR
	Inhalation aiguë	MRL = 26 ppm = 62 mg/m <sup>3</sup>	9 UF non documenté	Effets sur le système nerveux Etude sur des rats MRL donnée sur 4 heures d'exposition	ATSDR
	Inhalation chronique	MRL = 13 ppm = 31 mg/m <sup>3</sup>	100 UF <sub>A</sub> = 10 UF <sub>H</sub> = 10	Effets sur le système nerveux	ATSDR
<b>Acroléine</b>	Ingestion chronique	RfD = $5 \times 10^{-1}$ $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$	100 UF <sub>A</sub> = 10	Effets à seuil Etude de 24 mois sur 70 rats mâles et 70 rats femelles par dose	US EPA Parent et al.,

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

			UF <sub>H</sub> = 10	Doses : 0 - 0,05 - 0,5 - 2,5 mg/kg/j Effets : diminution de la survie pour des doses de 0,5 et 2,5 mg/kg/j NOAEL = 0,05 mg/kg/j	1992
	Ingestion intermédiaire	MRL intermédiaire = 4 µg/kg/j	100 UF <sub>A</sub> = 10 UF <sub>H</sub> = 10	Gastro	ATSDR
	<b>Inhalation aigüe</b>	<b>MRL = 0.003 ppm = 6,9µg/m<sup>3</sup></b>	<b>100</b>	<b>Effets sur l'appareil respiratoire</b> <b>Etude sur des rats</b> <b>MRL donnée sur 1 heure d'exposition</b>	<b>ATSDR</b>
	Inhalation chronique	CA = 0,4 µg/m <sup>3</sup>	ND	La CA est fondée sur la CR associée à une augmentation de 5 % (CR0,05) de la désorganisation, la nécrose, l'épaississement, la desquamation et l'hyperplasie de l'épithélium respiratoire nasal des rats exposés par inhalation pendant 3 jours	Santé Canada
	Inhalation chronique	REL = 0.35 µg/m <sup>3</sup>	ND	Effets sur l'appareil respiratoire et sur les yeux	OEHHA
	<b>Inhalation chronique</b>	<b>RfC = 2x10<sup>-2</sup> µg/m<sup>3</sup></b>	<b>1000</b> <b>UF<sub>A</sub> = 10<sup>1/2</sup></b> <b>UF<sub>H</sub> = 10</b> <b>UF<sub>S</sub> = 10</b> <b>UF<sub>B/L</sub> = 10</b>	<b>Effets à seuil</b>  <b>Etude de 13 semaines sur 6 rats males et 6 rats femelles par dose</b> <b>Doses : 0 - 0,9 - 3,2 - 11 mg/m<sup>3</sup>, 6h/j, 5j/sem pendant 13 semaines</b> <b>Effets : lésions nasales observées à partir d'une dose de 0,9 mg/m<sup>3</sup></b> <b>LOAEL = 0.4 ppm (0.9 mg/m<sup>3</sup>)</b> <b>LOAEL (HEC) = 0,02 mg/m<sup>3</sup></b>	<b>US EPA</b> <b>Feron et al., 1978</b>
<b>2-Butanone</b>	Ingestion chronique	RfD = 0,6 mg/kg/j	1000 UF <sub>A</sub> = 10 UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>D</sub> = 10	Effets à seuil  Etude multi générationnelle de 8 semaines sur 30 rats males et 30 rats femelles par dose Doses rats males : 0 - 538 - 1644 - 5089 mg/kg/j Doses rats femelles : 0 - 594 - 1771 - 4571 mg/kg/j  Effets : A partir d'une dose de 1771 mg/kg/j, toxicité chez les femelles qui s'accompagne d'une diminution du poids à la naissance des nouvelles générations NOAEL: 594 mg/kg/j LOAEL: 1771 mg/kg/j	US EPA Cox et al., 1975
	<b>Inhalation chronique</b>	<b>RfC = 5 mg/m<sup>3</sup></b>	<b>300</b> <b>UF<sub>A</sub> = 10<sup>1/2</sup></b>	<b>Effets à seuil</b>	<b>US EPA</b> <b>Schwetz et</b>

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

			UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>D</sub> = 10	Etude sur le développement embryofœtal sur 33 souris femelles en période de gestation par dose Doses : 0 - 1174 - 2980 - 8909 mg/m <sup>3</sup> , 7h/j, du 6 <sup>ème</sup> au 15 <sup>ème</sup> jour de gestation Effets et Benchmark doses: malformations (BMD10 = 5202 mg/m <sup>3</sup> ) et diminution du poids du fœtus (BMD5 = 6704 mg/m <sup>3</sup> ) BMD10 <sub>(HEC)</sub> : 1517 mg/m <sup>3</sup>	al., 1991
Butyraldéhyde	Inhalation	Absence de VTR			
	Ingestion	Absence de VTR			
Crotonaldéhyde	Inhalation	Absence de VTR			
	Ingestion	Absence de VTR			
Glyoxal	Inhalation	Absence de VTR			
	Ingestion	Absence de VTR			
Methacroléine	Inhalation	Absence de VTR			
	Ingestion	Absence de VTR			
Méthylglyoxal	Inhalation	Absence de VTR			
	Ingestion	Absence de VTR			
4-Méthyl-2-pentanone	Inhalation chronique	RfC = 3 mg/m <sup>3</sup>	300 UF <sub>A</sub> = 10 <sup>1/2</sup> UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>D</sub> = 10	Effets à seuil  Etudes sur le développement embryofœtal sur 344 rats femelles et 30 souris femelles en période de gestation Doses : 0 - 307 - 1026 et 3073 mg/m <sup>3</sup> , 6h/j, du 6 <sup>ème</sup> au 15 <sup>ème</sup> jour de gestation Effets chez la souris pour une dose de 3073 mg/m <sup>3</sup> : diminution du poids du fœtus, malformations et augmentation de la mortalité des fœtus Effets chez le rat pour une dose de 3073 mg/m <sup>3</sup> : malformations NOAEL <sub>HEC</sub> = 1026 mg/m <sup>3</sup> LOAEL <sub>HEC</sub> = 3073 mg/m <sup>3</sup>	US EPA  Tyl et al., 1987
	Ingestion	Absence de VTR			
Propanaldéhyde	Inhalation chronique	RfC = 8 µg/m <sup>3</sup>	1000 UF <sub>A</sub> = 10 <sup>1/2</sup> UF <sub>H</sub> = 10 UF <sub>S</sub> = 10 UF <sub>D</sub> = 10 <sup>1/2</sup>	Effets à seuil  Etudes sur 15 rats mâles et 15 rats femelles par dose Doses : 0 - 357 - 1785 et 3570 mg/m <sup>3</sup> , 6h/j, 7j/sem, pendant 2 semaines avant l'accouplement et 2 semaines pendant la période d'accouplement. Effets chez le rat mâle pour une dose de 357 mg/m <sup>3</sup> : atrophie de l'épithélium olfactif Effets chez le rat femelle pour une dose de 1785 mg/m <sup>3</sup> : atrophie de	Union Carbide, 1993

## Annexe C : Valeurs toxicologiques de référence des différents polluants

				l'épithélium olfactif BMD10 (HEC): 8 mg/m <sup>3</sup>	
	Ingestion	Absence de VTR			
M-Tolualdéhyde	Inhalation	Absence de VTR			
	Ingestion	Absence de VTR			
o-Tolualdéhyde	Inhalation	Absence de VTR			
	Ingestion	Absence de VTR			
Valeraldéhyde	Inhalation	Absence de VTR			
	Ingestion	Absence de VTR			

## Annexe D : Impact de l'aération sur l'abattement de la concentration de polluants

### 1. Le modèle proposé par l'AFSSET :

Le modèle mathématique proposé par l'AFSSET utilise une équation de bilan de masse (loi de conservation de la masse) pour calculer les concentrations d'un polluant dans une pièce sur la base de la connaissance :

- De la source ;
- Du volume de la pièce ( $m^3$ ) ;
- Du taux de renouvellement d'air de la pièce (/h) ;
- Du taux de perte en polluant par dépôt ou réactions chimiques.

Il repose sur les hypothèses suivantes :

- L'émission de polluants est constante au cours du temps ;
- Les polluants se diffusent de manière homogène dans le volume considéré ;
- Le modèle est non réactif (il n'y a pas de dégradation du polluant et pas de dépôts sur les surfaces) ;
- Le taux de renouvellement d'air est constant et efficace (il n'y pas de rétrodiffusion des pièces voisines) ;
- Il n'y a pas d'autres sources pouvant interférer lors de la combustion de la spirale anti-moustiques ;
- L'air entrant propre ;
- La concentration initiale des polluants est nulle.

En fonction du temps, la concentration en polluant suit différentes équations mathématiques.

Lorsque la source s'est développée la concentration est égale à :

Equation N°2 : 
$$C_t = \frac{E}{\lambda V} (1 - \exp(-\lambda t))$$

de 0 à 8h durant la combustion

Avec :

$C_t$  : Concentration en polluant au cours du temps ( $mg/m^3$ )

$V$  : Volume de la pièce ( $m^3$ )

$\lambda$  : Taux de renouvellement d'air (/h)



## Annexe D : Impact de l'aération sur l'abattement de la concentration des polluants

E : Taux d'émission du polluant (mg/h)

t : Temps (h)

2. Le modèle présenté par Lin et al. (2004) :

Lin et al. en 2004 ont utilisé un autre modèle pour relier le taux de renouvellement d'une pièce et le taux d'abattement d'une concentration de polluants métalliques, émis par les fumées de spirales anti-moustiques.

L'équation qu'ils utilisent est la suivante :

$$C_t = \frac{G - (G - QC_0)e^{-\frac{Q(t-t_0)}{V}}}{Q}$$

Avec :

- $C_t$  = Concentration du polluant à un instant t
- $C_0$  = Concentration initiale
- G = Taux d'émission du polluant
- Q = Taux de ventilation de la pièce (ou taux de renouvellement en Volume de la pièce/h)
- t = Temps à l'instant t
- $t_0$  = Temps initial

Les auteurs ont ainsi calculé les concentrations estimées pour différents polluants métalliques et pour différents taux de renouvellement d'air, à l'aide de cette équation:

**Table 3.** Estimated maximum concentrations (ng/m<sup>3</sup>) of trace metals in a 60 m<sup>3</sup> room at AER = 0, 0.25, 0.5 and 1

	AER = 0	AER = 0.25	AER = 0.5	AER = 1
Cr	1788	1759	1730	1674
Mn	218.7	215	212	204.7
Co	16.0	15.7	15.5	14.98
Ni	698.7	687	676	654.1
Cd	13.55	13.3	13.1	12.68
Tl	2.773	2.73	2.68	2.596
Pb	229.3	226	222	214.7

Si on traduit ces concentrations en taux d'abattement en calculant le rapport entre la concentration pour un taux de renouvellement donné, et la concentration estimée pour un renouvellement d'air nul, on obtient les résultats rapportés sur la Figure 1.

## Annexe D : Impact de l'aération sur l'abattement de la concentration de polluants

La relation est linéaire ( $R^2=0,94$ ) et identique pour tous les polluants testés. L'augmentation du taux de renouvellement d'air favorise donc l'abattement de la concentration en polluants métalliques (coefficient directeur de  $-0,06$ ).

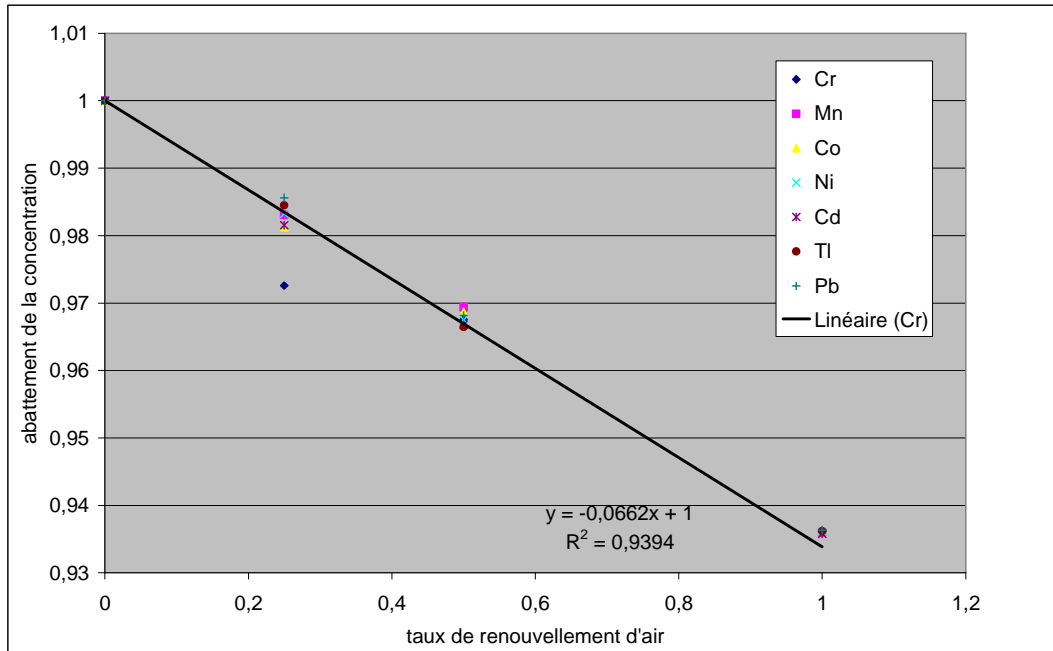


Figure 1 : Taux d'abattement en fonction du taux de renouvellement,  $Y = -0,064 \cdot X + 1$

En utilisant l'équation  $\text{tx abat} = -0,0662 \cdot \text{tx renouv} + 1$ , on obtient le tableau N°34 : pour les taux de renouvellement habituels des pièces d'une maison (0,25 à 0,5 Vpièce/h), les concentrations des polluants diminuent de 2 à 4%.

## Annexe D : Impact de l'aération sur l'abattement de la concentration des polluants

Tableau 34 : Résultats de la relation entre les taux de renouvellement d'air et les d'abattements de la concentration de métaux

tx renouvellement	tx abattement
0,00	1
0,25	0,98
0,5	0,97
1	0,93
2	0,9
4	0,76
6	0,52
10	0,4

L'abattement des concentrations en polluants métalliques calculées selon ce modèle est très faible. On retrouve, de plus, dans la littérature (Mager et al., 2000) que la relation entre la ventilation et la concentration des polluants est très faibles, et ceci pour d'autres polluants que les polluants métalliques. Or dans le cas du modèle proposé par l'AFSSET mais aussi par d'autres auteurs (.....) L'impact du taux de renouvellement de l'air est beaucoup plus important. Cela dépend sans doute du modèle et du polluant. L'incertitude persiste.

## Annexe E : Taux d'émission et concentrations des polluants émis par la combustion d'une spirale anti-moustiques

### Annexe E-1 : Etude de Lee et Wang, 2005

#### Conditions expérimentales :

- Etude de 5 spirales du Japon (J)
- Volume de la pièce = 18,26 m<sup>3</sup>
- Taux de renouvellement d'air = 0,5/h
- Durée de combustion = 1 h
- Humidité = 50 %

**Tableau 35 : Taux d'émission (en µg/h) des différents polluants mesurés dans l'étude de Lee et Wang en 2005**

Familles des polluants	Polluants	Taux d'émission en µg/h				
		J1	J2	J3	J4	J5
Composés carbonyles	Formaldehyde	3287	2283	2465	4200	4474
	Acetaldehyde	2739	3013	2374	2648	2830
	Acetone	639	365	402	1004	1187
	Acroléine	1826	1187	1096	183	383
	Propanaldehyde	1004	639	1461	639	676
	Crotonaldehyde	676	584	566	603	858
	Methacroléine	128	146	155	155	173
	Butyraldehyde	329	383	457	365	621
	Valeraldehyde	438	584	676	274	493
	M-Tolualdehyde	201	228	247	192	201
COV	Dichlorométhane ou chlorure de méthylène	526	1178	1004	993	1156
	cis-1,2-Dichloroethene	144	ND	221	203	340
	Chloroforme	73	77	ND	86	100
	1,2 dichloroéthane	24	20	ND	ND	ND
	Benzène	252	407	131	467	362
	Toluène	732	1609	139	159	323
	Xylènes totaux (m-, p-, o-Xylene)	51	113	ND	ND	22
	Ethylbenzène	80	150	ND	ND	ND
	Styrene	ND	ND	ND	ND	ND
Gaz	monoxyde de carbone	220000	196500	182600	150400	167200
	dioxyde d'azote	200	ND	ND	ND	ND

ND : Non Détecté

## Annexe E : Taux d'émission et concentrations des polluants émis par la combustion d'une spirale anti-moustiques

### Annexe E-2 : Etude de Liu et al., 2003

#### Conditions expérimentales :

- Etude de 2 spirales de Malaisie (M), et de 4 spirales de Chine (C)
- Volume de la pièce = 0,15 m<sup>3</sup>
- Flux entrant = 5,59 L/min
- Taux de renouvellement d'air = 2,24/h
- Durée de combustion = 8 h

**Tableau 36 : Taux d'émission (en µg/h) des différents polluants mesurés dans l'étude de Liu et al., 2003**

ND : Non Détecté

Familles des polluants	Polluants	Taux d'émission en µg/h					
		M1	M2	C1	C2	C3	C4
HAP	Benzo[a]pyrène	0,825	0,237	0,053	0,322	0,109	0,300
	Benzo[b]fluoranthène	ND	0,140	0,043	0,225	0,076	0,158
	Benzo[k]fluoranthène	ND	0,028	0,009	0,044	0,011	0,034
Composés carbonylés	Acétaldéhyde	2470	2760	1000	2310	1600	1660
	Acétone	1300	1480	462	1190	880	921
	Acrolein	1560,000	1220	165	399	85,2	200
	Propanaldehyde	852,000	813	239	507	270	280
	Crotonaldehyde	506,000	459	69	298	321	211
	2-Butanone	2000	ND	638	723	623	338
	Glyoxal	210	352	135	135	ND	51
	o-Tolualdehyde	272	209	110	ND	ND	ND
	4-Methyl-2-pentanone	590	1090	463	590	354	252
	Methylglyoxal	1200	1340	724	667	402	416
	Formaldehyde	7520	5660	2210	1430	454	1310

## Annexe E : Taux d'émission et concentrations des polluants émis par la combustion d'une spirale anti-moustiques

### Annexe E-3 : Etude de Lin et Shen, 2004

#### Conditions expérimentales :

- Etude de 3 spirales de Taïwan (T)
- Volume de la pièce = 60 cm<sup>3</sup>
- Taux de renouvellement d'air = 0/h
- Durée de combustion = 8 h

*Remarque : 7 mesures ont été réalisées lors de la combustion de spirales de 3 marques différentes.*

**Tableau 37 : Taux d'émission (en µg/h) des différents polluants mesurés dans l'étude de Lin et Shen, 2004**

		Taux d'émission en µg/h						
Familles des polluants	Polluants	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Métaux	Chrome	3,16	4,97	18,1	20,54	19,04	20,8	7,29
	Manganèse	0,65	0,21	1,24	3,73	0,46	4,78	0,41
	Cobalt	0,03	0,06	0,18	0,15	0,22	0,11	0,1
	Nickel	2,22	2,08	7,51	8,37	5,9	7,21	3,38
	Cadmium	0,11	0,05	0,05	ND	0,17	0,24	0,09
	Thallium	0,02	0,02	0,01	ND	0,03	0,05	0,01
	Plomb	1,12	0,45	0,8	1,44	3,26	3,66	1,34

ND : Non Détecté

## Annexe E : Taux d'émission et concentrations des polluants émis par la combustion d'une spirale anti-moustiques

### Annexe E-4 : Médianes et concentrations retenues pour établir le SCORE

**Tableau 38 : Médiane des différents taux d'émission, et conversion en concentration suivant de nouvelles conditions (durée de combustion, volume de la pièce, sans aération)**

étude	polluants	Médiane des taux démission (mg/h)
T.-S. Lin et F.-M. Shen	Chrome	0,0181
	Manganèse	0,000650
	Cobalt	0,000110
	Nickel	0,0059
	Cadmium	0,0001
	Thallium	0,00002
	Plomb	0,00134
Liu et al.	Benzo[a]pyrène	0,000268
	Benzo[b]fluoranthène	0,000140
	Benzo[k]fluoranthène	0,000028
	Acétaldéhyde	1,99
	Acétone	1,06
	Acroléine	0,300
	Propanaldéhyde	0,393
	Crotonaldéhyde	0,310
	2-butanone	0,638
	Glyoxal	0,135
	O-tolualdéhyde	0,209
	4-méthyl-2-pentanone	0,527
	Méthylglyoxal	0,700
	Formaldéhyde	1,82
S.C. Lee et B. Wang	Acétaldéhyde	2,74
	Acétone	0,639
	Acroléine	1,10
	Propanaldéhyde	0,680
	Crotonaldéhyde	0,603
	Formaldéhyde	3,29
	Méthacroléine	0,155
	Butyraldéhyde	0,383
	Valéraldéhyde	0,493
	M-tolualdéhyde	0,201
	Dichlorométhane	1,00
	cis-1,2-dichloroéthène	0,212
	Chloroforme	0,0815
	1,2-dichloroéthane	0,0220
	Benzène	0,362
	Toluène	0,323
	Xylène total	0,0510
	Éthylbenzène	0,115
	Styrène	Non Détecté
	Monoxyde de carbone	183
Dioxyde d'azote	0,200	

## Annexe F : Scores et hiérarchisation des polluants émis lors de la combustion d'une spirale anti-moustiques

**Tableau 39 : Classement des substances émises pour une exposition aiguë avec des effets à seuil, par scores décroissants**

Polluants	VTR aiguë effets à seuil mg/m <sup>3</sup>	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h de combustion dans 30m <sup>3</sup> avec un taux de renouvellement de 0,5	Score	Classement
Acroléine	0,0069	0,0200	2,84	1
Formaldéhyde	0,05	0,119	2,38	2
Monoxyde de carbone	10	12,0	1,20	3
Benzène	0,17	0,0237	0,139	4
Dichlorométhane	2,10	0,0657	0,0313	5
Chloroforme	0,488	0,00533	0,0109	6
Toluène	3,8	0,0211	0,00556	7
Acétone	69	0,0691	0,00100	8
Xylène total	4,35	0,00334	0,000767	9
Éthylbenzène	44	0,00753	0,000171	10

**Tableau 40 : Classement des substances émises pour une exposition chronique avec des effets à seuil, par scores décroissants**

Polluants	VTR chronique effets avec seuil mg/m <sup>3</sup>	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h de combustion dans 30m <sup>3</sup> avec un taux de renouvellement de 0,5	Score	Classement
Acroléine	0,00002	0,0196	980	1
Chrome particulaire	0,000008	0,0012	148	2
Acétaldéhyde	0,009	0,130	14,4	3
Formaldéhyde	0,010	0,119	11,9	4
Chrome aérosol	0,0001	0,00118	11,8	5
Nickel	0,00009	0,000386	4,29	6
Propanaldéhyde	0,008	0,0258	3,22	7
Manganèse	0,00004	4,25E-05	1,06	8
Benzène	0,030	0,0237	0,790	9
Toluène	0,030	0,0211	0,705	10
cis-1,2-dichloroéthène	0,030	0,0139	0,462	11
Cadmium	0,00002	6,54E-06	0,327	12
Cobalt	0,0001	7,2 E-06	0,072	13
Dichlorométhane	1,10	0,0657	0,0597	14
Chloroforme	0,0908	0,00533	0,0544	15
Xylène total	0,220	0,00334	0,0152	16
4-méthyl-2-pentanone	3,00	0,0345	0,0115	17
2-butanone	5,00	0,04175	0,00835	18
Éthylbenzène	1,00	0,00753	0,00753	19
1,2-dichloroéthane	0,400	0,00144	0,0036	20
Acétone	31,0	0,0691	0,00223	21



## Annexe E : Taux d'émission et concentrations des polluants émis par la combustion d'une spirale anti-moustiques

**Tableau 41 : Classement des polluants émis pour une exposition chronique avec des effets  
sans seuil, par scores décroissants**

Polluants	VTR chronique effets sans seuil mg/m <sup>3</sup>	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h de combustion dans 30m <sup>3</sup> avec un taux de renouvellement de 0,5	Score	Classement
Chrome aérosol	12,0	0,00118	0,0142	1
Chrome particulaire	12,0	0,00118	0,0142	2
Acétaldéhyde	0,0022	0,13	0,00029	3
Benzo[a]pyrène	8,7	0,00002	0,00015	4
Benzène	0,006	0,0237	0,000142	5
Chloroforme	0,023	0,00533	0,000123	6
Nickel	0,24	0,000386	9,27E-05	7
1,2-dichloroéthane	0,026	0,00144	3,74E-05	8
Dichlorométhane	0,00047	0,0657	3,09E-05	9
Éthylbenzène	0,0025	0,00753	1,88E-05	10
Cadmium	1,80	6,54E-06	1,18E-05	11
Plomb	0,012	8,77E-05	1,05E-06	12
Benzo[b]fluoranthène	0,11	9,16E-06	1,01E-06	13
Benzo[k]fluoranthène	0,11	1,83E-06	2,016E-07	14

## Annexe G : Scores et hiérarchisation des substances actives

Dans la littérature, aucun article ne renseignait sur des valeurs de concentrations des substances actives dans l'air suite à la combustion d'une spirale anti-moustiques. Les concentrations utilisées pour le score et la hiérarchisation ont alors été calculées en prenant en compte la teneur massique maximale des spirales respectivement en pyrèthre, alléthrine, methofluthrine, transfluthrine et pralléthrine (Tableau 31). Ainsi il a été décidé de considérer que l'intégralité de ces substances était émise sous forme particulaire inhalable. Par ailleurs, faute de données, les émissions sont considérées constantes au cours du temps, si bien que les concentrations pour l'exposition aiguë et l'exposition chronique sont les mêmes.

**Tableau 42 : Proportions des substances actives par rapport à la masse d'une spirale anti-moustiques**

Substances actives	% en poids dans une spirale	Sources
Pyrèthre	0,3 %	S. C. Chen <i>et al.</i> , 2008
Alléthrine	0,1 à 0,3 %	F. W. Mosha <i>et al.</i> , 1992 HH Yap <i>et al.</i> , 1990 Y. Katsuda <i>et al.</i> , 2008 A. Ramesh, A. Vijayalakshmi, 2001 S. Mulla <i>et al.</i> , 2001
Metofluthrine	0,005 %	K. Ujihara <i>et al.</i> , 2008
Transfluthrine	0,03 %	A. Ramesh, A. Vijayalakshmi, 2001 S. Mulla <i>et al.</i> , 2001
Pralléthrine	0,10 à 0,20 %	Y. Katsuda <i>et al.</i> , 2008 M. Narendra <i>et al.</i> , 2008

**Tableau 43 : Scores et classement des substances actives pour une exposition aiguë avec des effets à seuil**

Substances actives	VTR	Concentration aiguë (maximum) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une spirale de 12 g et une combustion de 8 h, dans une pièce de 30 $\text{m}^3$ sans ventilation	SCORE	Classement
	avec seuil			
	Aiguë $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Pralléthrine		800	0	
Pyrèthre	289	1200	4	2
Alléthrine	125	1200	10	1
Transfluthrine		120	0	
Metofluthrine		20	0	

## Annexe G : Scores et hiérarchisation des substances actives

Tableau 44 : Scores et classement des substances actives pour une exposition chronique avec des effets à seuil

Substances actives	VTR	Concentration chronique en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une spirale de 12g et une combustion de 8 h, dans une pièce de 30 $\text{m}^3$ sans ventilation	SCORE	Classement
	avec seuil			
	Chronique $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Pralléthrine	1,01	800	792	1
Pyrèthre	9,63	1200	125	2
Alléthrine	15	1200	80	3
Transfluthrine	36,6	120	3	4
Metofluthrine	99	20	0	5

## Annexe H: Quotients de danger et Excès de Risques Individuels des polluants émis

**Tableau 45 : Quotients de danger des polluants émis, pour une exposition aiguë avec des effets à seuil**

Polluants	VTR	Concentration (médiane) en mg/m <sup>3</sup> pour une combustion de 8 h dans une pièce de 30 m <sup>3</sup> avec 0,5 de taux de renouvellement d'air	QD
	avec seuil Aigüe (mg/m <sup>3</sup> )		
Acroléine	0,0069	0,0196	2,8
Formaldehyde	0,05	0,119	2,4
monoxyde de carbone	10	12	1,2

**Tableau 46 : Quotients de danger des polluants émis, pour une exposition chronique avec des effets à seuil**

Polluants	VTR	Concentration (médiane) en mg/m <sup>3</sup> pour une combustion de 8 h dans une pièce de 30 m <sup>3</sup> avec 0,5 de taux de renouvellement d'air	QD
	avec seuil Chronique (mg/m <sup>3</sup> )		Exposition de 8h/j pendant 7 mois par an, pendant la vie entière
Acroleine	0,00002	0,0196	191
Chrome sous forme particulaire	0,000008	0,0012	29
Acétaldéhyde	0,009	0,130	3

**Tableau 47 : Excès de Risques Individuels des polluants émis, pour une exposition chronique avec des effets sans seuil**

Polluants	VTR	Concentration (médiane) en mg/m <sup>3</sup> pour une combustion de 8 h dans une pièce de 30 m <sup>3</sup> avec 0,5 de taux de renouvellement d'air	ERI
	sans seuil  Chronique (mg/m <sup>3</sup> · <sup>-1</sup> )		Exposition de 8h/j pendant 7 mois par an pendant la vie entière
Chrome sous forme particulaire	12	0,00118	2,8E-03
Chrome sous forme gazeuse	12	0,00118	2,8E-03
Acétaldéhyde	0,0022	0,13	5,6E-05
Benzo[a]pyrène	8,7	0,00002	3,0E-05

## Annexe I : Analyse de sensibilité

### Annexe I-1 : Influence de la valeur des taux d'émission :

L'étude a été réalisée à partir des taux d'émission relevés dans la littérature. Pour chaque polluant le taux varie énormément en fonction de la publication et de la spirale anti-moustiques considérée.

L'analyse suivante permet d'estimer l'impact des variations du taux d'émission sur nos résultats.

En prenant le taux d'émission le plus bas mentionné dans la littérature :

Exposition aiguë pour des effets avec seuils	Minimum du taux d'émission (mg/h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h)
Acroléine	0,00520	0,000340	0,0493
Formaldéhyde	0,454	0,0297	0,594
Monoxyde de carbone	150	9,84	0,984

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Minimum du taux d'émission (mg/h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	0,00520	0,000340	3,31
Chrome part	0,00316	0,000207	5,03
Acétaldéhyde	1,00	0,0654	1,41

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Minimum du taux d'émission (mg/h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	ERI (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Chrome	0,00316	0,000207	4,83E-004
Chrome part	0,00316	0,000207	4,83E-004
Acétaldéhyde	1,00	0,0654	2,80E-005
Benzo[a]pyrène	0,00005	0,0000035	5,87E-006

Impact sanitaire	Minimum du taux d'émission (mg/h)	IS pour renouvellement de 0,5
Chrome	0,00316	887
Chrome part	0,00316	887
Acétaldéhyde	1,00	51,4
Benzo[a]pyrène	0,00005	10,8

**Tableau 48 Résultats de l'étude dans le cas du taux d'émission minimum.**

## Annexe I: Analyse de sensibilité

En prenant la médiane des taux d'émission trouvés dans la littérature :

Exposition aiguë pour des effets avec seuils	Médiane du taux d'émission (mg/h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h)
Acroléine	0,3	0,02	2,84
Formaldéhyde	1,82	0,119	2,38
Monoxyde de carbone	183	12	1,2

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Médiane du taux d'émission (mg/h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	0,3	0,0196	191
Chrome part	0,0181	0,00118	28,8
Acétaldéhyde	1,99	0,13	2,81

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Médiane du taux d'émission (mg/h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	ERI (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Chrome	0,0181	0,00118	2,76E-003
Chrome part	0,0181	0,00118	2,76E-003
Acétaldéhyde	1,99	0,13	5,56E-005
Benzo[a]pyrène	0,00027	0,0000176	2,97E-005

Impact sanitaire	Médiane du taux d'émission (mg/h)	IS pour renouvellement de 0,5
Chrome	0,0181	5078
Chrome part	0,0181	5078
Acétaldéhyde	1,99	102
Benzo[a]pyrène	0,00027	54,6

**Tableau 49 Résultats de l'étude dans le cas du taux d'émission médian.**

## Annexe I : Analyse de sensibilité

En prenant le taux d'émission le plus haut mentionné dans la littérature :

Exposition aiguë pour des effets avec seuils	Maximum du taux d'émission (mg/h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h)
Acroléine	1,83	0,1195037	17,319378
Formaldéhyde	7,52	0,4921511	9,843022
Monoxyde de carbone	220	14,3980373	1,439804

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Maximum du taux d'émission (mg/h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	1,83	0,112	1162
Chrome part	0,0208	0,00136	33,1
Acétaldéhyde	3,01	0,12	4,26

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Maximum du taux d'émission (mg/h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	ERI (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Chrome	0,0208	0,00136	3,18E-003
Chrome part	0,0208	0,00136	3,18E-003
Acétaldéhyde	3,01	0,12	8,44E-005
Benzo[a]pyrène	0,00083	0,0000540	9,13E-005

Impact sanitaire	Maximum du taux d'émission (mg/h)	IS pour renouvellement de 0,5
Chrome	0,0208	5835
Chrome part	0,0208	5835
Acétaldéhyde	3,01	155
Benzo[a]pyrène	0,00083	168

**Tableau 50 Résultats de l'étude dans le cas du taux d'émission maximal**

Remarque : dans le cas où le taux d'émission maximal est considéré, le classement des polluant change et le benzo[a]pyrène se place en troisième position avant l'acétaldéhyde. Il est possible que d'autres polluants qui n'étaient pas en tête de classement dans le cas des taux d'émission médian y soient désormais.

## Annexe I: Analyse de sensibilité

### Annexe I-2 : Influence de la durée d'exposition

La durée de combustion influence directement l'exposition et donc les résultats des calculs de risques.

Pour l'exposition aiguë occasionnant des effets avec seuils, c'est la durée de combustion qui peut jouer un rôle.

Pour une combustion durant 1h :

Exposition aiguë pour des effets avec seuils	Durée de combustion (h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 1h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (1h)
Acroléine	1	0,00786	1,14
Formaldéhyde	1	0,0477	0,955
Monoxyde de carbone	1	4,79	0,479

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Durée de combustion (h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 1h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (1h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	1	0,00786	76,4
Chrome part	1	0,000475	11,5
Acétaldéhyde	1	0,0522	1,12

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Durée de combustion (h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 1h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	ERI (1h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Chrome	1	0,000475	1,11E-003
Chrome part	1	0,000475	1,11E-003
Acétaldéhyde	1	0,0521	2,23E-005
Benzo[a]pyrène	1	0,000007	1,19E-005

Impact sanitaire	Durée de combustion (h)	IS pour renouvellement de 0,5
Chrome	1	2035
Chrome part	1	2035
Acétaldéhyde	1	40,9
Benzo[a]pyrène	1	21,9

**Tableau 51 Résultats de l'étude dans le cas d'une exposition aiguë de 1 heure.**



## Annexe I : Analyse de sensibilité

Pour une combustion durant 8h :

Exposition aiguë pour des effets avec seuils	Durée de combustion (h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h)
Acroléine	8	0,0196	2,84
Formaldéhyde	8	0,119	2,38
Monoxyde de carbone	8	12	1,2

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Durée de combustion (h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	8	0,0196	191
Chrome part	8	0,00119	28,8
Acétaldéhyde	8	0,13	2,81

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Durée de combustion (h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	ERI (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Chrome	8	0,00119	2,76E-003
Chrome part	8	0,00119	2,76E-003
Acétaldéhyde	8	0,13	5,56E-005
Benzo[a]pyrène	8	0,000018	2,97E-005

Impact sanitaire	Durée de combustion (h)	IS pour renouvellement de 0,5
Chrome	8	5078
Chrome part	8	5078
Acétaldéhyde	8	102
Benzo[a]pyrène	8	54,6

**Tableau 52 Résultats de l'étude dans le cas d'une exposition aiguë de 8 heures.**

## Annexe I : Analyse de sensibilité

Pour une combustion qui durerait 12h :

Exposition aiguë pour des effets avec seuils	Durée de combustion (h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 12h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (12h)
Acroléine	12	0,02	2,89
Formaldéhyde	12	0,121	2,42
Monoxyde de carbone	12	12,1	1,21

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Durée de combustion (h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 12h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (12h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	12	0,02	194
Chrome part	12	0,00120	29,3
Acétaldéhyde	12	0,132	2,85

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Durée de combustion (h)	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 12h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	ERI (12h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Chrome	12	0,00120	2,81E-003
Chrome part	12	0,00120	2,81E-003
Acétaldéhyde	12	0,132	5,65E-005
Benzo[a]pyrène	12	0,000018	3,02E-005

Impact sanitaire	Durée de combustion (h)	IS pour renouvellement de 0,5
Chrome	12	5160
Chrome part	12	5160
Acétaldéhyde	12	104
Benzo[a]pyrène	12	55,5

Tableau 53 Résultats de l'étude dans le cas d'une exposition aiguë de 12 heures.

## Annexe I : Analyse de sensibilité

Dans le cas de l'exposition chronique ce sont les durées d'exposition cumulées sur un an par exemple qui vont avoir une influence.

Si l'exposition est de 1h par jour, 4 mois par an pendant la vie entière soit 70 ans :

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Durée d'exposition	Concentration (mg/m3) pour 1h dans 30m3 avec renouvellement de 0,5	QD (1h/j pendant 4 mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	1h/j pendant 4mois par an pendant 70 ans	0,00786	5,46
Chrome part		0,000475	0,824
Acétaldéhyde		0,0521	0,0803

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Durée d'exposition	Concentration (mg/m3) pour 1h dans 30m3 avec renouvellement de 0,5	ERI (1h/j pendant 4mois par an pendant 70 ans)
Chrome	1h/j pendant 4mois par an pendant 70 ans	0,000475	0,000079
Chrome part		0,000475	0,000079
Acétaldéhyde		0,0521	0,000002
Benzo[a]pyrène		0,000007	0,000001

Impact sanitaire	Durée d'exposition	IS pour renouvellement de 0,5
Chrome	1h/j pendant 4mois par an pendant 70 ans	145
Chrome part		145
Acétaldéhyde		2,92
Benzo[a]pyrène		1,56

**Tableau 54 Résultats de l'étude dans le cas d'un scénario d'exposition de 1 heure par jour, 4 mois par an pendant la vie entière.**

## Annexe I : Analyse de sensibilité

**Pour une exposition de 8h par jour, 7 mois par an pendant une vie entière soit 70 ans :**

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Durée d'exposition	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans	0,0196	191
Chrome part		0,00119	28,8
Acétaldéhyde		0,13	2,81

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Durée d'exposition	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	ERI (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Chrome	8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans	0,00119	2,76E-003
Chrome part		0,00119	2,76E-003
Acétaldéhyde		0,13	5,56E-005
Benzo[a]pyrène		0,000018	2,97E-005

Impact sanitaire	Durée d'exposition	IS pour renouvellement de 0,5
Chrome	8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans	5078
Chrome part		5078
Acétaldéhyde		102
Benzo[a]pyrène		54,6

**Tableau 55 Résultats de l'étude dans le cas d'un scénario d'exposition de 8 heures par jour, 7 mois par an pendant la vie entière.**

## Annexe I : Analyse de sensibilité

Pour une exposition de 12 heures par jour, 10 mois par an pendant 70 ans:

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Durée d'exposition	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 12h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (12h/j pendant 10mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	12h/j pendant 10mois par an pendant 70 ans	0,00786	164
Chrome part		0,000475	24,7
Acétaldéhyde		0,0521	2,41

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Durée d'exposition	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 12h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	ERI (12h/j pendant 10mois par an pendant 70 ans)
Chrome	12h/j pendant 10mois par an pendant 70 ans	0,000475	0,00237
Chrome part		0,000475	0,00237
Acétaldéhyde		0,0521	0,000048
Benzo[a]pyrène		0,000007	0,000026

Impact sanitaire	Durée d'exposition	IS pour renouvellement de 0,5
Chrome	12h/j pendant 10mois par an pendant 70 ans	4361
Chrome part		4361
Acétaldéhyde		87,7
Benzo[a]pyrène		46,9

**Tableau 56 Résultats de l'étude dans le cas d'un scénario d'exposition de 12 heures par jour, 10 mois par an pendant la vie entière.**

## Annexe I : Analyse de sensibilité

### Annexe I-3 : Influence du taux de renouvellement de l'air.

Le taux de renouvellement de l'air impacte directement sur la concentration du polluant dans l'air intérieur.

Pour un taux de renouvellement très faible de 0,01 :

Exposition aiguë pour des effets avec seuils	Taux de renouvellement de l'air	Concentration (mg/m3) pour 8h dans 30m3 avec renouvellement de 0,01	QD (8h)
Acroléine	0,01	0,0768	11,1
Formaldéhyde	0,01	0,467	9,33
Monoxyde de carbone	0,01	46,8	4,68

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Taux de renouvellement de l'air	Concentration (mg/m3) pour 8h dans 30m3 avec renouvellement de 0,01	QD (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	0,01	0,0768	746
Chrome part	0,01	0,00464	113
Acétaldéhyde	0,01	0,509	11

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Taux de renouvellement de l'air	Concentration (mg/m3) pour 8h dans 30m3 avec renouvellement de 0,01	ERI (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Chrome	0,01	0,00464	0,0108
Chrome part	0,01	0,00464	0,0108
Acétaldéhyde	0,01	0,509	0,000218
Benzo[a]pyrène	0,01	0,000069	0,000116

Impact sanitaire	Taux de renouvellement de l'air	IS pour renouvellement de 0,01
Chrome	0,01	19884
Chrome part	0,01	19884
Acétaldéhyde	0,01	400
Benzo[a]pyrène	0,01	214

**Tableau 57 Résultats de l'étude pour un taux de renouvellement de l'air de 0,01.**

## Annexe I : Analyse de sensibilité

Pour un taux de renouvellement moyen de 0,5 :

Exposition aiguë pour des effets avec seuils	Taux de renouvellement de l'air	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h)
Acroléine	0,5	0,0196	2,84
Formaldéhyde	0,5	0,119	2,38
Monoxyde de carbone	0,5	12	1,2

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Taux de renouvellement de l'air	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	0,5	0,0196	191
Chrome part	0,5	0,00119	28,8
Acétaldéhyde	0,5	0,1299103	2,81

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Taux de renouvellement de l'air	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	ERI (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Chrome	0,5	0,00119	0,00276
Chrome part	0,5	0,00119	0,00276
Acétaldéhyde	0,5	0,13	0,000056
Benzo[a]pyrène	0,5	0,000018	0,000030

Impact sanitaire	Taux de renouvellement de l'air	IS pour renouvellement de 0,5
Chrome	0,5	5078
Chrome part	0,5	5078
Acétaldéhyde	0,5	102
Benzo[a]pyrène	0,5	54,6

**Tableau 58 Résultats de l'étude pour un taux de renouvellement de l'air de 0,5.**

## Annexe I : Analyse de sensibilité

Pour un taux de renouvellement d'air élevé de 4 :

Exposition aiguë pour des effets avec seuils	Taux de renouvellement de l'air	Concentration (mg/m3) pour 8h dans 30m3 avec renouvellement de 4	QD (8h)
Acroléine	4	0,0025	0,362
Formaldéhyde	4	0,0152	0,303
Monoxyde de carbone	4	1,52	0,152

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Taux de renouvellement de l'air	Concentration (mg/m3) pour 8h dans 30m3 avec renouvellement de 4	QD (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	4	0,0025	24,3
Chrome part	4	0,000151	3,67
Acétaldéhyde	4	0,0165	0,357

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Taux de renouvellement de l'air	Concentration (mg/m3) pour 8h dans 30m3 avec renouvellement de 4	ERI (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Chrome	4	0,000151	0,000352
Chrome part	4	0,000151	0,000352
Acétaldéhyde	4	0,0165	0,000007
Benzo[a]pyrène	4	0,000002	0,000004

Impact sanitaire	Taux de renouvellement de l'air	IS pour renouvellement de 4
Chrome	4	647
Chrome part	4	647
Acétaldéhyde	4	13
Benzo[a]pyrène	4	6,95

Tableau 59 Résultats de l'étude pour un taux de renouvellement de l'air de 4.



## Annexe I : Analyse de sensibilité

### Annexe I-4 : Influence du volume de la pièce.

Le volume de la pièce influence directement la concentration des polluants dans l'air intérieur.

Pour une petite pièce de 15m<sup>3</sup> :

Exposition aiguë pour des effets avec seuils	Volume de la pièce (m <sup>3</sup> )	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 15m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h)
Acroléine	15	0,0392	5,68
Formaldéhyde	15	0,238	4,76
Monoxyde de carbone	15	23,9	2,39

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Volume de la pièce (m <sup>3</sup> )	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 15m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	15	0,0392	381
Chrome part	15	0,00237	57,6
Acétaldéhyde	15	0,26	5,61

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Volume de la pièce (m <sup>3</sup> )	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 15m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	ERI (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Chrome	15	0,00237	5,53E-003
Chrome part	15	0,00237	5,53E-003
Acétaldéhyde	15	0,26	1,11E-004
Benzo[a]pyrène	15	0,00004	5,95E-005

Impact sanitaire	Volume de la pièce (m <sup>3</sup> )	IS pour renouvellement de 0,5
Chrome	15	10156
Chrome part	15	10156
Acétaldéhyde	15	204
Benzo[a]pyrène	15	109

**Tableau 60 Résultats de l'étude pour une pièce de 15m<sup>3</sup>.**

## Annexe I : Analyse de sensibilité

Pour une pièce moyenne de 30m<sup>3</sup> :

Exposition aiguë pour des effets avec seuils	Volume de la pièce (m <sup>3</sup> )	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h)
Acroléine	30	0,0196	2,84
Formaldéhyde	30	0,119	2,38
Monoxyde de carbone	30	12	1,2

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Volume de la pièce (m <sup>3</sup> )	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	30	0,0196	190,6
Chrome part	30	0,00118	28,8
Acétaldéhyde	30	0,13	2,81

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Volume de la pièce (m <sup>3</sup> )	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 30m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	ERI (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Chrome	30	0,00118	2,76E-003
Chrome part	30	0,00118	2,76E-003
Acétaldéhyde	30	0,13	5,56E-005
Benzo[a]pyrène	30	0,00002	2,97E-005

Impact sanitaire	Volume de la pièce (m <sup>3</sup> )	IS pour renouvellement de 0,5
Chrome	30	5078
Chrome part	30	5078
Acétaldéhyde	30	102
Benzo[a]pyrène	30	54,6

**Tableau 61 Résultats de l'étude pour une pièce de 30m<sup>3</sup>**

## Annexe I : Analyse de sensibilité

Pour une très grande pièce de 60m<sup>3</sup> :

Exposition aiguë pour des effets avec seuils	Volume de la pièce (m <sup>3</sup> )	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 60m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h)
Acroléine	60	0,00980	1,42
Formaldéhyde	60	0,06	1,19
Monoxyde de carbone	60	5,98	0,6

Exposition chronique pour des effets avec seuils	Volume de la pièce (m <sup>3</sup> )	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 60m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	QD (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Acroléine	60	0,00980	95,3
Chrome part	60	0,00059	14,4
Acétaldéhyde	60	0,065	1,40

Exposition chronique pour des effets sans seuils	Volume de la pièce (m <sup>3</sup> )	Concentration (mg/m <sup>3</sup> ) pour 8h dans 60m <sup>3</sup> avec renouvellement de 0,5	ERI (8h/j pendant 7mois par an pendant 70 ans)
Chrome	60	0,00059	1,38E-003
Chrome part	60	0,00059	1,38E-003
Acétaldéhyde	60	0,065	2,78E-005
Benzo[a]pyrène	60	0,00001	1,49E-005

Impact sanitaire	Volume de la pièce (m <sup>3</sup> )	IS pour renouvellement de 0,5
Chrome	60	2539
Chrome part	60	2539
Acétaldéhyde	60	51,0
Benzo[a]pyrène	60	27,3

**Tableau 62 Résultats de l'étude pour une pièce de 60m<sup>3</sup>**

## Annexe J : Protocole expérimental

### Objectifs :

Le protocole suivant devra :

- permettre de qualifier et de quantifier toutes les substances émises par la combustion complète des spirales anti-moustiques. Il pourra aussi décrire l'évolution de ces concentrations dans le temps.
- mettre en évidence la pertinence du risque ingestion des substances contenues dans les poussières du sol.
- évaluer et quantifier l'efficacité d'une ventilation sur des concentrations des polluants.

### Principe des analyses :

Les mesures porteront sur une combustion de 8h d'une spirale anti-moustiques dans une pièce de 30m<sup>3</sup> de volume. Elles seront réalisées sur les principales marques de spirales disponibles dans le commerce français (principalement dans les DROM-COM). Plusieurs variétés de spirales ainsi qu'une mesure du bruit de fond (témoin) seront donc à tester successivement pour toutes les expérimentations. Il conviendra de faire varier le taux de renouvellement d'air (de 0 à 0,5 volume renouvelé/h pour représenter des VMC, jusqu'à des valeurs proches de 8 pour simuler des ouvertures (fenêtre, porte...)).

Le nombre de spirales ainsi que le nombre de taux de renouvellement à tester restent à définir.

Les mesures seront à réaliser à des pas de temps les plus réduits possibles (contraintes techniques et financières) pour observer au mieux les évolutions de concentrations des polluants dans l'air.

### Collecte, identification et quantification des substances en fonction de leurs propriétés physico-chimiques

Les substances à identifier, suspectées ou avérées, se distinguent par leurs propriétés physico-chimiques : il s'agit en effet :

- de composés volatils qui se trouveront sous la forme de vapeur dans l'air ambiant : les COV, les composés carbonylés.
- de composés semi-volatils qui se trouveront à la fois sous la forme de vapeur dans l'air ambiant ainsi qu'adsorbés sur les poussières et particules en suspension dans l'air ou déposées sur le sol (la proportion en phase gazeuse / quantité adsorbée dépend de leur pression de vapeur) : les HAP

## **Annexe J : Protocole expérimental**

- De composés non volatiles qui seront supportés sur des poussières et des particules, en suspension dans l'air ou déposées sur le sol : les métaux et les substances actives (pyréthrinoïdes)

Il faut par conséquent mettre en œuvre pour chacune d'elles une méthode de collecte et une technique d'analyse appropriées.

- Les COV : ils s'analysent en même temps, par GC/MS et le pas de collecte peut-être très faible dans la mesure où le seuil analytique est très bas.
- Les composés carbonylés : la technique d'analyse requiert un pas de collecte plus important que pour les COV, en raison de l'injection d'une fraction du prélèvement.
- Particules : les particules se récupèrent à partir de filtres.
- Poussières : les poussières nécessitent des temps longs (>>8h) pour pouvoir amasser suffisamment de matière (>0,5g).
- HAP et substances actives : les HAP et les substances actives mesurées dans l'air, par GC/MS, ainsi que suite à une extraction des poussières et particules, par HPLC/MS.
- Métaux : les techniques analytiques sont performantes et permettent de mesurer sans difficulté les métaux que ce soit dans l'air (récupération sur filtre) ou dans les poussières, par ICP/MS.

### **Conditions d'expérimentation :**

Les mesures seront effectuées à environ 80 centimètres du sol, au niveau de l'oreiller, pour considérer le risque inhalation au cours d'une nuit (exposition continue sur 8h). Des prélèvements par lingettes sur les surfaces accessibles seront effectués pour considérer le risque ingestion des poussières par les enfants.

Des mesures seront à effectuer après la fin de la combustion. Elles devront permettre d'observer des remontées partielles des concentrations des polluants à cause de leur remobilisation à partir du sol ou des murs. Ces mesures seront surtout pertinentes pour des ventilations faibles et représenteront des utilisations de spirales espacées dans le temps.

Enfin il est recommandé d'effectuer en premier lieu des analyses à partir d'un volume réduit (<1m<sup>3</sup>) ce qui concentre les polluants. Cela permettra d'identifier les substances (notamment les plus difficiles à observer pour des faibles concentrations) et de faire un premier tri sur les plus pertinentes à suivre pour la suite des expérimentations.

Manon ANTOINE, Laure BELIN, Julien CHEVE, Gautier JUE, Florent  
TESSIER, Lucie TOME

2 avril 2009

## Ingénieur du Génie Sanitaire

Promotion 2009

Evaluation des risques liés à l'utilisation des spirales anti-moustiques dans l'habitat intérieur

**Résumé** : Dans les pays où le moustique est un fléau, l'utilisation de serpentins fumigènes constitue un moyen de défense contre les piqûres pouvant transmettre des maladies infectieuses. Cependant, l'utilisation de ces spirales anti-moustiques peut induire un effet sur la santé d'autant plus si elles sont allumées en air intérieur. Des études asiatiques ont déjà caractérisé les émissions des tortillons et il en ressort que les substances détectées sont nombreuses et variées : COV, HAP, métaux, composés carbonylés, substances actives, résidus de combustion. Tous ces produits peuvent induire des problèmes de santé à court ou long terme. Une évaluation quantitative des risques sanitaires a donc été menée afin d'identifier les dangers potentiels liés à l'inhalation ainsi que leur niveau de risque. Deux cas d'exposition ont été envisagés : une exposition aiguë et une exposition chronique. Après avoir hiérarchisé les substances en distinguant les expositions et les effets avec ou sans seuil et discuté de la sensibilité des résultats, un risque clairement inacceptable a été mis en évidence. Des pistes d'approfondissement de cette étude ont été explorées dans le but de lever la plupart des doutes rencontrés et de conclure sereinement quant à la recommandation de ne pas utiliser de spirale anti-moustiques à l'intérieur des habitations.

In the mosquito-invaded countries, one of the way to fight against bites is to burn mosquito coils. However, using coils indoor might be a health concern. Asian studies already did characterization of the emission of mosquito coils and it is shown that there is numerous and different substances: VOCs, PAHs, metals, carbonyl compounds, active substances, combustion residues. All of these compounds could induce health concerns in short or long term. So a quantitative health risk assessment was driven in order to identify potential inhalation dangers and their risk levels. Two cases of exposition were considered: acute and chronic. After an organization of the substances by expositions and effects with or without step and a discussion about the sensibility of the results, a clear unacceptable risk was highlighted. Some improvements were proposed in order to dispel doubts and to advise against burning mosquito coils indoor.

### **Mots clés :**

- Spirale anti-moustiques, pollution de l'air intérieur, évaluation des risques sanitaires, COV, HAP, composés carbonylés, métaux, inhalation
- Mosquito coils, indoor air pollution, health risk assessment, VOCs, PAHs, carbonyl compounds, metals, inhalation

*L'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les mémoires : ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.*