

RAPPORT
N° INERIS-DRC-11-115731-06669B-

22/11/2011

**Deuxième rapport préliminaire en vue de
l'étiquetage des produits de grande
consommation**

**Classement des bougies et des encens en
fonction des émissions de composés
organiques volatils et de particules dans l'air
intérieur**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Deuxième rapport préliminaire en vue de l'étiquetage des produits de grande consommation

Classement des bougies et des encens en fonction des émissions de composés organiques volatils et de particules dans l'air intérieur

Client : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement.

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Vincent GRAMMONT

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Étant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur. Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Juliette LARBRE	Céline BOUDET	Martine RAMEL
Qualité	Ingénieur de recherche unité Impact Sanitaire et Expositions	Responsable unité Impact Sanitaire et Expositions	Responsable du pôle Risque et Technologies durables
Visa	<i>p.o.</i> 		

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	9
1.1 Contexte.....	9
1.2 Objectifs	9
1.3 Méthode	9
2. COMPOSITION DES BOUGIES ET DES ENCENS	10
2.1 Bougies	10
2.1.1 La mèche.....	10
2.1.2 La cire.....	10
2.2 Les encens.....	11
2.3 Norme de qualité.....	12
3. CLASSEMENT DES BOUGIES ET DES ENCENS PAR EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE	13
3.1 Caractérisation des émissions	13
3.1.1 Les bougies	13
3.1.2 Les encens	20
3.1.3 Taux d'émission retenus.....	27
3.2 Identification des dangers et des relations dose-réponse disponibles	31
3.2.1 Les PM _{2,5} et PM ₁₀	31
3.2.2 Le benzène (CAS n° 71-43-2)	32
3.2.3 Le toluène (CAS n° 108-88-3)	33
3.2.4 L'éthylbenzène (CAS n° 100-41-4)	35
3.2.5 Le styrène (CAS n° 100-42-5).....	36
3.2.6 Les xylènes (m-, o-, p-) (CAS n° 1330-20-7)	37
3.2.7 Le formaldéhyde (CAS n° 50-00-0)	39
3.2.8 L'acétaldéhyde (CAS n° 75-07-0)	40
3.2.9 L'acroléine (CAS n° 107-02-8)	41
3.2.10 L'anthracène (CAS n° 120-12-7)	42
3.2.11 Le benzo[a]anthracène (CAS n° 56-55-3)	43
3.2.12 Le benzo[a]pyrène (CAS n° 50-32-8)	44
3.2.13 Le chrysène (CAS n° 218-01-9)	45
3.2.14 Le fluoranthène (CAS n° 206-44-0).....	46
3.2.15 Le fluorène (CAS n° 86-73-7).....	47
3.2.16 Le naphthalène (CAS n° 91-20-3)	47
3.2.17 Le phénanthrène (CAS n° 85-01-8).....	49
3.2.18 Le pyrène (CAS n° 129-00-0).....	50
3.2.19 Le phénol (CAS n° 108-95-2)	51
3.2.20 Le monoxyde de carbone (CAS n° 630-08-0).....	52
3.2.21 .. Les oxydes d'azote (Dioxyde d'azote : CAS n° 10102-44-0 et Monoxyde d'azote : CAS N° 10102-43-9)	53
3.2.2 Récapitulatif.....	54
3.3 Caractérisation de l'exposition	56
3.3.1 Modèle de dispersion.....	56
3.3.2 Voies d'exposition – schéma conceptuel	58
3.3.3 Paramètres d'exposition	58
3.3.4 Scénarios d'exposition.....	59
3.4 Évaluation du risque dans un objectif de classification	60

3.4.1	Caractérisation du risque pour les bougies.....	62
3.4.2	Caractérisation du risque pour les encens.....	66
4.	ANALYSE DES RESULTATS	68
5.	CONCLUSION	70
6.	REFERENCES.....	72
7.	Liste des Annexes	74

RESUME

En 2010, l'INERIS a rédigé un premier rapport préliminaire en vue de l'étiquetage des produits de consommation, qui traitait des émissions de COV de certains désodorisants d'intérieur et de liquides de nettoyage multi-usage. Afin de compléter les connaissances sur les émissions des produits de consommation, le présent rapport s'intéresse aux émissions des bougies et des encens de la combustion dans l'air intérieur. Ce travail doit permettre de fournir, au Ministère en charge de l'Écologie, des éléments en vue de l'étiquetage de ces produits.

L'étude présentée dans ce rapport comporte deux volets. Une première étape de synthèse bibliographique récente sur les émissions des bougies et des encens, tant du point de vue des émissions de composés volatils que des émissions particulières. En effet, ces produits nécessitent une combustion dans leur usage, source d'émission de particules ou de composés spécifiques.

Pour les bougies, la recherche a été limitée aux projets français ou européens, les parfums et les cires étant assez spécifiques à chaque pays. En ce qui concerne les encens, aucune limite géographique n'a été fixée, la majeure partie étant fabriquée dans les pays asiatiques.

La recherche bibliographique a mis en avant un grand nombre d'articles ou de projets relatifs aux émissions des bougies et des encens. Cette base de données a permis de sélectionner les études (qualité du mode opératoire, nombre de produits testés...) et d'extraire ainsi les taux d'émission en µg/heure.

La deuxième étape du travail consiste à mettre en avant les substances toxiques pour l'Homme majoritairement émises par les bougies et les encens afin de pouvoir classer et étiqueter ces produits, conformément aux attentes du Grenelle de l'Environnement. Ce classement est réalisé en appliquant la méthodologie de l'évaluation de risque sanitaire (ERS).

L'ensemble des composés fréquemment cités, et pour lesquels les données sont disponibles, a été intégré dans l'ERS. Plusieurs scénarios d'exposition ont été appliqués en faisant varier les facteurs d'émission pris en compte et les fréquences d'usage issues d'une enquête du CREDOC réalisée en 2009. Les concentrations dans l'air ont été calculées à partir de ces scénarios et d'un modèle simple monozone de dispersion des polluants.

À partir de ces données, des indicateurs de risque ont été calculés pour chaque composé en tenant compte des substances à seuil d'effet et des substances sans seuil d'effet (risque cancérigène). Les indicateurs de risque obtenus sont construits sur de nombreuses hypothèses et sur une modélisation des concentrations dans l'air ; les scénarios d'usage sont incertains. Les indicateurs doivent donc être utilisés avec précaution, uniquement pour hiérarchiser les substances dans l'objectif de fournir un référentiel pour l'étiquetage. Les indicateurs ne doivent donc pas être utilisés comme des « valeurs absolues » du risque « réel » encouru.

Il ressort de cette étude que les encens sont beaucoup plus émissifs que les bougies et que leur utilisation semble présenter des risques même dans le cas d'un usage mensuel.

Pour les **bougies**, l'étiquetage pourrait être basé sur la caractérisation des émissions des substances candidates suivantes : l'**acroléine**, les **particules** et le **formaldéhyde**.

Pour les **encens**, l'étiquetage pourrait être basé sur : les **particules**, l'acroléine, le **benzène**, l'**éthylbenzène**, le **formaldéhyde**, l'**acétaldéhyde** et le **naphtalène**.

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

Dans le cadre de l'application des lois issues du Grenelle de l'environnement, plusieurs actions ont été ou sont mises en œuvre afin de réduire l'exposition des populations à la pollution de l'air intérieur.

Récemment, le Décret n° 2011-321 du 23 mars 2011 relatif à l'étiquetage des produits de construction ou de revêtement de mur ou de sol et des peintures et vernis sur leurs émissions de polluants volatils, a été publié. Cet étiquetage doit permettre d'informer les usagers sur les émissions des produits qu'ils achètent et de mettre ainsi les industriels en concurrence tout en favorisant l'émergence de matériaux moins émissifs.

En 2010, l'INERIS a rédigé un premier rapport préliminaire en vue de l'étiquetage des produits de consommation, faisant suite aux travaux sur les matériaux évoqués ci-dessus (INERIS, 2010). Ce rapport traite des émissions de COV de certains désodorisants d'intérieur et de liquides de nettoyage multi-usage.

Afin de poursuivre les travaux et de continuer dans la perspective de réduire l'ensemble des émissions dans l'air intérieur, le MEDDTL a sollicité l'INERIS sur les émissions issues des bougies et des encens. En effet, ces produits sont présents dans nos environnements intérieurs et sont de plus en plus vendus, notamment dans le cadre de l'aromathérapie.

1.2 OBJECTIFS

L'objet de cette étude est de compléter le référentiel de classification des produits de consommation en vue de l'étiquetage des émissions de ces produits.

Dans ce deuxième rapport, seuls les bougies et les encens sont étudiés avec, dans un premier temps, une synthèse bibliographique des données disponibles. A l'issue de l'analyse des données recueillies, l'objectif est d'identifier les substances « candidates » dont l'émission est susceptible d'être caractérisée pour leur étiquetage. L'objectif premier étant in fine de réduire l'exposition des populations à la pollution de l'air intérieur pour protéger leur santé. Dans ce cadre, une démarche d'évaluation du risque est appliquée.

1.3 METHODE

La recherche bibliographique est menée en utilisant les mots clés « incense » et « candle » au sein de la base de données RSEIN, contenant 5700 références dédiées à l'air intérieur. Au final, 56 articles datant de 1997 à 2011 ont été extraits. L'étude du Bureau Européen de l'Union des Consommateurs (BEUC, 2006) a de nouveau été consultée (INERIS, 2010) ainsi qu'une étude danoise sur l'émission des produits de consommation spécifique aux encens (DEPA, 2004).

En 2004, un projet financé par PRIMEQUAL/PREDIT et piloté par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) a été mené sur la caractérisation des émissions particulières des activités domestiques (Caractérisation physico-chimique et étude du transport des particules dans les locaux, Convention

Primequal 22-F/2004). Dans ce projet [Ramalho et al., 2007], bougies et encens ont été étudiés.

Des contacts ont également été pris avec des industriels soucieux de cette problématique et ayant réalisé des tests sur leurs produits.

Ensuite, la recherche des substances représentatives des émissions est réalisée en se basant sur la méthode de l'évaluation des risques sanitaires, selon la méthodologie en application à l'INERIS basée sur le guide INERIS (INERIS, 2003) et sur le guide de l'INVS (INVS, 2000), à savoir :

- Identification des sources et des émissions ;
- Identification des dangers ;
- Évaluation des expositions ;
- Caractérisation du risque.

2. COMPOSITION DES BOUGIES ET DES ENCENS

2.1 BOUGIES

Les bougies sont formées de deux éléments principaux : le corps de la bougie (la cire) et la mèche.

2.1.1 LA MECHE

La mèche joue un rôle très important dans la combustion de la cire, dans la forme et la qualité de la flamme.

La combustion d'une bougie est un système auto-entretenu. Lorsque la mèche est allumée, la chaleur fait fondre la cire à proximité. Celle-ci, une fois liquéfiée, monte par capillarité dans la mèche et libère de l'oxygène qui entretient la flamme lors de sa combustion. La taille de la mèche et donc de la flamme doit tenir compte de la taille de la bougie et de la vitesse à laquelle on souhaite que la bougie se consume.

Lors d'une combustion de qualité, la mèche doit être légèrement courbe, former une flamme conique bien droite n'émettant pas de fumée noire. La flamme doit être adaptée à la forme de la bougie pour permettre une combustion progressive et homogène de la cire : pas de formation de tunnel au centre de la bougie, pas de coulure à l'extérieur de la bougie... Les mèches de bougie sont généralement imprégnées d'un produit résistant au feu afin de se consumer progressivement sans que des morceaux de mèche ne tombent dans la cire liquide.

Les mèches de bougie sont fabriquées à partir de coton tressé. Certaines mèches contiennent un cœur afin d'être plus rigide. Autrefois en plomb, le cœur est désormais soit en zinc, soit en papier, soit en fibre synthétique.

2.1.2 LA CIRE

Il existe trois grands types de cire à bougie : les cires animales, les cires minérales et les cires végétales.

Aujourd'hui, il existe deux types de cire issus du monde animal : la cire d'abeille et en Chine, une cire issue de la culture d'un insecte (*Ericerus pe-la*). La majeure partie des bougies fabriquées en Chine le sont à partir de cette cire.

Selon le label européen décrit dans le paragraphe 2.3, une bougie ne peut avoir la mention « à la cire d'abeille » que si celle-ci ne contient aucun autre additif. La présence de parfum ou de colorant doit être explicitement indiquée.

Les cires minérales ont envahi le marché avec l'apparition de la paraffine dans les années 1980. Il s'agit d'hydrocarbures aliphatiques saturés avec des chaînes de C16 à C50. Ces hydrocarbures sont solides à température ambiante, avec des points de fusion entre 50 et 57 °C. Les cires microcristallines, également issues du pétrole, ont un poids moléculaire et un point de fusion plus élevés. Elles sont souvent utilisées sur la face externe des bougies pour donner des effets décoratifs à la bougie.

Les cires végétales sont quant à elles arrivées sur le marché avec la demande des consommateurs de cires « plus naturelles » que la paraffine issue du pétrole. La cire de soja est la principale cire végétale, très répandue aux États-Unis. L'avantage de ces cires, excepté leur origine naturelle, est qu'elles n'émettent pas de suie lors de leur combustion. On trouve également sur le marché des cires issues de palmier (plusieurs espèces possibles).

Certains additifs peuvent être ajoutés à la composition de la cire.

L'acide stéarique est souvent ajouté à la paraffine soit pour prolonger le temps de vie de la bougie (point de fusion plus élevé) soit pour durcir la bougie.

Enfin, les bougies étant actuellement utilisées comme objet décoratif et odorant et non plus comme source de lumière dans la maison, elles sont très souvent colorées et parfumées.

Les colorants sont ajoutés en très petite quantité dans la cire soit sous forme de poudre soit sous forme liquide, et forment une suspension dans la cire.

Les parfums, ou huiles parfumées, sont quant à eux ajoutés dans la proportion de 3 à 5 % en masse de la bougie. Lorsque les bougies sont parfumées, il est nécessaire pour incorporer le parfum d'utiliser des polymères permettant de lier les huiles parfumées à la cire.

Il existe aujourd'hui sur le marché des bougies à base de gel dans un contenant. Ce gel est en fait de l'huile de paraffine liquide associée à un polymère pour la durcir (environ 95 % de paraffine liquide). Le gel de bougie se consume beaucoup plus lentement que la paraffine et la température est plus importante.

2.2 LES ENCENS

Les encens sont quant à eux fabriqués à partir de broyat de végétaux : écorce d'arbres odorants, fleurs ou résine issue des végétaux. Ces parties végétales sont réduites en poudre et forment soit des cônes, soit des bâtons avec ou sans tige de bois au centre (bambou ou bois de santal). La poudre végétale est agglomérée ou fixée sur le bâton avec un mélange eau /gomme arabique.

Il est très difficile de connaître la composition exacte de l'encens qui comprend souvent un très grand nombre de substances.

2.3 NORME DE QUALITE

Il existe en Europe un label de Qualité pour la fabrication des bougies : RAL-GZ 041. Ce label comprend quatre parties :

- Une partie générale d'assurance qualité pour les bougies, RAL-GZ 041;
- Une partie spécifique aux bougies d'intérieur, bougies coniques, bougies piliers, chandelles ou autres, RAL-GZ 041/1 ;
- Une partie spécifique aux bougies chauffe-plat, RAL-GZ 041/2 ;
- Une partie spécifique aux lanternes, RAL-GZ 041/3.

Pour les bougies d'intérieur, le RAL-GZ 041/1 précise les points à vérifier pour s'assurer de la qualité des bougies :

- Observation visuelle de la bougie ;
- Comportement de la flamme lors de la combustion : forme de la flamme, forme de la mèche, extinction de la mèche après soufflage de la bougie ;
- Les tests doivent être répétés plusieurs fois lors de différents cycles de combustion.

L'annexe du document spécifie les qualités requises pour la composition des cires et des additifs.

3. CLASSEMENT DES BOUGIES ET DES ENCENS PAR EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE

3.1 CARACTERISATION DES EMISSIONS

Contrairement à la méthode qui avait été employée dans le rapport sur les émissions de COV des produits de consommation (désodorisants et liquide de nettoyage), les logiciels Consexpo® et le logiciel Targeted Risk Assessment® de l'ECETOC (European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals) ne peuvent être utilisés dans cette étude, les phénomènes de combustion n'étant pas pris en compte (INERIS, 2010).

La méthode adoptée consiste donc à recenser, dans les études bibliographiques sélectionnées, les taux d'émission en COV et en particules des bougies et des encens.

Pour les particules et pour les composés retenus au final comme traceurs des émissions, un modèle de calcul de la concentration en fonction du temps est utilisé afin de déterminer la concentration moyenne d'exposition sur un temps donné.

3.1.1 LES BOUGIES

a) Les particules

Le rapport Primequal du CSTB rend compte d'un grand nombre de données sur les émissions des bougies avec et sans parfums [Ramalho et al., 2007]. Les essais ont été réalisés dans une enceinte de 2,36 m³, très fortement ventilée (taux de renouvellement d'air (TRA) = 45 h⁻¹, soit un débit de 107 m³/h). Pour chaque test réalisé, une seule bougie a été étudiée et a brûlé pendant 15 minutes avant d'être éteinte par un mouvement d'air :

- Bougies blanches : composées de paraffine pure, bougies bâton de 15 cm de haut, de fabrication chinoise ;
- Bougie parfumée : cire contenant de 1 à 5 % de parfum, contenue dans un bol en verre, de fabrication hollandaise.

La composition des mèches de bougie n'est pas renseignée.

Lors de la combustion des bougies, les résultats obtenus dans cette étude montrent que le diamètre moyen des particules émises est autour de 10 nm. Les taux d'émission de ces particules sont respectivement en moyenne de 6,05.10⁹ et de 2,38.10¹⁰ particules par seconde pour les bougies blanches et les bougies parfumées.

En ce qui concerne la mesure des concentrations en masse dans l'air de la chambre d'essai, les tests ont été réalisés pour la mesure des PM₁ et des PM_{1-2,5} (notées PM_{2,5}), des PM_{2,5-10} (notées PM₁₀) et des PM_{>10}. Les résultats sont présentés dans le Tableau 1 pour les PM_{2,5} et les PM₁₀.

Tableau 1 : Concentration en masse ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) des différentes fractions particulaires dans l'air de la chambre d'essai pour les bougies testées pendant 15 min [Ramalho et al., 2007.]

	PM _{2,5} $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM ₁₀ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Bougie blanche	2,6	4,6
Bougie blanche 2	21,8	24,1
Bougie parfumée	11,7	13,2

A l'aide de ces données et des caractéristiques de la chambre d'expérimentation, il est ainsi possible de remonter aux taux d'émission de ces produits (Tableau 2).

Tableau 2 : Taux d'émission en $\mu\text{g}/\text{h}$ des différentes fractions particulaires pour les bougies testées pendant 15 min [Ramalho et al., 2007].

	PM _{2,5} $\mu\text{g}/\text{h}$	PM ₁₀ $\mu\text{g}/\text{h}$
Bougie blanche	83,5	148
Bougie blanche 2	700	774
Bougie parfumée	376	424
Moyenne	386	448

Ce rapport présente également une analyse physico-chimique des particules émises avec une recherche des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des anions et cations et du carbone ainsi qu'une analyse élémentaire. Les résultats sont toutefois difficiles à interpréter du fait de la très faible quantité de masse de particules prélevée sur les filtres (souvent inférieure à 100 μg), cette faible quantité pouvant être due à la courte durée de combustion (15 minutes).

L'analyse élémentaire fait apparaître que la fraction particulaire < à 1 μm contient plus d'éléments minéraux et métalliques que les autres fractions et que les éléments Al, Si et P sont majoritaires. Les conclusions du rapport rappellent que les données de concentrations obtenues sont très dépendantes des conditions expérimentales et que les valeurs ne doivent être utilisées qu'à des fins de comparaison des sources entre elles.

La quasi-totalité des résultats pour la mesure des HAP est en-deçà de la limite de détection de la technique. Seuls 3 prélèvements font apparaître des concentrations très faibles pour certains HAP sur les particules des fractions supérieures (de l'ordre du nanogramme/ m^3).

Les résultats d'une étude récente réalisée dans le cadre du Projet AMBISAFE « Maîtrise des risques liés aux parfums d'ambiance » vont être publiés prochainement (2011). Ce projet, regroupant industriels, universitaires et laboratoires, a bénéficié du soutien du pôle de compétitivité PASS (Parfums, Arômes, Senteurs, Saveurs).

Les tests ont été réalisés dans une pièce de la maison expérimentale MARIA (volume = 32,3 m³ ; TRA = 0,8 h⁻¹). Les essais ont été réalisés à partir d'émission de bougies et de bâtons d'encens.

Les composés recherchés sont : les particules, COV et composés carbonyles. Les résultats sont présentés dans chaque paragraphe en fonction du produit et des composés recherchés.

Les bougies odorantes utilisées pèsent environ 350 g et le corps de la bougie est composé d'un mélange de cire végétale et de cire d'abeille. Les particules émises présentent majoritairement un mode autour de 11,1 nm et un taux d'émission de 2.10¹³ part/h (les bougies ont brûlé pendant 1 h).

L'équipe de [Zai *et al.*, 2006] a travaillé sur les différents modes de combustion d'une bougie : combustion stable, combustion instable et fumée après extinction. Les tests ont été effectués dans une chambre en bois de 1 m³ avec un débit d'air extrait de 1,71 L/min. les bougies utilisées sont en paraffine, de couleur rouge et obtenues dans un magasin de Shanghai. Les résultats sont concordants avec les études précédentes en termes de taux d'émission et de facteur d'émission avec des différences en fonction du mode de combustion. Dans cette étude, les taux et les facteurs d'émission ont été obtenus en utilisant deux modèles distincts selon que le calcul s'effectue à partir du nombre de particules ou à partir de la masse des particules.

En combustion stable, le nombre de particules émises suit une loi lognormale centrée sur 23 nm. Dans cette configuration les taux d'émission sont de 2,45.10¹³ part. / heure ou de 330 µg/h pour les PM₁₀.

Lors d'une combustion instable, une fumée noire apparaît au-dessus de la flamme et dans ce cas, la répartition du nombre de particules émises présente deux modes : le mode le plus important autour de 40 nm et un mode plus faible entre 100 et 500 nm. Les taux d'émission calculés sont alors de 1,05.10¹³ part. / h ou 7610 µg/h pour les PM₁₀.

Lors de l'extinction de la bougie, une fumée blanche se forme dont le nombre de particules émises suit également une loi lognormale centrée cette fois-ci sur 50 nm. Les taux d'émission sont alors moins importants : 1,55.10¹¹ part./h ou 242 µg/h pour les PM₁₀.

b) Les composés volatils

Dans l'étude du BEUC réalisée en 2006 sur un grand nombre de produits d'ambiance intérieur, des bougies parfumées et des encens ont été testés du point de vue de leur émission en COV. Les produits échantillonnés proviennent du marché européen.

Les essais ont été réalisés dans des pièces d'immeuble vide (7 pièces), les produits à tester étant placés sur le sol, les prélèvements faits à 2 mètres (Tableau 3).

Tableau 3 : Concentrations minimales et maximales dans l'air mesurées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'ensemble des bougies testées (16) et nombre de fois où la substance a été quantifiée (BEUC, 2005).

	Concentrations min - max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	n*
Benzène	3	1
Toluène	3 - 15	8
Styrène	1 - 112	12
Formaldéhyde	1 - 13	14
Terpènes	1 - 31	15
dont Limonène	1 et 5	2
Diéthylphtalate	7 et 15	2
Σ COVs	12 - 670	16

* n : nombre de produits pour lesquels la substance a été mesurée pour 16 produits testés.

La mesure des COV totaux montre que de 3 à 36 molécules différentes ont été mesurées pour les bougies odorantes testées.

Ne connaissant pas les dimensions des pièces, les taux de renouvellement d'air ou les débits de prélèvement, les données issues de cette étude ne pourront être utilisées qu'à titre indicatif et comparatif des concentrations qui seront estimées par modélisation.

Pour les bougies parfumées étudiées dans le projet AMBISAFE, très peu de composés volatils ont été identifiés et encore moins ont pu être quantifiés. La plupart des concentrations étaient en-deçà des limites de détection. Par prélèvement passif, les concentrations en formaldéhyde ont été mesurées ainsi que celles du limonène, toutes les autres mesures étant inférieures à la limite de détection (Tableau 4).

Pour les mesures en continu, seul le taux d'émission de la famille des monoterpènes a pu être quantifié : 178,2 $\mu\text{g}/\text{h}$.

Tableau 4 : Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mesurées dans la pièce de la maison MARIA en fonction du temps ($32,3 \text{ m}^3$; $0,8 \text{ h}^{-1}$), projet AMBISAFE.

	Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n=4)				
	P0	P1-P0	P2-P0	P3-P0	P4-P0
Limonène	1,7	2,8	9,3	4,4	2,5
Formaldéhyde	26,7	0,8	1,0	0,6	0,8

* P0 : 1 h avant combustion ; P1 : combustion 1h ; P2, P3 et P4 : prélèvement de 1h chacun après la fin de la combustion.

En 2007, une équipe italienne [Gelosa et al., 2007] a caractérisé les émissions de bougies parfumées et colorées. Les bougies contenaient 78 % de paraffine, 20 % de stéarine et 2 % de parfum. La bougie était recouverte d'une couche de cire microcristalline et de colorant, la mèche étant en coton. Les essais ont été réalisés dans une chambre de 0,17 m³ avec un débit d'air de 0,9 m³/h. Quatre bougies ont été brûlées simultanément et les composés suivants ont été recherchés : HAP, BTEX et aldéhydes à chaîne courte. Les taux d'émission ont été calculés en tenant compte de la vitesse de combustion de la bougie à savoir 4,3 à 4,9 g de matière par heure, soit en moyenne 4,6 g/h (Tableau 5). Les facteurs d'émission ont été moyennés, les conclusions de l'article montrant qu'il y a peu de variation entre les différents produits (5 parfums différents) pour un même composé.

Tableau 5 : Facteur d'émission en µg/g ou en ng/g de bougie et taux d'émission en µg/h pour les bougies parfumées et colorées de l'étude [Gelosa, Derudi et al., 2007].

	Facteur d'émission moyen	Taux d'émission max. µg/h	Taux d'émission moyen µg/h
Benzène	0,079 µg/g	0,575	0,365
Toluène	0,102 µg/g	1,06	0,470
Ethylbenzène	0,125 µg/g	0,80	0,573
Formaldéhyde	2,508 µg/g	13,4	11,537
Acétaldéhyde	0,876 µg/g	5,12	4,030
Acroléine	1,668 µg/g	11,7	7,673
Butyraldéhyde	0,315 µg/g	2,02	1,449
Benzaldéhyde	0,393 µg/g	2,53	1,806
Fluoranthène	0,046 ng/g	1,47E-03	2,10E-04
Pyrène	0,074 ng/g	4,46E-03	3,42E-04
Phénanthrène	0,062 ng/g	6,21E-03	2,87E-04
Anthracène	0,014 ng/g	1,01E-03	6,33E-05
Benzo(a)anthracène	0,026 ng/g	1,47E-03	1,20E-04
Naphtalène	0,026 ng/g	1,70E-03	1,20E-04
Fluorène	0,030 ng/g	9,2E-04	1,38E-04
Chrysène	0,740 ng/g	34E-03	3,40E-03
Benzo(a)pyrène	0,340 ng/g	15,6E-03	1,56E-03

En 2009, des équipes françaises ont travaillé sur les émissions de BTEX et d'aldéhydes de bougies et d'encens [Maupetit et al., 2009]. Dans ce cadre, 5 bougies parfumées ont été testées dans une pièce de la maison expérimentale MARIA (32,3 m³, 0,6 h⁻¹).

Dans un premier temps, un screening des BTEX et aldéhydes à courte chaîne a été réalisé sur 2 bougies différentes (Tableau 6).

Tableau 6 : Gamme de concentration en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les composés mesurés lors de la combustion de 2 types de bougies parfumées [Maupetit and Squinazi, 2009].

	Gamme de concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Masse brûlée (g)	5,50-6,90
Durée combustion (minutes)	60
Benzène	< 0,3
Toluène	< 0,3
Xylènes	< 0,3
Styrène	0-3
Limonène	0-4
Naphtalène	0-1
COV totaux	10-100
Formaldéhyde	2-50
Acétaldéhyde	0,5-3
Acroléine	< 0,3
Benzaldéhyde	0-4

Seul le formaldéhyde présente des niveaux de concentration significatifs avec des variations importantes d'un produit à l'autre. L'étude plus poussée de la cinétique d'émission du benzène, du formaldéhyde et de l'acétaldéhyde a été menée sur les 5 bougies parfumées (Tableau 7).

Pour le formaldéhyde, on observe une augmentation constante de la concentration en formaldéhyde dans la pièce pouvant éventuellement indiquer des phénomènes de réactivité chimique vis-à-vis de l'ozone par exemple.

Tableau 7 : Concentration médiane en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des émissions de 5 bougies différentes en fonction du temps [Maupetit and Squinazi, 2009].

	Prélèvement*	Concentration médiane $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Masse brûlée (g)		6,90
Durée combustion (min)		60
Benzène	P1	< 0,3
	P2	< 0,3
	P3	< 0,3
	P4	< 0,3
Formaldéhyde	P1	1,6
	P2	2,4
	P3	2,3
	P4	3,0
Acétaldéhyde	P1	0,8
	P2	2,0
	P3	1,9
	P4	1,3

* P1 : prélèvement pendant la combustion (1h), P2 à P4 : prélèvement de 1 heure chacun en post-combustion

Une étude très récente, publiée en 2011 [Orecchio, 2011], apporte des informations très complètes sur les émissions de HAP dans les phases particulaire, liquide et gazeuse. 12 bougies du marché Italien ont été testées dont 5 bougies sans odeur et 2 bougies « anti-moustique », les autres bougies étant odorantes. Toutes les bougies sont colorées et sont de fabrication chinoise ou européenne.

Tableau 8 : Gamme de facteurs d'émission et moyenne en ng/g de bougies consommé des HAP mesurés dans les différentes phases [Orecchio, 2011].

	Intervalle min – max ng/g	Moyenne ng/g	Commentaires
HAP totaux (18)	2,3 – 49,8	15	- Les bougies anti-moustique sont plus émissives de HAP - Le naphtalène, le phénanthrène et l'acénaphtène sont les plus abondants
HAP particulaires	0,09 – 14,3	2,5	- Les HAP à 5 anneaux comptent pour 68 %
HAP dissouts	0,02 – 17	4,7	- Les HAP à 3 anneaux comptent pour 48 % - Le naphtalène, l'acénaphtylène, l'acénaphtène et le fluorène sont les plus abondants
HAP gaz	0,39 – 23,6	4,6	- Les HAP à 3 anneaux comptent pour 76 % - Le phénanthrène et l'antracène sont les plus abondants

Les concentrations en HAP émises varient d'une bougie à l'autre en fonction des matériaux de fabrication.

3.1.2 LES ENCENS

a) Les particules

Dans le cadre de l'étude Primequal [Ramalho et al., 2007], deux types d'encens ont également été testés dans la même enceinte expérimentale :

- Encens pin : bâtonnets d'encens aromatisés au pin sur une tige de bois (l'essence du bois n'est pas renseignée), de poids moyen 1,35 g et de fabrication française ;
- Encens fruité : bâtonnets d'encens aromatisés « fruits des sentiers » sur tige de bois (l'essence du bois n'est pas renseignée), de poids moyen 1,12 g et de fabrication thaïlandaise.

Les tests sur les bâtons d'encens sont réalisés jusqu'à combustion complète de celui-ci (environ 50 min).

La combustion de l'encens émet des particules de diamètre moyen autour de 100 nm avec des taux d'émission respectivement de $6,9 \cdot 10^9$ et de $7,07 \cdot 10^9$ particules par seconde pour les encens fruités et pins.

Les concentrations gravimétriques pour les encens sont présentées dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Concentration en masse ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) des différentes fractions particulaires pour les encens testés pendant 50 min [Ramalho et al., 2007].

	PM _{2,5} $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM ₁₀ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Encens pin	258	264,7
Encens fruité	9	13,5

Tableau 10 : Taux d'émission en mg/h des différentes fractions particulaires pour les encens testés pendant 50 min [Ramalho et al., 2007].

	PM _{2,5} mg/h	PM ₁₀ mg/h
Encens pin	27,5	28,3
Encens fruité	0,96	1,44
Moyenne	14	15

Les analyses physico-chimiques n'ont été réalisées que sur les bâtonnets d'encens aromatisés au pin. Les conclusions en ce qui concerne l'analyse élémentaire sont identiques à celles pour les bougies.

À la différence des bougies, la combustion de l'encens émet des HAP mesurables dans la fraction sub-micronique des particules (Tableau 11).

Tableau 11 : Concentration en ng/m³ de HAP sur la fraction particulaire < 1 µm pour les encens testés sur 50 min [Ramalho et al., 2007].

	Benzo(a)-anthracène	Chrysène	Benzo(j)-fluoranthène	Benzo(b)-fluoranthène	Benzo(k)-fluoranthène	Benzo(a)-pyrène	Dibenzo(a,h)-anthracène	Benzo(g,h,i)-pérylène	Indéno(1,2,3-cd)pyrène
Encens pin	4,8	12,3	6,0	6,6	1,7	2,1	< 0,03	0,5	4,2
Encens pin 2	0,45	1,32	< 0,41	2,00	0,36	0,68	0,10	1,09	2,05

L'étude de See *et al.*, [See et al., 2007], montre également un mode autour de 100 nm pour les particules émises par quatre bâtons d'encens d'origines différentes (3 bâtons ont un support en bambou et le 4^{ème} ne contient que de l'encens). Les taux d'émission enregistrés sont proches de 10⁹ (de 5,10.10¹² à 1,42.10¹³ particules par heure) et donc en accord avec les résultats de l'étude en enceinte du CSTB. Ces essais ont été réalisés dans une chambre de 1,07 m³ en faisant brûler quatre bâtons d'encens simultanément. Une observation importante de cette étude est la relation positive entre la taille des particules émises et la taille des grains formant l'encens.

Les résultats présentés dans l'article de Yang *et al.* concernent l'étude de neuf types de bâtons d'encens différents [Yang et al., 2007]. La distribution en taille des particules et les concentrations en HAP sont obtenues à partir d'une chambre expérimentale de 1,2 m³ avec un taux de renouvellement d'air de 1,5 h⁻¹. Dans cette étude, les bâtons d'encens pèsent en moyenne 1,3 g. La moyenne géométrique de l'émission de particules est de 34,6 mg par gramme d'encens. Compte-tenu de l'absence de certaines informations sur la répartition granulométrique, ces particules peuvent être assimilées à des PM₁₀ (il apparaît clairement sur les graphiques de distribution massique que l'ensemble des particules émises a un diamètre inférieur à 10 µm). L'article ne renseigne pas non plus les temps de combustion des bâtons d'encens, estimés, d'après la littérature entre 30 et 50 min. En tenant compte du poids des encens, on obtient ainsi une gamme de facteur d'émission pour ces encens (Tableau 12).

Tableau 12 : Taux d'émission moyen en mg/h issus des données de [Yang, Lin et al., 2007].

	Émission mg/g	Poids g	Temps de combustion min	Taux d'émission mg/h
Moyenne	34,6	1,3	30 à 50	54 à 90
Max	41,7			64,7 à 108

Dans cette étude les 16 HAP ont été mesurés dans la phase particulaire ainsi que dans la phase gaz (cette deuxième étant présentée dans la partie COV). L'émission globale moyenne est de 6 µg/g d'encens. Dans le détail, les HAP majoritaires sont le chrysène (15,7 %), le benzo[a]pyrène (13,3 %) et le benzo[p]pyrène (9,4 %) ; le naphthalène n'est présent qu'à l'état de trace (1-3 %). Ces teneurs en HAP ne varient que très peu pour les neufs bâtons d'encens. Dans une étude de 2004 [Lee S.C. et al., 2004], les auteurs ont étudiés de nombreux paramètres d'émissions de 10 encens différents fabriqués dans plusieurs pays asiatiques. Sur les 10 produits, 8 sont des bâtons d'encens. Les essais ont été réalisés dans une chambre expérimentale de 18,26 m³ avec un renouvellement d'air de 0,5 h⁻¹. Trois bâtons d'encens étaient brûlés simultanément et chaque expérience dupliquée. Le poids des bâtons d'encens n'est pas renseigné. Le temps de brûlage moyen était de 33 minutes. Les taux d'émission obtenus pour les PM_{2,5} et PM₁₀ sont reportés dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Facteur d'émission, en mg/h, minimum, maximum et moyen pour les 8 bâtons d'encens [Lee S.C. and Wang, 2004].

	Taux d'émission en mg/h		
	Min	Max	Moyenne
PM _{2,5}	9,8	372,6	184
PM ₁₀	10,8	389,4	199

En ce qui concerne les émissions de particules lors de la combustion de bâtons d'encens, les taux d'émission mesurés, dans le cadre du projet AMBISAFE, sont du même ordre de grandeur que ceux présentés ci-avant, à savoir : 3,1.10¹² particules /h (bâton d'encens de 0,5 g avec un support central en bambou ; combustion de 30 min). Les particules émises ont un mode autour de 124 nm et leur niveau de concentration augmente pendant l'épisode de combustion pour être éliminées rapidement une fois la combustion terminée, du fait du renouvellement d'air.

b) Les COV

L'étude N°39 de l'agence de l'environnement danoise portant sur les émissions de COV des encens rapporte des résultats obtenus pour un grand nombre d'encens différents issus du marché danois : les bâtons d'encens avec ou sans support central en bois, les cônes d'encens ou les poudres (DEPA, 2004). Les essais d'émission ont été réalisés en plaçant l'encens dans un entonnoir retourné en verre. De très nombreuses substances chimiques ont été mesurées qualitativement en première intention.

Pour l'étude quantitative, le Tableau 14 rapporte les taux d'émission obtenus lors des essais menés sur 6 encens différents. Les encens pèsent environ tous 1

gramme et se sont consumés en 25 à 50 minutes. Seules les substances émises par au moins trois des bâtons d'encens sont répertoriées.

Tableau 14 : Taux d'émission en mg/h pour les substances majoritairement émises par les 6 encens testés (DEPA, 2004).

	Taux d'émission mg/h						Émission moyenne
	Cône lavande	Bâton citron	Bâton Ayurvedisk	Bâton musc sauvage	Bâton Sali Sai Baba	Bâton bois de Cedar	
Benzène	1,482	1,464	1,114	8,978	0,700	0,502	2,373
Toluène	1,239	1,221	0,897	1,508	0,604	0,446	0,986
Xylènes	0,365	0,521	0	0,512	0,321	0,152	0,312
Styrène	0,211	0,310	0,867	0,594	0,217	0,130	0,388
Formaldéhyde	11,352	1,771	4,399	5,982	6,055	3,417	5,496
Acétaldéhyde	7,022	3,763	2,294	4,523	2,048	2,107	3,626
Benzaldéhyde	0,106	0,089	0,158	0,234	-	-	0,147
Acroléine	2,270	0,959	1,052	0,997	1,741	0,654	1,279
Furfural	0,547	0,138	0,122	0,103	0,336	0,125	0,229
Diéthylphtalate	-	0,127	-	20,398	1,602	0,017	5,536
Phénol	0,108	0,067	0,060	-	-	-	0,078
Limonène	0,648	1,324	-	0,198	-	-	0,723
Vanilline	0,059	0,070	0,140	0,540	0,717	0,075	0,267
Naphtalène	0,043	0,357	0,020	0,037	0,032	0,003	0,082
Acénaphthylène	0,005	0,010	0,004	0,004	0,004	0,001	0,005
Phénanthrène	0,005	0,034	0,013	0,027	0,002	0,004	0,014
Benzofurane	0,280	0,454	-	0,653	0,294		0,420
2,5-diméthyl-furane	0,098	0,087	-	-	0,119	-	0,101

L'étude du BEUC sur les encens laisse apparaître que ceux-ci sont beaucoup plus émissifs que les bougies parfumées, les COV totaux ayant un maximum à 1725 µg/m³ (Tableau 15).

Tableau 15 : Concentrations minimales et maximales dans l'air des pièces étudiées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les quatre encens et le papier d'Arménie testé (BEUC, 2005).

	Encens		Papier d'Arménie Concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Concentrations min - max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	n*	
Benzène	19 – 221	4	3
Toluène	8 – 33	3	-
Styrène	1 – 78	4	1,3
Formaldéhyde	51 – 69	3	42
Terpènes	1 - 19	4	-
dont Limonène	4	1	-
Diéthylphtalate	2 - 952	4	-
Σ COVs	415 - 1725	4	78

Les travaux de Lee *et al.* ont également suivi les émissions de composés gazeux par les encens [Lee S.C. and Wang, 2004]. Les valeurs maximales obtenues sont présentées dans le Tableau 16.

Tableau 16 : Taux d'émission maximum et moyen en mg/h pour les 8 bâtons d'encens testés [Lee S.C. and Wang, 2004].

	Taux d'émission max. mg/h	Taux d'émission moyen mg/h
Benzène	4,25	1,68
Toluène	1,67	0,715
Xylènes	4,17	0,166
Styrène	0,20	0,074
Éthylbenzène	4,84	0,416
CH ₄	51,5	21,2
Acétaldéhyde	3,43	-
Formaldéhyde	4,14	-
Acétone	5,44	-
Propionaldéhyde	4,73	-
Acroléine	8,04	-
Butyraldéhyde	1,91	-
Méthacroléine	2,01	-
Valéraldéhyde	0,95	-
CO	795	477
NO	7,8	3,71
NO ₂	1,60	0,637
NOx	9,80	4,45

L'étude française menée par [Maupetit and Squinazi, 2009] a également permis de renseigner les émissions de 25 bâtons d'encens et 11 cônes d'encens. Les résultats de la première phase réalisée sur 2 bâtons et sur 2 cônes d'encens sont présentés dans le Tableau 17.

Lors de la deuxième phase d'étude de la cinétique des émissions, les 25 bâtons et les 11 cônes ont été étudiés pour le benzène, le formaldéhyde et l'acétaldéhyde (Tableau 18).

Pour les deux types d'encens, les concentrations maximales sont retrouvées pendant et juste après la combustion (P1 et P2). Alors que les concentrations en benzène sont quasiment identiques pour les cônes et les bâtons d'encens, les cônes émettent beaucoup plus de formaldéhyde et d'acétaldéhyde que les bâtons. Cette étude a également mis en évidence au niveau des encens, que les concentrations en benzène, formaldéhyde et acétaldéhyde mesurées dans la pièce étaient proportionnelles à la quantité d'encens brûlée. Ainsi, les concentrations émises ont pu être divisées par quatre en diminuant par deux la durée de combustion et par trois la masse d'encens brûlée.

Tableau 17 : Concentration dans l'air de l'enceinte expérimentale en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des substances retrouvées lors de la combustion de 2 bâtons et de 2 cônes d'encens [Maupetit and Squinazi, 2009].

	Gamme de concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Bâtons	Cônes
Masse brûlée (g)	0,85-1,25	0,80-0,90
Durée combustion (minutes)	45-65	15-17
Benzène	5-30	2-13
Toluène	1-15	0-13
Xylènes	0-6	0-5
Styrène	0-12	0-5
Limonène	0-3	0-2
Naphtalène	0-3	0-1
COV totaux	30-510	30-300
Formaldéhyde	5-50	15-60
Acétaldéhyde	10-50	15-65
Acroléine	0-2	0-10
Benzaldéhyde	0-12	0-6

Tableau 18 : Évolution des concentrations médianes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en fonction du temps lors de la combustion de bâtons et de cônes d'encens [Maupetit and Squinazi, 2009].

	Prélèvement	Bâtons d'encens		Cônes d'encens	
		Nombre d'échantillons	Concentrations médiane $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nombre d'échantillons	Concentrations médiane $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Masse brûlée (g)		25	0,32	11	0,49
Durée de combustion (minute)		25	29	11	17
Benzène	P1	25	4,3	11	5,9
	P2	25	6,6	11	6,4
	P3	25	3,1	11	3,2
	P4	25	1,6	11	1,5
Formaldéhyde	P1	7	9,8	6	39,3
	P2	7	6,4	6	28,5
	P3	7	3,8	6	9,7
	P4	7	2,9	6	10,0
Acétaldéhyde	P1	7	8,5	6	29,6
	P2	7	9,8	6	36,6
	P3	7	5,2	6	13,5
	P4	7	3,6	6	6,5

* P1 : prélèvement pendant la combustion (1h), P2 à P4 : prélèvement de 1 heure chacun en post-combustion

Les taux d'émission des composés gazeux quantifiés dans le projet AMBISAFE sont présentés dans le Tableau 19.

Tableau 19 : Taux d'émission maximum et moyen en mg/h des composés gazeux émis par les encens dans le projet AMBISAFE.

	Taux d'émission maximum (n=4) µg/m ³	Taux d'émission moyen mg/h
Benzène	12,2	0,306
Toluène	10,4	0,253
Éthylbenzène	13,8	0,286
Styrène	8,1	0,342
Triméthylbenzène	2,7	0,562
Formaldéhyde	13,4	0,544
Acétaldéhyde	57,7	1,977
Crotonaldéhyde	18,4	0,577
Hexaldéhyde	2,6	0,834
Naphtalène	2,3	0,114
Méthanol	48,5	1,575
Éthanol	8,7	0,177
Acrylonitrile	2,8	0,739
Phénol	4,6	0,190
Monoterpènes	3,2	0,115

De nombreux autres composés ont été identifiés sans pouvoir être quantifiés.

3.1.3 TAUX D'EMISSION RETENUS

a) Particules

Du point de vue des taux d'émission des bougies et des encens, les études recensées présentent des taux d'émission de l'ordre de 10^{12} – 10^{13} particules par heure (Tableau 20).

Afin de pouvoir *in fine* comparer les concentrations particulaires, issues des émissions de bougies et d'encens, aux valeurs de références disponibles, seule la concentration massique est utile.

Pour les bougies, seule l'étude du CSTB et du LHVP a obtenu des données pour les PM_{2,5} et les PM₁₀ ; les valeurs maximales seront utilisées pour la modélisation en scénario « pire-cas » : 700 µg/h pour les PM_{2,5} et 774 µg/h pour les PM₁₀. Le taux d'émission de 7610 µg/h de l'étude de Zai lorsque la bougie se consume dans un état instable sera traité à titre d'exemple.

En ce qui concerne les encens, 3 études ont présenté des calculs des taux d'émission massiques ; les valeurs maximales sont également retenues [Lee S.C. and Wang, 2004] : 373 mg/h pour les PM_{2,5} et 389 mg/h pour les PM₁₀.

Tableau 20 : Synthèse des taux d'émission de particules pour les bougies et les encens, recensés dans la littérature sélectionnée.

	Bougies					Encens					HAP
	Taux d'émission en nombre nb part. /h	Taux d'émission en masse $\mu\text{g/h}$				Taux d'émission en nombre nb part. /h	Taux d'émission en masse mg/h				
		PM _{2,5}		PM ₁₀			PM _{2,5}		PM ₁₀		
		Moy.	Max.	Moy.	Max.		Moy.	Max.	Moy.	Max.	
imequal 2004	2,17.10 ¹³ – 8,57.10 ¹³	386	700	448	774	2,48.10 ¹³ – 2,54.10 ¹³	14	27,5	15	28,3	PM ₁ : 0,45 – 12,3 $\mu\text{g/m}^3$
MBISAFE 2011	2.10 ¹³					3,1.10 ¹²					
Zai 2006	<u>Stable</u> : 2,45.10 ¹³ <u>Instable</u> : 1,05.10 ¹³			<u>Stable</u> : 330 <u>Instable</u> : 7610							
See 2007						5.10 ¹² – 1,42.10 ¹³					
Yang 2007									72	108	9,36 – 15,6 $\mu\text{g/h}$
Lee 2004							184	372,6	199	389,4	
oyenne / Max.		386	700	389	774		99	372,6	95	389,4	

b) Composés volatils

Pour les bougies, une seule étude recensée donne les taux d'émission des composés volatils [Gelosa, Derudi *et al.*, 2007]. Les différentes substances de cette étude seront donc intégrées à la modélisation (Tableau 21).

Tableau 21 : Taux d'émission maximum et moyen en µg/h pour les bougies recensés dans l'étude de [Gelosa, Derudi et al., 2007].

	Taux d'émission max µg/h	Taux d'émission moyen µg/h
Benzène	0,575	0,365
Toluène	1,06	0,470
Ethylbenzène	0,80	0,573
Formaldéhyde	13,4	11,5
Acétaldéhyde	5,12	4,03
Acroléine	11,7	7,67
Butyraldéhyde	2,02	1,45
Benzaldéhyde	2,53	1,81
Fluoranthène	1,47E-03	2,10E-04
Pyrène	4,46E-03	3,42E-04
Phénanthrène	6,21E-03	2,87E-04
Anthracène	1,01E-03	6,33E-05
Benzo(a)anthracène	1,47E-03	1,20E-04
Naphtalène	1,70E-03	1,20E-04
Fluorène	9,2E-04	1,38E-04
Chrysène	34E-03	3,40E-03
Benzo(a)pyrène	15,6E-03	1,56E-03

Pour les encens, plusieurs études ont présenté des calculs de taux d'émission : (DEPA, 2004), [Lee S.C. and Wang, 2004], AMBISAFE. Seules les substances présentes dans au moins deux études sont retenues pour la suite (Tableau 22).

Tableau 22 : Synthèse des taux d'émission en mg/h pour les substances retenues comme traceur pour la suite de l'étude dans le cas des encens.

	DEPA		Lee		Ambisafe		Moyenne des moyennes mg/h
	Moyenne mg/h	Max mg/h	Moyenne mg/h	Max mg/h	Moyenne mg/h	Max mg/h	
Benzène	2,37	8,98	1,68	4,25	0,306	-	1,45
Toluène	0,986	1,51	0,715	1,67	0,253	-	0,651
Éthylbenzène	-	-	0,416	4,84	0,286	-	0,351
Xylènes	0,312	0,521	0,166	4,17	-	-	0,239
Styrène	0,388	0,867	0,074	0,2	0,342	-	0,268
Formaldéhyde	5,50	11,3	-	4,14	0,544	-	3,02
Acétaldéhyde	3,63	7,02	-	3,43	1,98	-	2,80
Acroléine	1,28	2,27	-	8,04	-	-	1,28
Phénol	0,078	0,108	-	-	0,190	-	0,134
Naphtalène	0,082	0,357	-	-	0,114	-	0,098
CO	-	-	477	795	-	-	477
NO	-	-	3,71	7,8	-	-	3,71
NO ₂	-	-	0,637	1,6	-	-	0,637

Pour travailler sur des taux d'émission moyens, nous retenons la moyenne des moyennes des trois études.

Pour les taux d'émission maximum, le taux le plus élevé des trois études est retenu (en rouge dans le tableau). Ceci ne représente alors pas un des encens étudié mais un encens qui présenterait les plus mauvaises caractéristiques.

3.2 IDENTIFICATION DES DANGERS ET DES RELATIONS DOSE-REPOSE DISPONIBLES

L'ensemble des données ci-dessous peut être retrouvé sous le portail substances chimiques de l'INERIS (<http://www.ineris.fr/substances/fr/>).

Pour l'identification des dangers et le choix de valeurs limites, la méthode appliquée est la suivante :

- recherche d'une valeur guide pour l'air intérieur (VGAI) ;
- s'il n'y a pas de valeur guide, recherche d'une Valeur Toxicologique de Référence (VTR) établie par l'une des grandes agences reconnues : US-EPA, ATSDR, OMS, OEHHA... La VTR retenue, s'il y a plusieurs valeurs, repose sur l'expertise toxicologique de l'INERIS.

De manière générale, les REL de l'OEHHA pour des expositions de 1 à 8 heures correspondent à des seuils accidentels et ne sont pas retenus par l'INERIS dans ses choix de VTR (INERIS, 2005). Toutefois, elles sont présentées dans ce rapport car elles sont utiles pour l'évaluation des risques.

Les VTR pour les HAP (excepté pour le naphthalène où une valeur spécifique est proposée par l'OEHHA) sont établies à partir de l'excès de risque unitaire spécifique du benzo[a]pyrène proposé par l'OEHHA auquel des facteurs d'équivalent toxique (FET) ont été appliqués (INERIS, 2003).

3.2.1 LES PM_{2,5} ET PM₁₀

Il n'est aujourd'hui pas possible de décrire précisément les phénomènes physiopathologiques à l'origine de l'agression du système respiratoire par les particules puisque ce sont des matériaux composites dont l'effet sanitaire ne peut être entièrement décrit de façon spécifique. La taille et la composition des particules émises et inhalées déterminent largement leur devenir après émission, ainsi que la nature de leurs effets biologiques et sanitaires. Les études épidémiologiques dans des contextes d'exposition variés, avec différents types de population, ont permis d'observer une corrélation entre l'augmentation des particules dans l'air ambiant et l'augmentation des manifestations sanitaires telles que le taux de mortalité, la fréquence des hospitalisations d'urgence pour cause cardio-vasculaire et respiratoire, la consommation de broncho-dilatateur, l'incidence de la toux ou la diminution des performances respiratoires.

Les effets à court terme sont considérés sans seuil (OMS, 2005). Par exemple, on a pu observer sur une population donnée 3 % de crises d'asthme supplémentaires pour une augmentation de 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ des PM₁₀.

Les effets à long terme, en particulier le risque cancérigène, sont peu décrits et concernent également une pollution urbaine de fond. Ainsi, l'étude de Momas et al. (1993) montre que l'excès de risque entre une ville plus polluée (89 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de particules totales) et une ville moins polluée (34 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) était de 37 % pour la mortalité par cancer du poumon et pour la mortalité cardio-vasculaire (Momas et al., 1993). La voie d'exposition par inhalation des particules fines est importante. Par contre, les grosses particules pénètrent mal dans les bronchioles les plus fines du système respiratoire. Elles sont en effet très peu transportées, se déposent rapidement et c'est alors la toxicité des substances adsorbées sur les particules (exemple : les métaux lourds) qui est étudiée pour une exposition par ingestion.

Valeurs guides proposées par l'OMS (2005) :

Pour les PM_{2,5}, l'OMS a fixé les valeurs de référence suivantes (OMS, 2005) :

- exposition moyenne sur 24 h : 25 µg.m⁻³ ;
- exposition moyenne annuelle : 10 µg.m⁻³ .

Pour les PM₁₀, l'OMS a fixé les valeurs de référence suivantes (OMS, 2005) :

- exposition moyenne sur 24 h : 50 µg.m⁻³ ;
- exposition moyenne annuelle : 20 µg.m⁻³ .

Remarques : l'ensemble des données présentées dans ce paragraphe ont trait aux particules urbaines (particules de l'air ambiant) issues du trafic automobile, des activités industrielles et résidentielles. Ces particules, classées en fonction de leur diamètre, ne reflètent donc pas, de part leurs propriétés chimiques, celles issues spécifiquement de la combustion de bougies ou d'encens. L'utilisation de ces valeurs guides entraîne donc une incertitude importante sur un calcul de risque.

3.2.2 LE BENZENE (CAS N° 71-43-2)

Classification :

Directive 67/548/CEE (29^{ème} ATP) : F ; R11 – Carc. Cat. 1 ; R45 – Muta. Cat. 2 ; R46 – T ; R48/23/24/25 – Xn ; R65 – Xi ; R36/38

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Flam. Liq. 2 ; H225 – Carc. 1A ; H350 – Muta. 1B ; H340 – STOT RE 1 ; H372 – Asp. Tox. 1 ; H304 – Eye Irrit. 2 ; H319 – Skin Irrit. 2 ; H315

Toxicité du benzène par inhalation :

L'inhalation constitue la principale voie d'exposition au benzène et son absorption est complète. La distribution est rapide dans tous les organes avec un tropisme préférentiel vers la moelle osseuse et les graisses. La métabolisation du benzène est hépatique et médullaire. Le benzène est éliminé sous une forme inchangée dans les urines (1 %) et dans l'air expiré (10 à 50 %).

Chez l'homme, l'exposition aiguë à de fortes concentrations par inhalation entraîne des effets anesthésiants (une narcose), habituellement précédés d'une excitation et la mort résulte d'une dépression respiratoire. Pour des expositions à de plus faibles concentrations, le benzène induit une excitation puis des troubles de la parole, des céphalées, des vertiges, des insomnies, des nausées, des paresthésies dans les mains et les pieds ainsi que de la fatigue. Des irritations locales pulmonaires et cutanées sont également rapportées. Chez l'animal, le benzène induit une neurotoxicité, une congestion pulmonaire et hépatique.

La toxicité chronique du benzène est caractérisée par une atteinte de la moelle osseuse (anémie aplasique ou syndrome myéloprolifératif) ainsi qu'une atteinte du système immunitaire. Chez l'animal, le système hématopoïétique est l'organe cible

des effets du benzène. Le benzène induit également une neurotoxicité et une dépression de l'immunité cellulaire et humorale.

Les études de cancérogénèse montrent que le benzène est essentiellement responsable de leucémie aiguë myéloïde, mais également d'autres leucémies de tous types et des affections du tissu hématopoïétique comme les lymphomes non hodgkiniens. Chez l'animal, les mêmes types de tumeurs ont été mis en évidence. Le benzène est classé cancérigène pour l'homme par les différents organismes (catégorie 1 (ou 1A pour le CLP) pour l'Union Européenne, groupe 1 pour le CIRC et catégorie A pour l'US EPA).

Le benzène n'est pas mutagène *in vitro* chez les bactéries mais il est génotoxique *in vivo* sur des cellules somatiques et germinales de mammifères. Les résultats sont plus controversés chez l'homme. Il est classé mutagène de catégorie 2 (ou 1B pour le CLP) par l'Union Européenne.

Chez l'homme, le benzène traverse la barrière placentaire et il est retrouvé dans la moelle osseuse du fœtus. Des anomalies du tube neural chez les fœtus sont observées mais ces effets restent controversés. Chez l'animal, des altérations de la fonction de reproduction ont été identifiées. Le benzène n'est pas classé toxique pour la reproduction et le développement par l'Union Européenne.

Valeurs guide de l'air intérieur (VGAI) (AFSSET, 2008) :

Il existe des VTR mais également des VGAI pour le benzène pour les effets à seuil et les effets sans seuil. Ces dernières, conformément à la méthode proposée ci-avant, sont retenues :

- La valeur pour une exposition aiguë (de 1 à 14 jours) est fixée à $30 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour les effets à seuils.
- La valeur pour une exposition chronique est fixée à $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour les effets à seuils (valeur d'action rapide du Haut Conseil de Santé Publique).
- La valeur pour une exposition vie entière correspondant à un excès de risque de 10^{-5} est fixée à $2 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour les effets sans seuil (valeur cible du Haut Conseil de Santé Publique).

3.2.3 LE TOLUENE (CAS N° 108-88-3)

Classification :

Directive 67/548/CEE (29^{ème} ATP) :

F; R11 – Repr. Cat. 3 ; R63 – Xn ; R48/20–65 – Xi; R38 – R67

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 :

Flam. Liq. 2 ; H225 – Repr. 2 ; H361d – Asp. Tox. 1 ; H304 – STOT RE 2 ; H373 – Skin Irrit. 2 ; H315 – STOT SE 3 ; H336

Toxicité du toluène par inhalation :

L'inhalation est la principale voie d'absorption (50 %). Le toluène s'accumule dans les tissus adipeux mais il est également retrouvé dans de nombreux organes. Il est métabolisé en acide benzoïque au niveau hépatique puis en acide hippurique. Le toluène est éliminé au niveau pulmonaire sous forme inchangée ou dans les urines sous forme de métabolites.

La toxicité aiguë du toluène est relativement faible, seuls quelques effets irritants et neurologiques (sensation d'ivresse, mal de tête, étourdissement) peuvent survenir chez l'homme et l'animal.

Pour une exposition chronique à de fortes concentrations (30-130 ppm soit 115-500 mg.m⁻³), le toluène induit des effets neurotoxiques tels que des troubles du comportement, de la vision des couleurs et des potentiels évoqués auditifs et visuels. Des effets hépatiques et rénaux sont également décrits mais la relation de causalité n'est pas clairement établie. Chez l'animal, les effets rapportés confirment ceux décrits chez l'homme.

Il existe très peu de données sur la cancérogénicité du toluène, et parmi celles disponibles, aucune tumeur néoplasique n'est rapportée. Le CIRC classe le toluène dans le groupe 3 (agent inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme) et il n'est pas classé par l'US EPA et l'Union Européenne.

La génotoxicité du toluène est équivoque chez l'homme alors qu'aucun effet n'apparaît chez l'animal. Il n'a cependant pas été classé mutagène par l'Union Européenne.

Chez l'homme et l'animal, un retard de développement mis en évidence par une diminution de poids à la naissance et une neurotoxicité peuvent survenir chez la descendance suite à une exposition au toluène. Des effets sur la fertilité sont également rapportés mais ne permettent pas d'établir un lien causal fort. Le toluène est classé toxique pour le développement de catégorie 3 (ou 2 pour le CLP) par l'Union Européenne.

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2010) :

Substance chimique (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Toluène (108-88-3)	A seuil	ATSDR	Inhalation (aiguë)	10	MRL = 1 ppm (3,8 mg.m ⁻³)	2000	2010
		US EPA	Inhalation (chronique)	10	RfC = 1,3 ppm (5 mg.m ⁻³)	2005	2010

3.2.4 L'ETHYLBENZENE (CAS N° 100-41-4)

Classification :

Directive 67/548/CEE (19^{ème} ATP) : F ; R11 – Xn ; R20

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Flam. Liq. 2 ; H225 – Acute Tox. 4 ; H332

Toxicité de l'éthylbenzène par inhalation :

L'éthylbenzène est absorbé par inhalation (taux d'absorption de 49 à 64 %). Quatre à cinq pourcents de l'éthylbenzène inhalé sont exhalés sans transformation. L'acide ménépique et l'acide phénylglyoxylique forment 90 % des métabolites produits par une hydroxylation suivie d'oxydations. Les dérivés sont ensuite conjugués avec des sulfates et glucuronides puis excrétés dans les urines.

Lors d'une exposition aiguë chez l'homme, les vapeurs d'éthylbenzène sont irritantes pour le nez et les muqueuses notamment oculaires. De fortes concentrations peuvent entraîner une dépression du système nerveux central, des atteintes hépatiques et rénales transitoires. Chez l'animal, l'éthylbenzène induit également une atteinte pulmonaire, des troubles du comportement et une narcose.

Pour une exposition chronique, de rares effets hématologiques sont observés chez l'homme. Chez l'animal, des effets hépatiques, rénaux, hématologiques et pulmonaires sont observés.

Les rares données disponibles chez l'homme ne permettent pas de conclure sur le potentiel cancérogène. Chez l'animal, l'éthylbenzène induit une augmentation de l'incidence des tumeurs des tubules rénaux et des cellules interstitielles des testicules chez les rats mâles. L'éthylbenzène n'a pas été classé par l'Union Européenne. En revanche, il a été classé dans le groupe 2B par le CIRC et dans le groupe D par l'US EPA. L'ensemble des études *in vivo* et *in vitro* semble montrer que l'éthylbenzène n'est pas génotoxique. Il n'a pas été classé par l'Union Européenne.

Chez l'homme aucune étude sur la reproduction et le développement n'est disponible. Chez l'animal, des avortements spontanés sont observés ainsi qu'un retard dans le développement du squelette, la présence de côtes surnuméraires et des anomalies du tractus urinaire. Cependant, l'éthylbenzène n'a pas été classé par l'Union Européenne.

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2010) :

Substance chimique (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Éthylbenzène (100-41-4)	A seuil	ATSDR	Inhalation (aiguë)	30	MRL = 22 mg.m ⁻³	2010	2010
	A seuil	ATSDR	Inhalation (chronique)	300	REL = 0,3 mg.m ⁻³	2010	2010
	Sans seuil	OEHA	Inhalation (chronique)	–	ERU _i = 2,5.10 ⁻⁶ (µg.m ⁻³) ⁻¹	2009	2010

3.2.5 LE STYRENE (CAS N° 100-42-5)

Classification :

Directive 67/548/CEE (19^{ème} ATP) : R10 – Xn ; R20 – Xi ; R36/38

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Flam. Liq. 3 ; H226 – Acute Tox. 4 ; H332 – Eye Irrit. 2 ; H319 – Skin Irrit. 2 ; H315

Toxicité du styrène par inhalation :

Le styrène est rapidement absorbé par inhalation (60-88 %). Après absorption, le styrène est rapidement distribué. Il s'accumule principalement dans les tissus adipeux et dans de plus faibles proportions dans le foie, les reins, le cœur, les poumons, le cerveau et la rate. La métabolisation du styrène a lieu essentiellement dans le foie par les cytochromes P450 et forme du styrène 7,8-oxyde. Les acides mandélique et phénylglyoxylique sont les deux principaux métabolites et représentent respectivement 85 % et 10 % du styrène absorbé. Ces métabolites sont éliminés dans les urines et seul 0,7-2,2 % du styrène inhalé est exhalé non métabolisé. Chez l'animal, les voies majeures de métabolisation sont différentes de celles chez l'homme.

Lors d'exposition aiguë par inhalation, le styrène provoque principalement des effets neurologiques (troubles de l'équilibre, malaises, vertiges), une irritation des voies respiratoires supérieures et oculaire, des nausées, et des céphalées. Chez l'animal, les mêmes effets sont observés ainsi qu'une nécrose hépatique centrolobulaire, une perte d'audition, des convulsions, des tremblements, une perte de conscience et une atteinte pulmonaire pour de fortes concentrations.

L'exposition chronique chez l'homme induit principalement des effets neurologiques (altération de l'équilibre, augmentation des temps de réaction, troubles de l'audition,...) mais également pulmonaires (irritation), hématologiques et hépatiques (augmentation des enzymes hépatiques). Chez l'animal, l'exposition chronique par inhalation induit essentiellement des effets neurologiques, ototoxiques, hépatiques, et pulmonaires.

Les informations disponibles chez l'homme ne sont pas suffisantes pour établir un lien de causalité entre l'exposition professionnelle au styrène et l'apparition de cancers. Chez l'animal, les études disponibles montrent une augmentation significative des adénomes broncho-alvéolaires chez la souris.

L'Union Européenne n'a pas classé le styrène comme cancérigène et le CIRC l'a classé dans le groupe 2B (cancérigène possible). Le styrène n'est pas classé génotoxique par l'Union Européenne en l'absence de résultats extrapolables à l'homme.

Les données humaines ne permettent pas de conclure sur la toxicité pour la reproduction et le développement du styrène. Chez l'animal, aucun effet sur la reproduction n'est observé et les résultats des études sur le développement sont discordants. Le styrène a été examiné par l'Union Européenne mais n'a pas été classé toxique pour la reproduction et le développement.

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2010) :

Substances chimiques (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Styrène (100-42-5)	Effet à seuil	ATSD R	Inhalation (chronique)	30	MRL = 0,2 ppm (0,86 mg.m ⁻³)	2010	2010

Valeurs toxicologiques de référence proposées par l'OEHHA pour des expositions aiguës (2008) :

L'OEHHA propose pour des expositions d'une heure et pour des effets à seuil, une REL de 21 000 µg.m⁻³.

3.2.6 LES XYLENES (M-, O-, P-) (CAS N° 1330-20-7)

Classification :

Directive 67/548/CEE (25^{ème} ATP) : R10 – Xn ; R20/21 – Xi ; R38
Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Flam. Liq. 3 ; H226 – Acute Tox. 4 ; H312, H332 – Skin Irrit. 2 ; H315

Toxicité des xylènes par inhalation :

Les xylènes sont facilement absorbés par inhalation (62 à 64 %). Après absorption, les xylènes sont rapidement distribués. Ils s'accumulent préférentiellement dans les tissus adipeux. Leur métabolisation se fait principalement par oxydation puis conjugaison avec la glycine. Quatre vingt dix pourcent du xylène absorbé est éliminé dans les urines sous cette forme. L'élimination est rapide exceptée pour les xylènes distribués dans les muscles et le tissu adipeux. Chez l'animal, le métabolisme est semblable à celui observé chez l'homme.

L'exposition aiguë aux xylènes induit des troubles respiratoires (irritation), cardiovasculaires (tachycardie, troubles cardiaques), gastro-intestinaux et neurologiques (perte de mémoire, vertiges). D'autre part, les xylènes sont irritants en cas de contact direct des vapeurs avec la peau ou les yeux. Chez l'animal, ils provoquent des troubles hépatiques, rénaux et neurologiques. Les données chez l'animal confirment les informations chez l'homme avec des manifestations supplémentaires telles que les troubles hépatiques et rénaux.

La toxicité chronique des xylènes est principalement caractérisée par des effets pulmonaires (irritation) et cardiovasculaires (palpitations, douleurs cardiaques). D'autres effets sont également observés (neurologiques, rénaux, hématologiques) mais la co-exposition à d'autres substances ne permet pas de statuer sur les effets propres des xylènes. Chez l'animal l'exposition chronique par inhalation induit principalement des effets hépatiques et neurologiques.

Les données concernant la cancérogénicité des xylènes sont très limitées. Parmi les quelques études disponibles, les xylènes ne semblent pas induire d'effets cancérogènes mais aucune conclusion définitive ne peut être établie. Ils sont classés dans le groupe 3 par le CIRC et dans la classe D par l'US EPA. D'autre part, les xylènes ne semblent pas génotoxiques. Ils n'ont pas été classés cancérogène ni génotoxique par l'Union Européenne.

En ce qui concerne les effets sur la reproduction et le développement, les études disponibles chez l'homme ne permettent pas de conclure sur la reprotoxicité des xylènes. Chez l'animal, aucun effet sur le système reproducteur n'est observé mais des effets foetotoxiques sont rapportés. Les xylènes n'ont pas été classés toxique pour la reproduction et le développement par l'Union Européenne

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2010) :

Substance chimique (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Xylènes totaux (1330-20-7)	A seuil	ATS DR	Inhalation (aiguë)	30	MRL = 2 ppm (8,8 mg.m ⁻³)	2007	2010
		RIVM	Inhalation (chronique)	1 000	TCA = 0,87 mg.m ⁻³ (0,2 ppm)	2001	2010
m-xylène (108-38-3)	A seuil	US EPA	Inhalation (chronique)	300	RfC = 0,1 mg.m ⁻³	2003	2010

La valeur pour les xylènes totaux est retenue.

3.2.7 LE FORMALDEHYDE (CAS N° 50-00-0)

Classification :

Directive 67/548/CEE (22^{ème} ATP) : Carc. Cat. 3 ; R40 – T ; R23/24/25 – C
R34 – R43

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Carc. 2 ; H315 – Acute Tox. 3 ; H301,
H311, H331 – Skin Corr. 1B ; H314 –
Skin Sens. 1 ; H317

Toxicité du formaldéhyde par inhalation :

Le formaldéhyde est une substance endogène, résultant du métabolisme cellulaire humain et animal. La principale voie d'exposition au formaldéhyde exogène est l'inhalation.

Lors d'exposition aiguë par inhalation à de très faibles concentrations (de l'ordre de 0,2 à 1,6 ppm soit 0,25 à 2 mg.m⁻³), le formaldéhyde est très irritant pour les yeux, le nez et la gorge. Les études chez l'animal confirment les effets observés chez l'homme.

Pour des expositions chroniques, le formaldéhyde induit des effets locaux au niveau des voies aériennes supérieures avec une irritation oculaire, du nez et de la gorge ainsi que des lésions de l'épithélium nasal. Chez l'animal, les mêmes effets sont constatés ainsi que des œdèmes pulmonaires pour de fortes concentrations.

Une étude épidémiologique a montré que le formaldéhyde était à l'origine de cancers du nasopharynx. Il semblerait également qu'il entraîne l'apparition de leucémies. Chez l'animal, les études disponibles fournissent une preuve suffisante du potentiel cancérigène du formaldéhyde. Le formaldéhyde est classé dans le groupe 1 par le CIRC et dans la catégorie 3 (ou 2 pour le CLP) par l'Union Européenne.

Il semblerait que le formaldéhyde soit génotoxique pour des concentrations élevées, cependant en raison de difficultés d'interprétation de certaines études, l'Union Européenne ne l'a pas classé génotoxique.

Il n'existe pas, en l'état actuel des connaissances, de preuves suffisantes permettant de conclure à la toxicité du formaldéhyde sur la reproduction et le développement embryofœtal. Le formaldéhyde n'a pas été classé toxique pour la reproduction et le développement par l'Union Européenne.

Valeur guide de l'air intérieur (AFSSET, 2007b) :

Il existe des VTR mais aussi des VGAI pour le formaldéhyde. C'est ces dernières qui, conformément à la méthode proposée ci-avant, sont retenues pour les effets à seuil :

- La valeur pour une exposition aiguë de 2 heures est fixée à 50 µg.m⁻³ pour les effets à seuil (valeur d'information et de recommandation du Haut Conseil de Santé Publique).

- La valeur pour une exposition chronique est fixée à $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour les effets à seuil (valeur cible du Haut Conseil de Santé Publique).

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2010) pour les effets sans seuil :

Substance chimique (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Formaldéhyde (50-00-0)	Sans seuil	Santé Canada	Inhalation	–	$\text{ERU}_i = 5,26 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}$	2000	2010

3.2.8 L'ACÉTALDEHYDE (CAS N° 75-07-0)

Classification :

Directive 67/548/CEE (19^{ème} ATP) : F+ ; R12 – Carc. Cat. 3 ; R40 – Xi ; R36/37

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Flam. Liq. 1 ; H224 – Carc. 2 ; H351 – Eye Irrit. 2 ; H319 – STOT SE 3 ; H335

Toxicité de l'acétaldéhyde par inhalation :

L'acétaldéhyde est une substance endogène, résultant du métabolisme de divers acides aminés. L'acétaldéhyde exogène est facilement absorbé par inhalation (45 à 70 %).

Chez l'homme, l'exposition aiguë à des vapeurs d'acétaldéhyde induit une irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires. Les mêmes effets sont observés chez l'animal ainsi qu'une diminution du rythme respiratoire.

Aucune donnée sur la toxicité chronique de l'acétaldéhyde par inhalation n'est disponible chez l'homme. Chez l'animal, une exposition chronique à de fortes concentrations induit une dégénérescence de l'épithélium olfactif pouvant s'accompagner d'une perforation de la cloison nasale, d'une hyperplasie et d'une métaplasie de l'épithélium olfactif.

Une étude épidémiologique chez les travailleurs exposés à l'acétaldéhyde montre une augmentation de l'incidence des cancers toutes causes confondues.

Chez l'animal, une augmentation de l'incidence des tumeurs laryngées, de la muqueuse nasale, des épithélia olfactifs et respiratoires sont observées. L'acétaldéhyde est classé par l'IARC dans le groupe 2B, par l'Union Européenne dans la catégorie 3 (ou 2 pour le CLP) et par l'US EPA dans la classe B2 sur la base des effets cancérogènes chez l'animal. L'acétaldéhyde n'est pas mutagène sur les cellules eucaryotes, seul un effet génotoxique *in vitro* est identifié mais n'est pas jugé suffisant par l'Union Européenne pour classer l'acétaldéhyde.

Aucune information sur la toxicité pour la reproduction et le développement n'est disponible chez l'homme. Chez l'animal, l'acétaldéhyde passe la barrière placentaire. L'acétaldéhyde a été étudié par l'Union Européenne mais il n'a pas été classé toxique pour la reproduction et le développement.

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2010) :

Substance chimique (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Acétaldéhyde (75-07-0)	A seuil	OEHA	Inhalation (chronique)	300	REL = 140 µg.m ⁻³	2008	2010
	Sans seuil	USEPA	Inhalation	-	ERU _i = 2,2.10 ⁻⁶ (µg.m ⁻³) ⁻¹	1991	2010

Valeurs toxicologiques de référence proposées par l'OEHHA pour des expositions aiguës (2008) :

L'OEHHA propose pour des expositions d'une heure et pour des effets à seuil, une REL de 470 µg.m⁻³.

3.2.9 L'ACROLEINE (CAS n° 107-02-8)

Classification :

Directive 67/548/CEE (28^{ème} ATP) : F ; R11 – T+ ; R26 – T ; R24/25 – C ; R34 – N ; R50

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Flam. Liq. 2 ; H225 – Acute Tox. 2 ; H330 – Acute Tox. 3 ; H301, H311 – Skin Corr. 1B ; H314 – Aquatic Acute 1 ; H400

Toxicité de l'acroléine par inhalation :

L'acroléine peut être absorbée par inhalation et une rétention dans le tractus respiratoire de 80 à 85 % des vapeurs inhalées est rapportée chez le chien. Toutefois, les effets toxiques limités au site d'exposition et sa réactivité envers les groupements thiols libres constituent un argument en faveur d'une faible absorption et d'une faible biodisponibilité de la substance. La voie urinaire est la voie principale d'élimination de l'acroléine après conjugaison avec le glutathion mais elle peut également être exhalée sous forme de CO₂.

Lors d'exposition aiguë chez l'homme, l'acroléine est un puissant irritant des muqueuses respiratoires et oculaires. Ces irritations sont associées à une dyspnée, une toux et des expectorations. Pour de fortes concentrations, l'acroléine peut induire des œdèmes du larynx, de la trachée, des bronches ainsi qu'un œdème hémorragique au niveau alvéolaire. L'évolution est associée à une surinfection et des séquelles du type bronchite chronique ou emphysème

pulmonaire. En cas d'intoxication systémique, l'acroléine peut induire des nausées, des vomissements, une hyper- ou hypotension, des convulsions ou un coma.

Chez l'animal, les mêmes effets sont observés ainsi que des perturbations de la coordination motrice, une cyanose des extrémités, une bradycardie, et une asphyxie pour de fortes concentrations.

Chez l'homme, les effets liés une exposition chronique à l'acroléine ne sont pas décrits. Chez l'animal, l'acroléine entraîne une altération de la fonction pulmonaire et des effets résultats de l'irritation des voies respiratoires (inflammation, métaplasie, hyperplasie).

À notre connaissance, aucune donnée épidémiologique concernant la cancérogénicité de l'acroléine n'est disponible. Chez l'animal, l'acroléine ne semble pas cancérogène par inhalation. L'acroléine est classée dans le groupe 3 par l'IARC et n'est pas classée par l'Union Européenne et l'US EPA.

Il est difficile d'évaluer la génotoxicité de l'acroléine du fait de sa forte cytotoxicité. L'acroléine n'est pas classée mutagène par l'Union Européenne.

Aucune étude par inhalation concernant la toxicité de l'acroléine sur la reproduction et développement chez l'homme et l'animal n'est disponible. L'acroléine n'est pas classée toxique pour la reproduction et le développement par l'Union Européenne.

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2011) :

Substances chimiques (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Acroléine (107-02-8)	Sans seuil	ATSDR	Inhalation (aiguë)	100	MRL = 6,87 µg.m ⁻³	2007	2011
		US EPA	Inhalation (chronique)	1 000	RfC = 0,02 µg.m ⁻³	2003	2011

3.2.10 L'ANTHRACENE (CAS N°120-12-7)

Classification :

Directive 67/548/CEE (31^{ème} ATP) : L'anthracène a fait l'objet d'un examen par l'Union européenne mais n'a pas été classé.

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : L'anthracène a fait l'objet d'un examen par l'Union européenne mais n'a pas été classé.

Toxicité de l'anthracène par inhalation :

Chez l'homme, il n'existe pas de données relatives à la distribution des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans l'organisme, cependant leur caractère lipophile leur permet de franchir les membranes cellulaires et d'être

stockés dans les différents tissus (foie, graisses). Ils sont métabolisés en composés plus hydro-solubles ce qui facilite leur élimination dans les fèces et les urines.

Chez l'animal, l'antracène traverse la barrière placentaire. Son principal métabolite est le 1,2-dihydrodiol, les autres métabolites urinaires sont le 1,2-dihydrodiol, le 9,10-anthraquinone, 9,10-dihydrodiol et le 2,9,10-trihydroxyanthracène.

Les données disponibles pour des expositions aiguës et chroniques ne correspondent pas à des expositions par inhalation.

L'antracène n'a pas été classé cancérigène ou génotoxique par l'Union Européenne, l'IARC le classe dans le Groupe 3 et l'US EPA en Classe D.

L'antracène n'a pas été classé toxique pour la reproduction et le développement par l'Union Européenne.

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2010) :

Substances chimiques (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Antracène (120-12-7)	Sans seuil	OEH HA/IN ERIS	Inhalation	-	ERU _i = 1,1.10 ⁻⁵ (µg.m ⁻³) ⁻¹	2003	2010

3.2.11 LE BENZO[A]ANTHRACENE (CAS N° 56-55-3)

Classification :

Directive 67/548/CEE (30^{ème} ATP) : Carc. Cat. 2 ; R45 – N ; R50-53

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Carc. 1B ; H350 – Aquatic Acute 1 ; H400 – Aquatic Chronic 1 ; H410

Toxicité du benzo[a]anthracène par inhalation :

A notre connaissance aucune information spécifique au benzo[a]anthracène suite à une exposition par inhalation n'est disponible.

Le benzo[a]anthracène est classé cancérigène de catégorie 2 (ou 1B pour le CLP) par l'Union Européenne et dans le groupe 2B de l'IARC. Il n'est pas classé par l'US EPA.

Le benzo[a]anthracène n'est pas classé mutagène ni toxique pour la reproduction et le développement par l'Union Européenne.

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2011) :

Substances chimiques (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Benzo[a]anthracène (56-55-3)	Sans seuil	OEH HA/IN ERIS	Inhalation	-	$ERU_i = 1,1 \cdot 10^{-4} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$	2003	2011

3.2.12 LE BENZO[A]PYRENE (CAS N° 50-32-8)

Classification :

Directive 67/548/CEE (29^{ème} ATP) : Carc. Cat. 2 ; R45 – Muta. Cat. 2 ; R46 – Repr. Cat. 2 ; R60-61 – R43 – N ; R50-53

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Carc. 1B ; H350 – Muta. 1B ; H340 – Repr. 1B ; H360FD – Skin Sens. 1 ; H317 – Aquatic Acute 1 ; H400 – Aquatic Chronic 1 ; H410

Toxicité du benzo[a]pyrène par inhalation :

Le benzo[a]pyrène peut être absorbé par inhalation. Son absorption est faible chez l'homme. Il se distribue majoritairement dans les tissus adipeux. Il est métabolisé majoritairement au niveau du foie par des monooxygénases à cytochrome P450 pour donner des métabolites formant des adduits à l'ADN. Le benzo[a]pyrène et ses métabolites sont principalement éliminés dans les fèces. Les données chez l'animal confirment ces informations chez l'homme.

Chez l'homme et l'animal, à notre connaissance aucune donnée n'est disponible pour une exposition aiguë par inhalation au benzo[a]pyrène.

Lors d'exposition chronique, le benzo[a]pyrène pourrait induire des effets respiratoires chez l'homme et l'animal.

Aucune information sur le caractère cancérigène du benzo[a]pyrène n'est possible sur le benzo[a]pyrène testé seul chez l'homme. Chez l'animal, le benzo[a]pyrène provoque des tumeurs des voies respiratoires. Le caractère génotoxique du benzo[a]pyrène chez l'homme se traduit par l'apparition d'adduits benzo[a]pyrène-ADN. Ces résultats sont confirmés chez l'animal.

Le benzo[a]pyrène est classé mutagène de catégorie 2 (ou 1B pour le CLP) et cancérigène de catégorie 2 (ou 1B pour le CLP) par l'Union Européenne. Il est également classé cancérigène de catégorie 1 par l'IARC et de catégorie B2 par l'US EPA.

Les rares études disponibles pour les effets sur la reproduction du benzo[a]pyrène chez l'homme montrent l'apparition d'adduits à l'ADN et aucune étude sur le développement n'est disponible. Chez l'animal, aucune étude par inhalation n'est disponible.

Le benzo[a]pyrène est classé toxique pour la reproduction et le développement de catégorie 2 (ou 1B pour le CLP).

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2010) :

Substances chimiques (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Benzo[a]pyrène (50-32-8)	Sans Seuil	OEH HA/IN ERIS	Inhalation	-	ERU _i = 1,1.10 ⁻³ (µg.m ⁻³) ⁻¹	2010	2010

3.2.13 LE CHRYSÈNE (CAS N° 218-01-9)

Classification :

Directive 67/548/CEE (29^{ème} ATP) : Carc. Cat. 2 ; R45 – Muta. Cat. 3 ; R68 – N ; R50-53

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Carc. 1B ; H350 – Muta. 2 ; H341 – Aquatic Acute 1 ; H400 – Aquatic Chronic 1 ; H410

Toxicité du chrysène par inhalation :

Des preuves indirectes de l'absorption du chrysène après inhalation ont été fournies par la détection de HAP, dont le chrysène et ses métabolites, dans des urines de fumeurs. Il est mesuré notamment au niveau du placenta et dans le lait maternel, le sang maternel et le cordon ombilical. Les études chez les animaux montrent que son absorption est effective mais sans quantification disponible. Il est ensuite rapidement et largement distribué préférentiellement dans le tissu adipeux, donc dans le tissu mammaire, ainsi que le cerveau, le foie et le sang. Le chrysène est métabolisé en dérivés dihydrodiols et phénols, avant une élimination par les fèces ou l'urine.

A notre connaissance, aucune donnée pour une exposition aiguë par inhalation n'est disponible chez l'homme et l'animal.

Aucune étude spécifique concernant les effets systémiques du chrysène n'est disponible pour des expositions chroniques. Seules des variations des taux d'immunoglobulines sériques ont été observées chez des travailleurs exposés à un mélange d'HAP, dont le chrysène. Une étude chez la souris pourrait expliquer cette immunosuppression par le rôle prépondérant des HAP à 4 cycles ou plus (dont fait partie le chrysène) dans ces effets immunotoxiques.

Aucune étude de cancérogenèse spécifique au chrysène n'est disponible chez l'homme. Cependant, des études épidémiologiques ont montré une augmentation de la mortalité due au cancer du poumon chez les individus exposés aux émissions des fours à coke, aux fumées de cigarettes ou aux émissions de

goudron, mélanges contenant entre autres du chrysène. Chez l'animal, aucune étude par inhalation n'est disponible.

Le chrysène a été classé cancérigène de catégorie 2 (ou 1B pour le CLP) et mutagène de catégorie 3 (ou 2 pour le CLP) par l'Union Européenne. Il fait partie du groupe 3 de l'IARC et de la classe B2 de l'US EPA.

A notre connaissance, aucune donnée n'est disponible chez l'homme et l'animal concernant les effets sur la reproduction et le développement de cette substance. Le chrysène a été examiné par l'Union Européenne mais n'a pas été classé pour ses effets reprotoxiques.

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2010) :

Substances chimiques (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Chrysène (218-01-9)	Sans seuil	OEH HA/IN ERIS	Inhalation	–	$ERU_i = 1,1 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$	2003/2009	2010

3.2.14 LE FLUORANTHÈNE (CAS N° 206-44-0)

Classification :

Directive 67/548/CEE (31^{ème} ATP) : Non classé, le fluoranthène n'a pas fait l'objet d'un examen par l'Union européenne.

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Non classé, le fluoranthène n'a pas fait l'objet d'un examen par l'Union européenne.

Toxicité du fluoranthène par inhalation :

Les rares données disponibles chez l'homme et l'animal ne correspondent pas à des expositions par inhalation.

Le fluoranthène n'a pas été évalué par l'Union Européenne. Le CIRC le classe dans le groupe 3 et l'US-EPA dans le groupe D.

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2010) :

Substances chimiques (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Fluoranthène (206-44-0)	Sans seuil	OEH HA/IN ERIS	Inhalation	–	$ERU_i = 1,1 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$	2003	2010

3.2.15 LE FLUORENE (CAS N° 86-73-7)

Classification :

Directive 67/548/CEE (31^{ème} ATP) : Non classé, le fluorène n'a pas fait l'objet d'un examen par l'Union européenne.

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Non classé, le fluorène n'a pas fait l'objet d'un examen par l'Union européenne.

Toxicité du fluorène par inhalation :

Les rares données disponibles ne correspondent pas à des expositions par inhalation.

Le fluorène n'a pas fait l'objet d'un examen par l'Union Européenne pour son caractère mutagène et cancérigène ; il est classé dans le groupe 3 de l'IARC et dans la classe D par l'US EPA.

Le fluorène n'a pas fait l'objet d'un examen par l'Union Européenne pour la toxicité sur la reproduction et le développement.

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2010) :

Substances chimiques (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Fluorène (86-73-7)	Sans seuil	OEH HA/IN ERIS	Inhalation	–	$ERU_i = 1,1 \cdot 10^{-6}$ ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) ⁻¹	2003	2010

3.2.16 LE NAPHTALENE (CAS N° 91-20-3)

Classification :

Directive 67/548/CEE (29^{ème} ATP) : Carc. Cat. 3 ; R40 – Xn ; R22 – N ; R50–53

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Carc. 2 ; H351 – Acute Tox. 4 ; H302 – Aquatic Acute 1 ; H400 – Aquatic Chronic 1 ; H410

Toxicité du naphthalène par inhalation :

Très peu d'informations concernant l'absorption du naphthalène sont disponibles. Il a été admis qu'il pouvait être absorbé par le tractus respiratoire. Le naphthalène se distribue dans les tissus graisseux et passe dans le lait maternel. La métabolisation hépatique par les cytochromes P450 induit des métabolites le 1-naphtol, le 2-naphtol, les 1,2- ou 1,4-naphtoquinones après formation d'époxydes intermédiaires réactifs. La majorité du naphthalène absorbé semble être éliminée

sous forme de divers métabolites dans les urines. Les individus déficients en glucose-6-phosphate déshydrogénase (G6PD) constituent une population sensible tout comme les enfants. Chez l'animal, l'absorption est rapide et la distribution n'est pas spécifique des tissus graisseux. La métabolisation est essentiellement hépatique mais elle est également observée dans d'autres tissus comme les poumons.

Lors d'expositions aiguës chez l'homme, le naphthalène induit des anémies hémolytiques, des atteintes hépatiques et des irritations oculaires. Les populations déficientes en G6PD sont particulièrement concernées. Chez l'animal, les mêmes effets sont observés ainsi que des atteintes pulmonaires.

Les rares cas d'exposition chronique chez l'homme mettent en évidence des anémies hémolytiques et des cataractes. Chez l'animal, des lésions pulmonaires et des voies aériennes supérieures, de type inflammation chronique, sont également observées.

La seule étude de cancérogénicité disponible chez l'homme ne permet aucune conclusion. Chez l'animal, le naphthalène induit le développement d'hémangiosarcomes, d'adénomes de l'épithélium respiratoire nasal et de neuroblastomes de l'épithélium olfactif. Les effets cancérogènes seraient probablement secondaires à un mécanisme d'inflammation chronique en lien avec un stress oxydatif. Sur la base des effets observés chez l'animal, le naphthalène est classé cancérogène de catégorie 3 (ou 2 pour le CLP) par l'Union Européenne, dans le groupe 2B par l'IARC et dans la classe C par l'US EPA.

Le naphthalène n'est pas classé génotoxique par l'Union Européenne en l'absence de résultats clairs concordants.

Les effets du naphthalène sur la reproduction et le développement n'ont pas été spécifiquement étudiés. En l'absence de résultats positifs, le naphthalène n'est pas classé par l'Union Européenne.

Valeur guide de l'air intérieur (AFSSET, 2009) :

Il existe des VTR mais aussi une VGAI pour le naphthalène. C'est cette dernière qui, conformément à la méthode proposée ci-avant, est retenue pour les effets à seuil :

La valeur pour une exposition chronique est fixée à $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour les effets à seuil.

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2010) :

Substance chimique (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Naphtalène (91-20-3)	Sans seuil	OEHA	Inhalation (chronique)	–	$ERU_i = 3,4 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$	2005	2010

3.2.17 LE PHENANTHRENE (CAS N° 85-01-8)

Classification :

Directive 67/548/CEE (31^{ème} ATP) : Non classé, le phénanthrène n'a pas fait l'objet d'un examen par l'Union européenne.

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Non classé, le phénanthrène n'a pas fait l'objet d'un examen par l'Union européenne.

Toxicité du phénanthrène par inhalation :

Très peu de données concernant l'absorption et le devenir du phénanthrène dans l'organisme humain sont disponibles. Cependant il semblerait que, comme tous les HAP, le phénanthrène pénètre dans l'organisme par voie pulmonaire. Aucune donnée, chez l'homme, ne traite spécifiquement de la distribution dans l'organisme du phénanthrène et de son métabolisme. Toutefois, la similitude de structure entre le phénanthrène et les autres composés aromatiques tels que le naphtalène, laisse penser que la dégradation du phénanthrène dans l'organisme est similaire à celle du naphtalène. Une fois absorbé, le phénanthrène est principalement excrété dans les urines, sous forme de phénanthrols (utilisés pour le suivi d'expositions professionnelles).

Aucune donnée de toxicité aiguë n'est disponible chez l'homme. Chez l'animal, les rares données disponibles pour des expositions aiguës ne correspondent pas à des expositions par inhalation.

A ce jour, aucune donnée concernant les effets systémiques, cancérigènes et reprotoxiques du phénanthrène après une exposition chronique par inhalation chez l'homme ou chez l'animal n'est disponible.

Le phénanthrène n'a pas fait l'objet d'un examen par l'Union européenne. Il est classé dans le groupe 3 par l'IARC et en classe D par l'US EPA.

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2009) :

Substances chimiques (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Phénanthrène (85-01-8)	Sans seuil	OEH HA/IN ERIS	Inhalation	-	$ERU_i = 1,1 \cdot 10^{-6}$ ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) ⁻¹	2003	2009

3.2.18 LE PYRENE (CAS n° 129-00-0)

Classification :

Directive 67/548/CEE (31^{ème} ATP) : Non classé, le pyrène n'a pas fait l'objet d'un examen par l'Union européenne.

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Non classé, le pyrène n'a pas fait l'objet d'un examen par l'Union européenne.

Toxicité du pyrène par inhalation :

Les HAP peuvent être absorbés par inhalation. Leur caractère lipophile leur confère une grande facilité à franchir les membranes cellulaires et leur permet d'être stockés dans les différents tissus. Ils sont généralement métabolisés en composés plus hydrosolubles pour faciliter leur élimination (fèces et urine). Le 1-hydroxy-pyrène est le principal métabolite du pyrène ; il est présent dans les urines.

Aucune donnée de toxicité aiguë ou chronique n'est disponible chez l'homme et l'animal pour des expositions par inhalation.

Le pyrène n'a pas fait l'objet d'un examen par l'Union européenne. Il est classé dans le groupe 3 par l'IARC et en classe D par l'US EPA.

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2010) :

Substances chimiques (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Pyrène (129-00-0)	Sans seuil	OEH HA/IN ERIS	Inhalation	-	$ERU_i = 1,1 \cdot 10^{-6}$ ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) ⁻¹	2003	2010

3.2.19 LE PHENOL (CAS N° 108-95-2)

Classification :

Directive 67/548/CEE (29^{ème} ATP) : Muta. Cat. 3, R68 – T, R23/24/25 – Xn, R48/20/21/22 – C, R34

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Muta. 2 ; H341 – Acute Tox. 3 ; H301, H311, H331 – STOT RE 2 ; H373 – Skin Corr. 1B ; H314

Toxicité du phénol par inhalation :

Chez l'homme, le phénol est rapidement absorbé et distribué dans tous les tissus. Les organes cibles sont le cerveau et les reins. Le phénol est métabolisé dans le foie, les poumons et la muqueuse gastro-intestinale. Le phénylsulfate est le principal métabolite du phénol. Seule une petite fraction du phénol est transformée en métabolites réactifs. L'élimination du phénol et de ses métabolites, glucuro, ou sulfo-conjugués, est urinaire. Les concentrations urinaires en phénol sont corrélées avec les niveaux d'exposition.

Lors d'expositions aiguës chez l'homme, le phénol induit des effets systémiques : un choc cardiovasculaire, une acidose métabolique sévère, des hyperventilations, des atteintes rénales, et méthémoglobinémies, ainsi que des urines teintées en noires.

Chez l'homme, l'exposition chronique par inhalation aux vapeurs de phénol induit un « marasme phénique » caractérisé par une anorexie, une perte de poids, des céphalées, des vertiges, une hyper-salivation et des urines teintées en noir.

Chez l'animal, les effets ne sont retrouvés que pour des expositions subaiguës et ne sont pas observés lors d'exposition chronique. Il s'agit d'altérations du système nerveux central (réflexe d'agrippement et fonction vestibulaire) et hépatique (augmentation des activités sériques des enzymes hépatiques).

Chez l'homme, le phénol semble augmenter la survenue de certains cancers ; cependant aucun résultat n'est statistiquement significatif, et aucune relation dose effet ne peut être établie. Chez l'animal, à notre connaissance, aucune donnée par inhalation n'est disponible. Le CIRC estime que le phénol ne peut être classé pour ses effets cancérigènes (catégorie 3). Il n'est pas classé cancérogène par l'Union Européenne, cependant, il est classé mutagène catégorie 3 (ou catégorie 2 pour le CLP).

Chez l'homme et l'animal, à notre connaissance, il n'existe pas de donnée disponible par inhalation concernant la toxicité pour la reproduction ou le développement. Le phénol n'est pas classé reprotoxique par l'Union Européenne.

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS (2010) :

Substances chimiques (n°CAS)	Type d'effet	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision de VTR	Date de choix
Phénol (108-95-2)	A seuil	OEHA	Inhalation (chronique)	1000	REL = $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	2003	2010

Valeurs toxicologiques de référence proposées par l'OEHHA pour des expositions aiguës (2008) :

L'OEHHA propose pour des expositions d'une heure et pour des effets à seuil, une REL de $5\,800 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

3.2.20 LE MONOXYDE DE CARBONE (CAS N° 630-08-0)

Classification :

Directive 67/548/CEE (22^{ème} ATP) : F+ ; R12 – Repr. Cat. 1 ; R61 – T ; R23–48/23

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Flam. Gas 1 ; H220 – Press. Gas – Repr. 1A ; H360D – Acute Tox. 3 ; H331 – STOT RE 1 ; H372

Toxicité de l'oxyde de carbone par inhalation :

Chez l'homme comme chez l'animal, le monoxyde de carbone est absorbé par les poumons et diffuse à travers des membranes alvéolo-capillaires. Le taux d'absorption diminue régulièrement pour atteindre un état d'équilibre. Le monoxyde de carbone absorbé se fixe sur l'hémoglobine (80 à 90 %) et diminue la libération d'oxygène dans les tissus. La concentration en carboxyhémoglobine augmente rapidement puis atteint un plateau à la fin d'une exposition de 8 heures. Le monoxyde de carbone est essentiellement éliminé par ventilation pulmonaire et la demi-vie est de 3 à 5 heures.

Lors d'exposition aiguë à de fortes concentrations chez l'homme, le monoxyde de carbone induit une paralysie des membres, un coma, des convulsions et en l'absence de traitement, évolue rapidement vers le décès. Pour de plus faibles concentrations, il entraîne des troubles digestifs (nausées, vomissements), des céphalées, une asthénie, des vertiges ainsi que des troubles de l'humeur et du comportement. Chez l'animal, les mêmes effets sont observés.

Chez l'homme, l'exposition chronique induit des céphalées, des vertiges, une asthénie et des troubles digestifs. Il semblerait que le monoxyde de carbone favorise le développement d'une ischémie myocardique à l'effort chez des sujets ayant une coronaropathie existante. Chez l'animal, des phénomènes cardiovasculaires compensatoires sont rapportés suite à une exposition prolongée au monoxyde de carbone.

Les données disponibles ne permettent pas de conclure sur le potentiel génotoxique et cancérigène du monoxyde de carbone et il n'est pas classé génotoxique ni cancérigène par l'Union Européenne.

Le monoxyde de carbone est fœtotoxique lors d'une intoxication grave chez l'homme. Il peut entraîner la mort du fœtus, de graves séquelles neurologiques ou un retard de croissance. Chez l'animal, des effets fœtotoxiques sont également observés. Le monoxyde de carbone est classé reprotoxique de catégorie 1 (ou 1A pour le CLP) par l'Union Européenne.

Valeur guide de l'air intérieur (AFSSET, 2007a) :

Il existe des VTR mais aussi des VGAI pour le monoxyde de carbone. C'est ces dernières qui, conformément à la méthode proposée ci-avant, sont retenues pour les effets à seuil.

La valeur pour une exposition aiguë de 1 heure est fixée à 30 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour les effets à seuil.

3.2.21 LES OXYDES D'AZOTE (DIOXYDE D'AZOTE : CAS N°10102-44-0 ET MONOXYDE D'AZOTE : CAS N°10102-43-9)

Classification du dioxyde d'azote :

Directive 67/548/CEE (31^{ème} ATP) : O ; R8 – T+ ; R26 – C ; R34

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Press. Gas – Ox. Gas 1 ; H270 – Acute Tox. 2 ; H330 – Skin Corr. 1B ; H314

Classification du monoxyde d'azote :

Directive 67/548/CEE (31^{ème} ATP) : Le monoxyde d'azote a fait l'objet d'un examen par l'Union européenne mais n'a pas été classé.

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Le monoxyde d'azote a fait l'objet d'un examen par l'Union européenne mais n'a pas été classé.

Toxicité des oxydes d'azote par inhalation :

Chez l'homme, la principale voie d'exposition au NO et au NO₂ est l'inhalation. La faible solubilité du NO peut expliquer l'action locale pulmonaire avant passage systémique. Le NO₂ pénètre profondément dans le tractus respiratoire, du fait de sa faible hydrosolubilité. Le taux d'absorption est de 81 à 90 %. Le NO₂ entraîne une lipopéroxydation des membranes des cellules alvéolaires. Après absorption, il est transformé en acide nitrique (HNO₃) puis ions nitrites (NO₂⁻) dans la circulation sanguine et provoque la formation de méthémoglobine.

La majeure partie des ions nitrites est excrétée dans l'urine par les reins.

Chez l'homme, l'intoxication aiguë au NO₂ et NO évolue de manière chronologique en une irritation des muqueuses oculaires et respiratoires qui régresse rapidement dès la fin de l'exposition, une rémission plus ou moins asymptomatique (6–24 h) et le développement d'un œdème pulmonaire associé à une détresse respiratoire, parfois déclenché par un effort léger.

Le NO induit des altérations de la résistance des voies aériennes et une hyperréactivité bronchique à la métacholine. L'intoxication au NO affecte

également le système cardiovasculaire, notamment chez les populations les plus sensibles.

Le NO₂ entraîne une réaction inflammatoire au niveau des voies aériennes ; les asthmatiques constituent le groupe de la population le plus sensible.

Chez l'homme, le NO a une action toxique au niveau des plaquettes, et induit la formation de nitrosylhémoglobine et de méthémoglobine. Il a également des effets respiratoires.

Les enfants exposés au NO₂ dans l'air intérieur ont des symptômes respiratoires plus marqués et des prédispositions à des maladies respiratoires chroniques d'apparitions plus tardives, sans pour autant qu'il y ait une augmentation de leur fréquence. Les études chez les adultes n'ont pas montré d'augmentation de la fréquence des symptômes respiratoires.

Les enfants exposés au NO₂ dans l'air extérieur montrent un allongement de la durée des symptômes respiratoires. Pour les adultes, la corrélation entre exposition et pathologies respiratoires chroniques n'est pas claire.

Chez l'animal, les effets d'une exposition au NO et NO₂ sont des altérations du système immunitaire, du foie et des poumons (diminution de la mécanique ventilatoire, effets sur la morphologie des poumons).

Le NO et NO₂ n'ont pas été classés cancérigènes par l'UE, l'US EPA et l'IARC ; le NO n'a pas été étudié par l'UE. Différentes études ont montré des résultats positifs quant à la génotoxicité du NO₂, néanmoins il n'a pas été classé par l'UE. Le NO n'a pas été étudié.

Chez l'animal, le NO₂ induit des effets neuro-comportementaux, des signes d'embryotoxicité. En revanche, aucun effet tératogène ou sur la spermatogenèse n'est rapporté. Le NO n'a pas été étudié par l'UE, et le NO₂ n'est pas classé reprotoxique.

Valeurs guides de référence proposées par l'OMS (2005) pour le dioxyde d'azote :

Pour le dioxyde d'azote, l'OMS a fixé les valeurs de référence suivantes (OMS, 2005) :

- exposition moyenne horaire : 200 µg.m⁻³ ;
- exposition moyenne annuelle : 40 µg.m⁻³.

Valeurs toxicologiques de référence pour le monoxyde d'azote :

Il n'existe pas de VTR pour des expositions par inhalation.

3.2.22 RECAPITULATIF

Le Tableau 23 récapitule l'ensemble des choix de valeurs de référence pour les substances dont les effets sont décrits ci-avant (valeur toxicologique de référence –VTR-, valeur guide –VG-, valeur guide de l'air intérieur –VGAI-).

Tableau 23 : Synthèse des valeurs de référence retenues par l'INERIS pour les substances de l'étude.

Bougies	Encens	VTR / VG / VGAI ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)				
		Agence	Aigu		Chronique	
					A seuil	Sans seuil
PM _{2,5}		OMS	1j	25	10	-
PM ₁₀		OMS	1j	50	20	-
Benzène		ANSES	14 j	30	10	5,00E-06
Toluène		ATSDR/US EPA	1j	3 800	5 000	-
Éthylbenzène		ATSDR/OEH HA	1j	22 000	300	2,50E-06
	Styrène	OEHHA/ATSDR	1h	21 000	860	-
	Xylènes	ATSDR/RIVM	1j	8 800	870	-
Formaldéhyde		ANSES/Santé Canada	2h	50	10	5,26E-06
Acétaldéhyde		OEHHA/US EPA	1h	470	140	2,20E-06
Acroléine		ATSDR/USEPA	1j	6,87	0,02	-
Anthracène		OEHHA/INERIS	-	-	-	1,1E-05
Benzo(a)anthracène		OEHHA/INERIS	-	-	-	1,10E-04
Benzo(a)pyrène		OEHHA/INERIS	-	-	-	1,10E-03
Chrysène		OEHHA/INERIS	-	-	-	1,10E-05
Fluoranthène		OEHHA/INERIS	-	-	-	1,1E-06
Fluorène		OEHHA/INERIS	-	-	-	1,1E-06
Naphtalène		ANSES/OEH HA	-	-	10	3,4E-05
Phénanthrène		OEHHA/INERIS	-	-	-	1,1E-06
Pyrène		OEHHA/INERIS	-	-	-	1,1E-06
	Phénol	OEHHA	1h	5 800	200	
	CO	ANSES	1h	30 000		
	NO	-	-	-	-	-
	NO ₂	OMS/AI	1h	200	40	-

3.3 CARACTERISATION DE L'EXPOSITION

Dans cette étude concernant l'utilisation de bougies, parfumées ou non, et d'encens l'exposition cible la population générale et le logement.

3.3.1 MODELE DE DISPERSION

Compte-tenu des données disponibles dans la littérature, à savoir les taux d'émission des bougies et des encens (en g/h de combustion), un modèle de dispersion à zone homogène, ou monozone, a été utilisé afin de simuler l'évolution des concentrations en fonction du temps.

Hypothèses de départ :

- Pièce de 30 m³ ;
- Taux de renouvellement d'air (TRA) de 0,5 h⁻¹ ;
- Concentrations initiales dans la pièce fixée à 0 pour chaque polluant ;
- Absence de prise en compte de phénomènes d'absorption-désorption sur les différentes surfaces de la pièce (murs, ameublements, décoration...) et de réactions chimiques entre les composés dans l'air ;
- Temps d'exposition : les concentrations sont calculées pour une journée ;

La taille de la pièce ainsi que le TRA sont issus de la procédure de qualification des émissions de composés organiques volatils par les matériaux de construction et produits de décoration (ANSES, 2009).

L'évolution de la concentration dans la pièce suit alors les équations suivantes :

$$\text{En cours de combustion : } C(t) = C_0 + \frac{E}{kV}(1 - e^{-kt}) \quad \text{Équation 1}$$

$$\text{Combustion finie : } C(t) = C_{\max} \times e^{-k(t-T)} \quad \text{Équation 2}$$

Avec :

- C(t) : concentration dans la pièce au temps t
- C₀ : concentration initiale à l'équilibre en µg/m³
- E : taux d'émission en µg/h
- K : taux de renouvellement d'air en h⁻¹
- V : volume de la pièce en m³
- C_{max} : concentration maximale en µg/m³
- T : temps en h lors de l'atteinte de C_{max}

La concentration dans la pièce évolue alors selon la courbe suivante (Figure 1). Lorsque la bougie ou l'encens s'éteint la concentration atteint alors C_{max} au temps T.

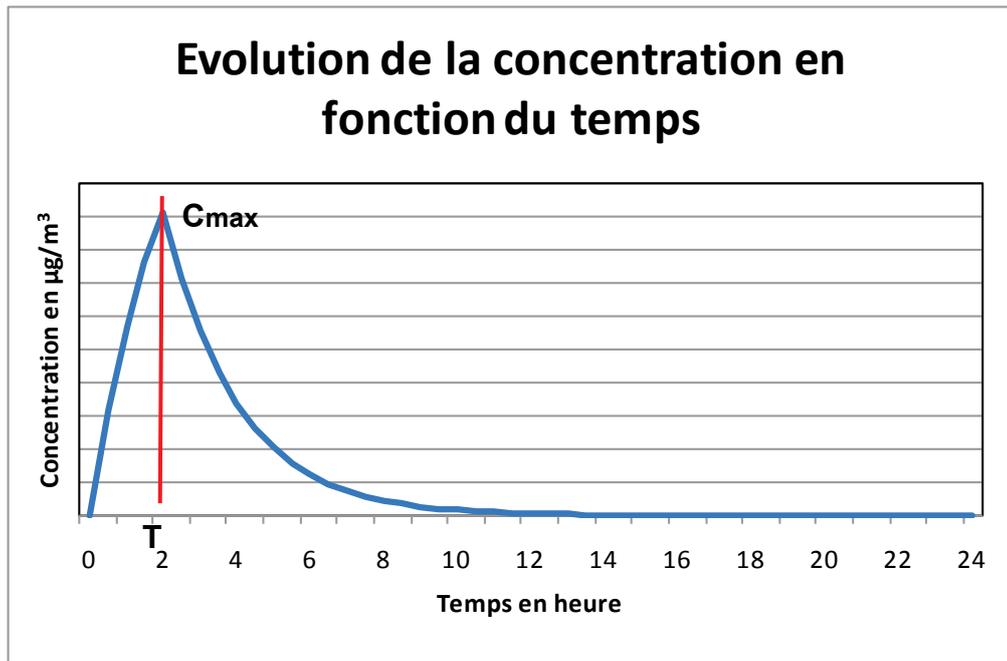


Figure 1 : Courbe de l'évolution de la concentration d'un polluant dans la pièce sur 24h (2h de combustion).

Tableau 24 : Fréquence d'usage des produits de consommation dans un échantillon de population (Écover, 2009)

	Au moins 1 fois / jour	Presque tous les jours	Presque toutes les semaines	Moins d'1 fois / mois	Jamais
Parfums d'ambiance, bougies parfumées	9,1 %	13,1 %	11,7 %	15,2 %	51 %

b) L'environnement

L'environnement considéré est l'air intérieur des logements. L'objectif de l'étude est de déterminer l'impact potentiel des bougies et des encens sur l'exposition des populations lorsque le produit est utilisé dans la pièce principale de la maison.

c) Paramètres quantitatifs de l'exposition

Pour l'exposition aiguë, deux types de données sont utilisées, en fonction du pas de temps de la valeur de référence. Pour les valeurs de référence construites pour une exposition de 1 jour, les concentrations moyennes journalières sont utilisées. Lorsque la valeur de référence est construite pour une exposition de 1 à quelques heures, la concentration moyenne maximale sur ce même pas de temps est utilisée.

Pour l'exposition chronique, celle-ci est quantifiée à partir de la concentration moyenne journalière. Cette concentration est ensuite pondérée par le scénario d'utilisation choisi pour une exposition « vie entière ».

Pour ces deux expositions, deux jeux de données d'entrée sont utilisées pour calculer les concentrations :

- Les taux d'émission maximum issus des données de la littérature afin de travailler sur un scénario « pire cas » en imaginant un produit très émissif pour tous les composés cible ;
- Les taux d'émission moyens, à savoir la moyenne des moyennes de la littérature, pour travailler sur un scénario utilisant un produit de qualité moyenne du marché.

3.3.4 SCENARIOS D'EXPOSITION

Pour les scénarios d'exposition, les pas de temps de l'étude du CREDOC sont retenus : 1 fois par jour, 1 fois par semaine et 1 fois par mois, avec :

- pour les bougies : combustion sur 1 heure ou sur 4 heures ;
- pour les encens : combustion complète de 30 minutes.

3.4 ÉVALUATION DU RISQUE DANS UN OBJECTIF DE CLASSIFICATION

Dans le but de classer les bougies et les encens selon le pouvoir émissif de substances dangereuses pour la santé, et d'identifier les substances pouvant être retenues comme « candidates » en vue de l'étiquetage, la démarche de l'ERS a été appliquée jusqu'à « la caractérisation du risque ». Toutefois, des précautions doivent être prises et la terminologie des termes employés est spécifique au travail mené dans ce rapport.

Ainsi, compte-tenu du niveau d'approche très macroscopique des scénarios et des données utilisées, les termes « quotient de danger » et « excès de risque individuels » sont remplacés par la notion « d'indicateur de risque ». En effet, par exemple, dans le calcul de ces indicateurs, la concentration inhalée est remplacée par la concentration dans l'air de la pièce, issue des données évoquées précédemment, et la valeur toxicologique de référence (VTR) peut être remplacée par une valeur guide (VG). Cela ne respecte donc pas exactement l'approche plus « académique » de l'ERS.

La distinction entre les indicateurs de risque pour les substances avec des effets à seuil ou sans seuil est maintenue.

Pour les substances avec effet à seuil :

L'indicateur de risque (*Ir*) est calculé pour des effets aigus et des effets chroniques :

$$Ir = C/VR$$

Avec : C : Concentration moyenne dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
VR : Valeur de référence ; VG, VGAI ou VTR (effet à seuil).

Dans le cadre classique des évaluations de risque sanitaire, on estime globalement que le risque est acceptable lorsque ce quotient est inférieur à 1.

Pour les substances avec effet sans seuil :

L'indicateur de risque pour les effets sans seuil (*IR*) est calculé pour une exposition « vie entière » :

$$IR = C \times ERU \times T/Tm$$

Avec : C : Concentration moyenne dans l'air $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
ERU : Excès de risque unitaire ($\mu\text{g}.\text{m}^3$)⁻¹ ;
T : durée d'exposition (années) ;
Tm : durée de vie entière standard (70 ans).

Dans ce rapport, dans l'hypothèse du scénario « vie entière » : T/Tm = 1.

L'indicateur de risque pour les effets sans seuil est construit en utilisant 10^{-5} comme valeur repère d'acceptation sociale du risque.

3.4.1 CARACTERISATION DU RISQUE POUR LES BOUGIES

Les tableaux de calcul (fiches de synthèse) des indicateurs de risque (Ir et IR) sont présentés en annexe 1.

a) Scénario : taux d'émission maximum – combustion 1h

L'ensemble des résultats sont présentés dans le Tableau 25.

Pour les effets à seuil, seule l'acroléine, lors d'une utilisation quotidienne semble présenter un risque chronique pour la population.

Tableau 25 : Indicateurs de risque pour l'ensemble des substances cible de l'émission des bougies (taux d'émission max. et combustion 1h).

	Ir aigu à seuil	Ir Chronique à seuil			IR (effet sans seuil)		
		1/j	1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois
PM _{2,5}	1E-01	3E-01	4E-02	1E-02			
PM ₁₀	7E-02	2E-01	2E-02	6E-03			
Benzène	8E-05	3E-04	4E-05	8E-06	1E-08	2E-09	4E-10
Toluène	1E-06	9E-07	1E-07	3E-08			
Ethylbenzène	2E-07	1E-05	2E-06	4E-07	9E-09	1E-09	3E-10
Formaldéhyde	5E-03	6E-03	8E-04	2E-04	3E-07	4E-08	1E-08
Acétaldéhyde	2E-04	2E-04	2E-05	5E-06	5E-08	7E-09	2E-09
Acroléine	7E-03	3E+00	4E-01	8E-02			
Fluoranthène					7E-12	1E-12	2E-13
Pyrène					2E-11	3E-12	7E-13
Phénanthrène					3E-11	4E-12	1E-12
Anthracène					5E-11	7E-12	2E-12
Benzo(a)anthracène					7E-10	1E-10	2E-11
Naphtalène		7E-07	1E-07	2E-08	3E-10	4E-11	8E-12
Fluorène					4E-12	6E-13	1E-13
Chrysène					2E-09	2E-10	5E-11
Benzo(a)pyrène					8E-08	1E-08	2E-09

b) Scénario : taux d'émission moyen – combustion 1h

Les résultats sont présentés dans le Tableau 26.

Malgré la baisse du taux d'émission en donnée d'entrée, l'acroléine présente potentiellement un risque chronique en utilisation quotidienne.

Tableau 26 : Indicateurs de risque pour l'ensemble des substances cible de l'émission des bougies (taux d'émission moy. et combustion 1h).

	Ir aigu à seuil	Ir Chronique à seuil			IR (effet sans seuil)		
		1/j	1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois
PM _{2,5}	7E-02	2E-01	2E-02	6E-03			
PM ₁₀	3E-02	9E-02	1E-02	3E-03			
Benzène	5E-05	2E-04	2E-05	5E-06	8E-09	1E-09	3E-10
Toluène	5E-07	4E-07	6E-08	1E-08			
Ethylbenzène	1E-07	8E-06	1E-06	3E-07	6E-09	9E-10	2E-10
Formaldéhyde	4E-03	5E-03	7E-04	2E-04	3E-07	4E-08	9E-09
Acétaldéhyde	2E-04	1E-04	2E-05	4E-06	4E-08	6E-09	1E-09
Acroléine	5E-03	2E+00	2E-01	6E-02			
Fluoranthène					1E-12	1E-13	3E-14
Pyrène					2E-12	2E-13	5E-14
Phénanthrène					1E-12	2E-13	5E-14
Anthracène					3E-12	4E-13	1E-13
Benzo(a)anthracène					6E-11	8E-12	2E-12
Naphtalène		5E-08	8E-09	2E-09	2E-11	3E-12	6E-13
Fluorène					7E-13	9E-14	2E-14
Chrysène					2E-10	2E-11	5E-12
Benzo(a)pyrène					8E-09	1E-09	2E-10

c) Scénario : taux d'émission maximum – combustion 4h

L'ensemble des résultats est présenté dans le Tableau 27.

L'acroléine reste le seul composé avec un risque chronique potentiel mais en augmentant le temps de combustion de la bougie, le risque semble persister lors d'une utilisation hebdomadaire.

Tableau 27 : Indicateurs de risque pour l'ensemble des substances cible de l'émission des bougies (taux d'émission max. et combustion 4h).

	Ir aigu à seuil	Ir Chronique à seuil			IR (effet sans seuil)		
		1/j	1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois
PM _{2,5}	4E-01	9E-01	1E-01	3E-02			
PM ₁₀	2E-01	5E-01	7E-02	2E-02			
Benzène	3E-04	8E-04	1E-04	3E-05	4E-08	5E-09	1E-09
Toluène	4E-06	3E-06	4E-07	9E-08			
Ethylbenzène	5E-07	4E-05	5E-06	1E-06	3E-08	4E-09	9E-10
Formaldéhyde	1E-02	2E-02	3E-03	6E-04	9E-07	1E-07	3E-08
Acétaldéhyde	6E-04	5E-04	7E-05	2E-05	1E-07	2E-08	5E-09
Acroléine	2E-02	8E+00	1E+00	3E-01			
Fluoranthène					2E-11	3E-12	7E-13
Pyrène					6E-11	9E-12	2E-12
Phénanthrène					9E-11	1E-11	3E-12
Anthracène					1E-10	2E-11	5E-12
Benzo(a)anthracène					2E-09	3E-10	7E-11
Naphtalène		2E-06	3E-07	7E-08	8E-10	1E-10	3E-11
Fluorène					1E-11	2E-12	4E-13
Chrysène					5E-09	7E-10	2E-10
Benzo(a)pyrène					2E-07	3E-08	7E-09

d) Scénario : taux d'émission moyen – combustion 4h

Les résultats sont présentés dans le Tableau 28.

L'utilisation des taux d'émission moyens comme données d'entrée ne permet pas d'écarter un risque chronique potentiel lié à l'acroléine, mais celui-ci reste limité à l'utilisation quotidienne d'une bougie pendant 4 heures.

Tableau 28 : Indicateurs de risque pour l'ensemble des substances cible de l'émission des bougies (taux d'émission moy. et combustion 4h).

	Ir aigu à seuil	Ir Chronique à seuil			IR (effet sans seuil)		
		1/j	1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois
PM _{2,5}	2E-01	5E-01	7E-02	2E-02			
PM ₁₀	1E-01	3E-01	4E-02	8E-03			
Benzène	2E-04	5E-04	7E-05	2E-05	2E-08	3E-09	8E-10
Toluène	2E-06	1E-06	2E-07	4E-08			
Ethylbenzène	3E-07	3E-05	4E-06	8E-07	2E-08	3E-09	6E-10
Formaldéhyde	1E-02	2E-02	2E-03	5E-04	8E-07	1E-07	3E-08
Acétaldéhyde	5E-04	4E-04	5E-05	1E-05	1E-07	2E-08	4E-09
Acroléine	1E-02	5E+00	7E-01	2E-01			
Butyraldéhyde							
Benzaldéhyde							
Fluoranthène					3E-12	4E-13	1E-13
Pyrène					5E-12	7E-13	2E-13
Phénanthrène					4E-12	6E-13	1E-13
Anthracène					9E-12	1E-12	3E-13
Benzo(a)anthracène					2E-10	2E-11	6E-12
Naphtalène		2E-07	2E-08	5E-09	5E-11	8E-12	2E-12
Fluorène					2E-12	3E-13	7E-14
Chrysène					5E-10	7E-11	2E-11
Benzo(a)pyrène					2E-08	3E-09	7E-10

3.4.2 CARACTERISATION DU RISQUE POUR LES ENCENS

Les tableaux de calcul (fiches de synthèse) des indicateurs de risque sont présentés en annexe 2.

a) Scénario : taux d'émission maximum – combustion de 30 min

L'ensemble des résultats sont présentés dans le Tableau 29.

En utilisant les taux d'émission maximum comme données d'entrée, l'utilisation d'encens pourrait présenter des risques aigus, chroniques et cancérogènes.

Le risque de survenue d'effets aigus est tiré par les émissions de particules (PM_{2,5} et PM₁₀), par le formaldéhyde et par l'acroléine.

Les particules et l'acroléine semblent également présenter des risques chroniques pour la population quel que soit le scénario d'utilisation.

Le benzène, le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et l'acroléine présentent potentiellement un risque chronique lors d'une utilisation quotidienne d'encens.

En ce qui concerne la possibilité d'apparition d'effets cancérogènes, le benzène, l'éthylbenzène, le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et le naphthalène tirent le risque.

Tableau 29 : Indicateurs de risque pour l'ensemble des substances cible de l'émission des encens (taux d'émission max. et combustion 30 min.).

	Ir aigu à seuil	Ir Chronique à seuil			IR (effet sans seuil)		
		1/j	1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois
PM _{2,5}	4E+01	1E+02	1E+01	3E+00			
PM ₁₀	2E+01	5E+01	7E+00	2E+00			
Benzène	8E-01	2E+00	3E-01	8E-02	1E-04	2E-05	4E-06
Toluène	1E-03	9E-04	1E-04	3E-05			
Éthylbenzène	6E-04	5E-02	7E-03	2E-03	3E-05	5E-06	1E-06
Xylènes	1E-03	1E-02	2E-03	4E-04			
Styrène	1E-04	3E-03	4E-04	9E-05			
Formaldéhyde	3E+00	3E+00	4E-01	1E-01	2E-04	2E-05	5E-06
Acétaldéhyde	2E-01	2E+00	3E-01	7E-02	4E-05	6E-06	1E-06
Acroléine	3E+00	1E+03	1E+02	3E+01			
Phénol	2E-04	1E-03	2E-04	5E-05			
Naphtalène		9E-02	1E-02	3E-03	3E-05	5E-06	1E-06
CO	3E-01						
NO							
NO ₂	1E-01	1E-01	1E-02	3E-03			

b) Scénario : taux d'émission moyen – combustion de 30 min

Les résultats sont présentés dans le Tableau 30.

En prenant comme données d'entrée les taux moyens d'émission des encens, seules les particules continuent de présenter des risques aigus éventuels.

En revanche, pour les risques chroniques, l'acroléine s'ajoute aux particules quelque soit le scénario d'exposition.

Pour les risques cancérigènes, l'utilisation quotidienne d'encens semble présenter un risque vis-à-vis du benzène, du formaldéhyde et de l'acétaldéhyde.

Tableau 30 : Indicateurs de risque pour l'ensemble des substances cible de l'émission des encens (taux d'émission moy. et combustion 30 min.).

	Ir aigu à seuil	Ir Chronique à seuil			IR (effet sans seuil)		
		1/j	1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois
PM _{2,5}	1E+01	3E+01	4E+00	9E-01			
PM ₁₀	5E+00	1E+01	2E+00	4E-01			
Benzène	1E-01	4E-01	5E-02	1E-02	2E-05	3E-06	6E-07
Toluène	4E-04	3E-04	5E-05	1E-05			
Éthylbenzène	4E-05	4E-03	5E-04	1E-04	2E-06	3E-07	8E-08
Xylènes	7E-05	7E-04	1E-04	2E-05			
Styrène	3E-05	8E-04	1E-04	3E-05			
Formaldéhyde	7E-01	8E-01	1E-01	3E-02	4E-05	6E-06	1E-06
Acétaldéhyde	7E-02	8E-01	1E-01	3E-02	2E-05	2E-06	5E-07
Acroléine	5E-01	2E+02	2E+01	5E+00			
Phénol	6E-05	2E-03	2E-04	6E-05			
Naphtalène		3E-02	4E-03	8E-04	9E-06	1E-06	3E-07
CO	9E-02						
NO							
NO ₂	4E-02	4E-02	6E-03	1E-03			

4. ANALYSE DES RESULTATS

Avant toute interprétation des résultats présentés dans les tableaux ci-avant, il faut rappeler certaines hypothèses retenues pour cette étude :

- Lors de la simulation des concentrations dans la pièce modèle, nous avons postulé que les concentrations dans le logement à l'état initial étaient nulles. Or la campagne menée dans les logements français montre que certains polluants peuvent être retrouvés à des concentrations non négligeables dans certaines pièces de la maison.
- Afin de consolider les indicateurs de risque obtenus dans cette étude, une comparaison entre les concentrations en polluants issues du modèle (annexes 1 et 2) et les concentrations répertoriées dans la littérature a été effectuée.

Pour l'ensemble des polluants étudiés, les concentrations obtenues par modélisation à partir des taux d'émission sont du même ordre de grandeur que celles issues de la littérature. Toutefois, il est difficile de comparer précisément ces valeurs compte-tenu de la diversité des protocoles opératoires (chambre réelle, chambre d'émission...) et des scénarios d'utilisation (durée de combustion).

- Il est considéré au sein de chaque scénario que les concentrations sont homogènes et identiques sur la durée d'exposition considérée.

L'analyse des tableaux de résultats de calcul des indicateurs de risque fait clairement apparaître une différence entre les bougies et les encens.

L'utilisation quotidienne d'une bougie dans le logement pourrait présenter des risques quant à l'apparition d'effets chroniques liés à l'acroléine. Toutefois, en tenant compte des incertitudes liées aux hypothèses et aux données d'entrée, le risque reste relativement faible (IR de 3 à 8 en fonction des taux d'émission choisis). Il ne semble pas que la composition des bougies ait une influence sur le niveau d'émission d'acroléine qui est une substance émise lors des phénomènes de combustion.

L'acroléine peut cependant être identifiée comme une substance candidate du référentiel à élaborer en vue de l'étiquetage. Elle peut être un facteur de risque prépondérant des phénomènes de combustion d'une bougie.

L'utilisation d'encens semble présenter des risques plus importants que les bougies, et cela même pour des scénarios d'utilisation moins fréquents (mensuels).

L'émission de particules tire fortement les risques potentiels aigus ou chroniques pour une utilisation quotidienne ou hebdomadaire. Ces émissions résultent d'une combustion incomplète, les bâtons d'encens se consumant sans flamme.

Avec les taux d'émission maximum comme donnée d'entrée, le benzène, le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et de nouveau l'acroléine pourraient présenter des risques chroniques ; l'acroléine tirant fortement le risque. Lorsqu'on utilise les taux

moyens d'émission, seule l'acroléine continue de présenter des risques chroniques, quel que soit le scénario d'utilisation.

En ce qui concerne les risques cancérigènes, il semble que les encens peuvent présenter des risques vis-à-vis du benzène et de l'éthylbenzène. Le risque persiste pour le benzène dans le cadre d'une utilisation quotidienne (avec les taux moyens d'émission).

Ces résultats tiennent compte des nombreuses hypothèses, liées à l'exposition, pour proposer des indicateurs de risque et hiérarchiser les substances en fonction des calculs de risques potentiels sur la santé. Une seule étude sur les usages a été utilisée pour fixer les scénarios d'utilisation, cette étude ayant regroupé dans une même catégorie « parfums d'ambiance » et « bougies parfumées » ; l'encens n'apparaît pas. De plus, dans le calcul des indicateurs de risque, les valeurs de référence ne sont pas toujours des VTR et la concentration dans l'air a été utilisée « telle quelle ». Dans le cadre d'une évaluation de risque standard, la concentration moyenne inhalée doit être utilisée, or celle-ci tient compte du débit respiratoire des individus et de leur activité.

Des hypothèses standard ont également été choisies concernant la pièce dans laquelle la bougie ou l'encens était utilisé : dimension, taux de renouvellement d'air. Elles ne reflètent pas la diversité et la réalité des expositions potentielles.

Les indicateurs doivent donc être utilisés uniquement pour hiérarchiser les substances, dans l'objectif de l'élaboration d'un référentiel pour l'étiquetage. Ce référentiel tiendra compte des risques potentiels que peuvent présenter les substances pour la santé. Les indicateurs ne doivent pas être pris comme des « valeurs absolues » de l'exposition au risque.

5. CONCLUSION

Faisant suite au rapport publié en 2010 sur les produits d'entretien et les désodorisants d'intérieur [INERIS, 2010], ce rapport permet de compléter les connaissances sur les produits de consommation, en intégrant les produits émetteurs de particules de part leur usage en combustion, à savoir les bougies et les encens.

La recherche bibliographique a permis de recenser de nombreuses études traitant de l'émission des bougies et des encens. En ce qui concerne les bougies, les recherches ont été centrées sur des projets français ou européens, les parfums de bougies, comme les produits d'entretien, étant adaptés à chaque population. Pour les encens, aucune limite géographique n'a été fixée, la majeure partie des encens étant de fabrication asiatique.

Les études fournissant des facteurs d'émission, ou permettant de le calculer, ont été préférentiellement ciblées. En effet, en utilisant un modèle standard monozone, il est alors plus facile de comparer les produits entre eux et de fixer des conditions d'utilisation (scénarios d'utilisation, paramètres de la pièce).

L'analyse des résultats en fonction des scénarios mis en œuvre (temps de combustion, taux d'émission) laisse apparaître des différences importantes, en termes de risque potentiel, entre les bougies et les encens.

A l'issue des différentes modélisations, le seul indicateur de risque marquant est lié à l'acroléine en utilisation quotidienne d'une heure, tous les jours de l'année. Ce risque semble maintenu pour un scénario d'une fois par semaine si la bougie est utilisée pendant quatre heures.

En revanche, l'utilisation régulière d'encens quel que soit le scénario d'utilisation considéré semble être plus problématique. En effet, l'ensemble des calculs réalisés montrent que la combustion d'encens présente potentiellement des risques aigus, des risques chroniques et des risques cancérogènes, et que ces risques sont portés par plusieurs polluants. Les particules présenteraient un risque quelle que soit la fréquence d'utilisation et quels que soit les taux d'émission utilisés comme données d'entrée. En ce qui concerne les COV, l'acroléine pourrait présenter également des risques dans tous les scénarios d'utilisation. Le benzène, le formaldéhyde et l'acétaldéhyde pourraient, quant à eux, être à l'origine de risques cancérogènes potentiels. De plus, une source d'encens activée dans une pièce peut impacter l'ensemble d'un logement (X. Ji et al, 2010).

Ainsi, la comparaison de l'utilisation de bougies et d'encens dans les environnements intérieurs semble montrer que les encens émettent davantage de composés particulaires et gazeux que les bougies, dans le cadre des hypothèses de travail qui ont été choisies pour ce travail.

À partir des données disponibles issues de la littérature et des résultats de modélisation, il semble que certaines substances peuvent être identifiées comme « traceur du risque » des émissions dans l'air intérieur pour les bougies et les encens et donc comme candidate pour un référentiel en vue d'un étiquetage.

Pour les **bougies**, l'**acroléine** est la substance principalement émise et semble présenter un risque potentiel. Toutefois, les **particules** et le **formaldéhyde** pourraient également faire partie des composés cibles.

Pour les **encens**, l'étiquetage de ceux-ci pourrait être basé sur le suivi de l'émission des **particules**, de l'acroléine, du **benzène**, de l'**éthylbenzène**, du **formaldéhyde**, de l'**acétaldéhyde** et du **naphtalène**.

6. REFERENCES

[AFSSET, 2007] – *Valeurs guide de l'air intérieur – le formaldéhyde*. Rapport du groupe d'expert, 78 pp.

[AFSSET, 2008] – *Valeurs guide de l'air intérieur – le benzène*. Rapport du groupe d'expert, 89 pp.

[AFSSET, 2009] – *Composés Organiques Volatils et Environnement intérieur, Procédure de Qualification des Émissions de Composés Organiques Volatils par les Matériaux de Construction et Produits de Décoration, Avis de l'AFSSET-Rapport d'Expertise collective, Edition scientifique, Air et Agents chimiques, 75pp.*

[BEUC, 2005] – Bureau Européen des Consommateurs, *Emissions of Chemicals by Air Fresheners, Tests on 74 Consumer Products sold in Europe*, 54pp.

[DEPA, 2002] – DANISH EPA, *Contents of selected Fragrance Materials in cleaning Products and other consumer Products*, S.C. RASTOGI, N°8.

[DEPA, 2003] – DANISH EPA, *Mapping of chemical Substances in Air Fresheners and other fragrances liberating Products*, J. PORS, R. FUHLENDORFF, N°30.

[ECETOC, 2009] – Addendum to ECETOC Targeted Risk Assessment Report N°93, Technical Report N°107, 124pp.

[Ecover, 2009] – CREDOC – *Les Français et les risques sanitaires associés aux produits ménagers et de soins du corps* – Enquête N° S3487, 20 pages.

[Gelosa, 2007] – Gelosa, S., M. Derudi, *et al.* – *Characterization of Pollutants Emissions from Burning Candles* – 30th Meeting on combustion, Italy – 6 pages.

[GRAMMONT, 2009] – Grammont V., *Données disponibles relatives aux émissions des Produits de Consommation courante dans l'Environnement intérieur*, rapport INERIS - DRC-09-104121-01494B, 28pp.

[INERIS, 2003] – *Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) - Évaluation de la relation dose-réponse pour des effets cancérigènes : Approche substance par substance (facteurs d'équivalence toxique - FET) et approche par mélanges - Évaluation de la relation dose-réponse pour des effets non cancérigènes : Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)*. Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques.

[INERIS, 2005] – *Méthodologie de renseignement des fiches*. Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques.

[INERIS, 2010] – Larbre, J. – *Rapport préliminaire en vue de l'étiquetage des produits de grande consommation Classement en fonction des expositions dans l'air intérieur* -- INERIS-DRC-10-109458-04047B, 89 pages.

[JO, 2005] – Journal Officiel de l'Union européenne – 4/5/2005 – L115/42 - *DÉCISION DE LA COMMISSION du 23 mars 2005 établissant les critères écologiques pour l'attribution du label écologique communautaire aux nettoyeurs universels et aux nettoyeurs pour sanitaires*, 27p.

[Lee, 2004] – Lee S.C. and B. Wang – *Characteristics of emissions of air pollutants from burning of incense in a large environmental chamber* – Atmospheric Environment 38(7): 941-951.

[Maupetit, 2009] – Maupetit, F. and F. Squinazi – *Caractérisation des émissions de benzène et de formaldéhyde lors de la combustion d'encens et de bougies d'intérieur : élaboration de scénarios d'exposition et conseils d'utilisation* – Environnement Risques et Santé 8(2): 109 - 118.

[Orecchio, 2011] – Orecchio, S. – *Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in indoor emission from decorative candles* – Atmospheric Environment 45(10): 1888-1895.

Ramalho O, Limam K, Abadie M et al. *Caractérisation physico-chimique et étude du transport des particules dans les locaux*. ESE-SB/2007-050 – Août 2007 (Rapport final Primequal II/Predit/Particules, Convention 22-F/2004).

[REF, 2005] – AFAQ/AFNOR – *Référentiel de certification du label écologique communautaire - NETTOYANTS UNIVERSELS ET NETTOYANTS POUR SANITAIRES* – EC 338, 35p.

[See, 2007] – See, S. W., R. Balasubramanian, et al. – *Physical characteristics of nanoparticles emitted from incense smoke* – Science and Technology of Advanced Materials 8(1-2): 25-32.

[X. Ji, O. Le Bihan, O. Ramalho, C. Mandin, B. D'Anna, L. Martinon, M. Nicolas, D. Bard, J.-C. Pairon]. *Characterization of particles emitted by incense burning in an experimental house*. Indoor Air 20 (2): 147-158, 2010.

[Yang, 2007] – Yang, C. R., T. C. Lin, et al. – *Particle size distribution and PAH concentrations of incense smoke in a combustion chamber* – Environmental Pollution 145(2): 606-615.

[Zai, 2006] – Zai, S., H. Zhen, et al. – *Studies on the size distribution, number and mass emission factors of candle particles characterized by modes of burning* – Journal of Aerosol Science 37(11): 1484-1496.

7. LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Tableaux de calcul des indicateurs de risque pour les bougies (4 pages)

Annexe 2 : Tableaux de calcul des indicateurs de risque pour les encens (2 pages)

Scénario : taux d'émission moyen – combustion 1 h

	Taux démission max µg/h	Taux d'émission moyen µg/h	Concentration moyenne journalière	Concentration max	Expo Aigue		VGAI/VTR	aigue		chronique	Scénario expo			QD Aigu à seuil	QD chronique à seuil			ERI				
					temps	concentration		temps	conc		à seuil	sans seuil	1/j		1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois
Benzène	0,575	0,365	1,60E-03	9,57E-03	-	-	VGAI	14 j	30	10	5,00E-06	1,60E-03	2,28E-04	5,26E-05	5E-05	2E-04	2E-05	5E-06	8E-09	1E-09	3E-10	
Toluène	1,06	0,47	2,06E-03	1,23E-02			ATSDR	1j	3800	5000		2,06E-03	2,94E-04	6,78E-05	5E-07	4E-07	6E-08	1E-08				
Ethylbenzène	0,8	0,573	2,51E-03	1,50E-02			ATSDR	1j	22000	300	2,50E-06	2,51E-03	3,58E-04	8,26E-05	1E-07	8E-06	1E-06	3E-07	6E-09	9E-10	2E-10	
Formaldéhyde	13,4	11,5	5,05E-02	3,02E-01	2h	2,21E-01	VGAI	2h	50	10	5,26E-06	5,05E-02	7,19E-03	1,66E-03	4E-03	5E-03	7E-04	2E-04	3E-07	4E-08	9E-09	
Acétaldéhyde	5,12	4,03	1,77E-02	1,06E-01	1h	8,41E-02	OEHHA/OMS	1h	470	140	2,20E-06	1,77E-02	2,52E-03	5,81E-04	2E-04	1E-04	2E-05	4E-06	4E-08	6E-09	1E-09	
Acroléine	11,7	7,67	3,36E-02	2,01E-01			ATSDR/USEPA	1j	6,87	0,02		3,36E-02	4,79E-03	1,11E-03	5E-03	2E+00	2E-01	6E-02				
Butyraldéhyde	2,02	1,45	6,36E-03	3,80E-02			-	-	-	-	-	6,36E-03	9,06E-04	2,09E-04								
Benzaldéhyde	2,53	1,81	7,94E-03	4,75E-02			-	-	-	-	-	7,94E-03	1,13E-03	2,61E-04								
Fluoranthène	1,47E-03	2,10E-04	9,21E-07	5,51E-06			OEHHA				1,10E-06	9,21E-07	1,31E-07	3,03E-08					1E-12	1E-13	3E-14	
Pyrène	4,46E-03	3,42E-04	1,50E-06	8,97E-06			OEHHA				1,10E-06	1,50E-06	2,14E-07	4,93E-08					2E-12	2E-13	5E-14	
Phénanthrène	6,21E-03	2,87E-04	1,26E-06	7,53E-06			OEHHA				1,10E-06	1,26E-06	1,79E-07	4,14E-08					1E-12	2E-13	5E-14	
Anthracène	1,01E-03	6,33E-05	2,78E-07	1,66E-06			OEHHA				1,10E-05	2,78E-07	3,96E-08	9,13E-09					3E-12	4E-13	1E-13	
Benzo(a)anthracène	1,47E-03	1,20E-04	5,26E-07	3,15E-06			OEHHA				1,10E-04	5,26E-07	7,50E-08	1,73E-08					6E-11	8E-12	2E-12	
Naphtalène	1,70E-03	1,20E-04	5,26E-07	3,15E-06			VGAI / OEHHA			10	3,40E-05	5,26E-07	7,50E-08	1,73E-08		5E-08	8E-09	2E-09	2E-11	3E-12	6E-13	
Fluorène	9,20E-04	1,38E-04	6,05E-07	3,62E-06			OEHHA				1,10E-06	6,05E-07	8,63E-08	1,99E-08					7E-13	9E-14	2E-14	
Chrysène	3,40E-02	3,40E-03	1,49E-05	8,92E-05			OEHHA				1,10E-05	1,49E-05	2,13E-06	4,90E-07					2E-10	2E-11	5E-12	
Benzo(a)pyrène	1,56E-02	1,56E-03	6,84E-06	4,09E-05			OEHHA				1,10E-03	6,84E-06	9,75E-07	2,25E-07					8E-09	1E-09	2E-10	
																			3E-07	5E-08	1E-08	
			Concentration moyenne journalière	Concentration max	VTR		Scénario			QD aigu	QD chronique											
	Moy	Max			aigu	chronique	1/j	1/sem	1/mois													
BougiesPM25	386	700	1,69E+00	1,01E+01	25	10	1,69E+00	2,41E-01	5,57E-02	7E-02	2E-01	2E-02	6E-03									
BougiesPM10	389	774	1,71E+00	1,02E+01	50	20	1,71E+00	2,43E-01	5,61E-02	3E-02	9E-02	1E-02	3E-03									

Scénario : taux d'émission maximum – combustion 4 h

	Taux d'émission max µg/h	Taux d'émission moyen µg/h	Concentration moyenne journalière	Concentration max	Expo Aigue		VGAI/VTR	aigue		chronique	Scénario expo			QD Aigu à seuil	QD chronique à seuil			ERI				
					temps	concentration		temps	conc		à seuil	sans seuil	1/j		1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois
Benzène	0,575	0,365	7,61E-03	3,31E-02	-	-	VGAI	14 j	30	10	5,00E-06	7,61E-03	1,08E-03	2,50E-04	3E-04	8E-04	1E-04	3E-05	4E-08	5E-09	1E-09	
Toluène	1,06	0,47	1,40E-02	6,11E-02			ATSDR	1j	3800	5000		1,40E-02	2,00E-03	4,61E-04	4E-06	3E-06	4E-07	9E-08				
Ethylbenzène	0,8	0,573	1,06E-02	4,61E-02			ATSDR	1j	22000	300	2,50E-06	1,06E-02	1,51E-03	3,48E-04	5E-07	4E-05	5E-06	1E-06	3E-08	4E-09	9E-10	
Formaldéhyde	13,4	11,5	1,77E-01	7,72E-01	2h	6,97E-01	VGAI	2h	50	10	5,26E-06	1,77E-01	2,53E-02	5,83E-03	1E-02	2E-02	3E-03	6E-04	9E-07	1E-07	3E-08	
Acétaldéhyde	5,12	4,03	6,78E-02	2,95E-01	1h	2,71E-01	OEHHA/OMS	1h	470	140	2,20E-06	6,78E-02	9,66E-03	2,23E-03	6E-04	5E-04	7E-05	2E-05	1E-07	2E-08	5E-09	
Acroléine	11,7	7,67	1,55E-01	6,74E-01			ATSDR/USEPA	1j	6,87	0,02		1,55E-01	2,21E-02	5,09E-03	2E-02	8E+00	1E+00	3E-01				
Butyraldéhyde	2,02	1,45	2,67E-02	1,16E-01			-	-	-	-	-	2,67E-02	3,81E-03	8,79E-04								
Benzaldéhyde	2,53	1,81	3,35E-02	1,46E-01			-	-	-	-	-	3,35E-02	4,77E-03	1,10E-03								
Fluoranthène	1,47E-03	2,10E-04	1,95E-05	8,47E-05			OEHHA				1,10E-06	1,95E-05	2,77E-06	6,40E-07				2E-11	3E-12	7E-13		
Pyrène	4,46E-03	3,42E-04	5,90E-05	2,57E-04			OEHHA				1,10E-06	5,90E-05	8,41E-06	1,94E-06				6E-11	9E-12	2E-12		
Phénanthrène	6,21E-03	2,87E-04	8,22E-05	3,58E-04			OEHHA				1,10E-06	8,22E-05	1,17E-05	2,70E-06				9E-11	1E-11	3E-12		
Anthracène	1,01E-03	6,33E-05	1,34E-05	5,82E-05			OEHHA				1,10E-05	1,34E-05	1,90E-06	4,40E-07				1E-10	2E-11	5E-12		
Benzo(a)anthracène	1,47E-03	1,20E-04	1,95E-05	8,47E-05			OEHHA				1,10E-04	1,95E-05	2,77E-06	6,40E-07				2E-09	3E-10	7E-11		
Naphtalène	1,70E-03	1,20E-04	2,25E-05	9,80E-05			VGAI / OEHHA			10	3,40E-05	2,25E-05	3,21E-06	7,40E-07		2E-06	3E-07	7E-08	8E-10	1E-10	3E-11	
Fluorène	9,20E-04	1,38E-04	1,22E-05	5,30E-05			OEHHA				1,10E-06	1,22E-05	1,74E-06	4,00E-07				1E-11	2E-12	4E-13		
Chrysène	3,40E-02	3,40E-03	4,50E-04	1,96E-03			OEHHA				1,10E-05	4,50E-04	6,41E-05	1,48E-05				5E-09	7E-10	2E-10		
Benzo(a)pyrène	1,56E-02	1,56E-03	2,07E-04	8,99E-04			OEHHA				1,10E-03	2,07E-04	2,94E-05	6,79E-06				2E-07	3E-08	7E-09		
																			1E-06	2E-07	5E-08	
			Concentration moyenne journalière	Concentration max	VTR		Scénario			QD aigu	QD chronique											
	Moy	Max			aigu	chronique	1/j	1/sem	1/mois													
BougiesPM25	386	700	9,16E+00	4,04E+01	25	10	9,16E+00	1,30E+00	3,01E-01	4E-01	9E-01	1E-01	3E-02									
BougiesPM10	389	774	1,01E+01	4,46E+01	50	20	1,01E+01	1,44E+00	3,33E-01	2E-01	5E-01	7E-02	2E-02									

Scénario : taux d'émission moyen – combustion 4 h

	Taux d'émission max µg/h	Taux d'émission moyen µg/h	Concentration moyenne journalière	Concentration max	Expo Aigue		VGAI/VTR	aigue		chronique	Scénario expo			QD Aigu à seuil	QD chronique à seuil			ERI				
					temps	concentration		temps	conc		à seuil	sans seuil	1/j		1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois
Benzène	0,575	0,365	4,83E-03	2,10E-02	-	-	VGAI	14 j	30	10	5,00E-06	4,83E-03	6,88E-04	1,59E-04	2E-04	5E-04	7E-05	2E-05	2E-08	3E-09	8E-10	
Toluène	1,06	0,47	6,22E-03	2,71E-02			ATSDR	1j	3800	5000		6,22E-03	8,86E-04	2,05E-04	2E-06	1E-06	2E-07	4E-08				
Ethylbenzène	0,8	0,573	7,59E-03	3,30E-02			ATSDR	1j	22000	300	2,50E-06	7,59E-03	1,08E-03	2,49E-04	3E-07	3E-05	4E-06	8E-07	2E-08	3E-09	6E-10	
Formaldéhyde	13,4	11,5	1,52E-01	6,63E-01	2h	5,98E-01	VGAI	2h	50	10	5,26E-06	1,52E-01	2,17E-02	5,01E-03	1E-02	2E-02	2E-03	5E-04	8E-07	1E-07	3E-08	
Acétaldéhyde	5,12	4,03	5,34E-02	2,32E-01	1h	2,23E-01	OEHHA/OMS	1h	470	140	2,20E-06	5,34E-02	7,60E-03	1,75E-03	5E-04	4E-04	5E-05	1E-05	1E-07	2E-08	4E-09	
Acroléine	11,7	7,67	1,02E-01	4,42E-01			ATSDR/USEPA	1j	6,87	0,02		1,02E-01	1,45E-02	3,34E-03	1E-02	5E+00	7E-01	2E-01				
Butyraldéhyde	2,02	1,45	1,92E-02	8,36E-02			-	-	-	-	-	1,92E-02	2,73E-03	6,31E-04								
Benzaldéhyde	2,53	1,81	2,40E-02	1,04E-01			-	-	-	-	-	2,40E-02	3,41E-03	7,88E-04								
Fluoranthène	1,47E-03	2,10E-04	2,78E-06	1,21E-05			OEHHA				1,10E-06	2,78E-06	3,96E-07	9,14E-08					3E-12	4E-13	1E-13	
Pyrène	4,46E-03	3,42E-04	4,53E-06	1,97E-05			OEHHA				1,10E-06	4,53E-06	6,45E-07	1,49E-07					5E-12	7E-13	2E-13	
Phénanthrène	6,21E-03	2,87E-04	3,80E-06	1,65E-05			OEHHA				1,10E-06	3,80E-06	5,41E-07	1,25E-07					4E-12	6E-13	1E-13	
Anthracène	1,01E-03	6,33E-05	8,38E-07	3,65E-06			OEHHA				1,10E-05	8,38E-07	1,19E-07	2,76E-08					9E-12	1E-12	3E-13	
Benzo(a)anthracène	1,47E-03	1,20E-04	1,59E-06	6,92E-06			OEHHA				1,10E-04	1,59E-06	2,26E-07	5,22E-08					2E-10	2E-11	6E-12	
Naphtalène	1,70E-03	1,20E-04	1,59E-06	6,92E-06			VGAI / OEHHA			10	3,40E-05	1,59E-06	2,26E-07	5,22E-08		2E-07	2E-08	5E-09	5E-11	8E-12	2E-12	
Fluorène	9,20E-04	1,38E-04	1,83E-06	7,95E-06			OEHHA				1,10E-06	1,83E-06	2,60E-07	6,01E-08					2E-12	3E-13	7E-14	
Chrysène	3,40E-02	3,40E-03	4,50E-05	1,96E-04			OEHHA				1,10E-05	4,50E-05	6,41E-06	1,48E-06					5E-10	7E-11	2E-11	
Benzo(a)pyrène	1,56E-02	1,56E-03	2,07E-05	8,99E-05			OEHHA				1,10E-03	2,07E-05	2,94E-06	6,79E-07					2E-08	3E-09	7E-10	
																				1E-06	1E-07	3E-08
			Concentration moyenne journalière	Concentration max	VTR		Scénario				QD aigu	QD chronique										
	Moy	Max			aigu	chronique	1/j	1/sem	1/mois													
BougiesPM25	386	700	5,05E+00	2,23E+01	25	10	5,05E+00	7,19E-01	1,66E-01		2E-01	5E-01	7E-02	2E-02								
BougiesPM10	389	774	5,09E+00	2,24E+01	50	20	5,09E+00	7,25E-01	1,67E-01		1E-01	3E-01	4E-02	8E-03								

ANNEXE 2 : Tableaux de calcul des indicateurs de risque pour les encens

Scénario : taux d'émission maximum – combustion 30 min

	Taux démission max	Taux d'émission moyen	Concentration moyenne journalière	Concentration max	Expo Aigue		VGAI/VTR	aigue		chronique	Scénario expo			QD Aigu à seuil	QD chronique à seuil			ERI			
	µg/h	µg/h			temps	concentration		temps	conc	à seuil	sans seuil	1/j	1/sem	1/mois		1/j	1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois
Benzène	8,98E+03	1450	2,35E+01	1,32E+02	-	-	VGAI	14 j	30	10	5,00E-06	2,35E+01	3,34E+00	7,71E-01	8E-01	2E+00	3E-01	8E-02	1E-04	2E-05	4E-06
Toluène	1,67E+03	651	4,36E+00	2,46E+01			ATSDR	1j	3800	5000		4,36E+00	6,21E-01	1,43E-01	1E-03	9E-04	1E-04	3E-05			
Éthylbenzène	4,84E+03	351	1,26E+01	7,14E+01			ATSDR	1j	21677	260	2,50E-06	1,26E+01	1,80E+00	4,16E-01	6E-04	5E-02	7E-03	2E-03	3E-05	5E-06	1E-06
Xylènes	4,17E+03	239	1,09E+01	6,15E+01			ATSDR/RIVM	1j	8800	870		1,09E+01	1,55E+00	3,58E-01	1E-03	1E-02	2E-03	4E-04			
Styrène	8,67E+02	268	2,26E+00	1,28E+01			OEHHA/ATSDR	1j	21000	860		2,26E+00	3,23E-01	7,44E-02	1E-04	3E-03	4E-04	9E-05			
Formaldéhyde	1,13E+04	3020	2,95E+01	1,67E+02	2h	1,25E+02	VGAI/ Santé Canada	2h	50	10	5,26E-06	2,95E+01	4,20E+00	9,70E-01	3E+00	3E+00	4E-01	1E-01	2E-04	2E-05	5E-06
Acétaldéhyde	7,02E+03	2800	1,83E+01	1,04E+02	1h	8,76E+01	OEHHA/OMS	1h	470	9	2,20E-06	1,83E+01	2,61E+00	6,03E-01	2E-01	2E+00	3E-01	7E-02	4E-05	6E-06	1E-06
Acroléine	8,04E+03	1280	2,10E+01	1,19E+02			ATSDR/USEPA	1j	6,87	0,02		2,10E+01	2,99E+00	6,90E-01	3E+00	1E+03	1E+02	3E+01			
Phénol	1,08E+02	134	2,82E-01	1,59E+00	1h	1,35E+00	OEHHA	1h	5800	200		2,82E-01	4,02E-02	9,27E-03	2E-04	1E-03	2E-04	5E-05			
Naphtalène	3,57E+02	98	9,32E-01	5,26E+00			VGAI/OEHHA			10	3,40E-05	9,32E-01	1,33E-01	3,07E-02		9E-02	1E-02	3E-03	3E-05	5E-06	1E-06
CO ₂	4,31E+06	1143000	1,12E+04	6,35E+04					1,80E+07	1,80E+06		1,12E+04	1,60E+03	3,70E+02	6E-04	6E-03	9E-04	2E-04			
CO	7,95E+05	477000	2,08E+03	1,17E+04	8h	7,90E+03	VGAI	1h	30000			2,08E+03	2,96E+02	6,83E+01	3E-01						
NO	7,80E+03	3710	2,04E+01	1,15E+02								2,04E+01	2,90E+00	6,70E-01							
NO ₂	1,60E+03	637	4,18E+00	2,36E+01	1h	2,00E+01	OMS/AI	1h	200	40		4,18E+00	5,95E-01	1,37E-01	1E-01	1E-01	1E-02	3E-03	4E-04	5E-05	1E-05
			Concentration moyenne journalière	Concentration max	VTR		Scénario			QD aigu	QD chronique										
	Moy	Max			aigu	chronique	1/j	1/sem	1/mois												
EncensPM25	99000	372600	9,73E+02	5,49E+03	25	10	9,73E+02	1,39E+02	3,20E+01	4E+01	1E+02	1E+01	3E+00								
EncensPM10	95000	389400	1,02E+03	5,74E+03	50	20	1,02E+03	1,45E+02	3,34E+01	2E+01	5E+01	7E+00	2E+00								

Scénario : taux d'émission moyen – combustion 30 min

	Taux démission max µg/h	Taux d'émission moyen µg/h	Concentration moyenne journalière	Concentration max	Expo Aigue		VGAI/VTR	aigue		chronique	Scénario expo			QD Aigu à seuil	QD chronique à seuil			ERI				
					temps	concentration		temps	conc		à seuil	sans seuil	1/j		1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois	1/j	1/sem	1/mois
Benzène	8980	1450	3,79E+00	2,14E+01	-	-	VGAI	14 j	30	10	5,00E-06	3,79E+00	5,39E-01	1,24E-01	1E-01	4E-01	5E-02	1E-02	2E-05	3E-06	6E-07	
Toluène	1670	651	1,70E+00	9,60E+00			ATSDR	1j	3800	5000		1,70E+00	2,42E-01	5,59E-02	4E-04	3E-04	5E-05	1E-05				
Éthylbenzène	4840	351	9,17E-01	5,18E+00			ATSDR	1j	21677	260	2,50E-06	9,17E-01	1,31E-01	3,01E-02	4E-05	4E-03	5E-04	1E-04	2E-06	3E-07	8E-08	
Xylènes	4170	239	6,24E-01	3,52E+00			ATSDR/RIVM	1j	8800	870		6,24E-01	8,89E-02	2,05E-02	7E-05	7E-04	1E-04	2E-05				
Styrène	867	268	7,00E-01	3,95E+00			OEHHA/ATSDR	1j	21000	860		7,00E-01	9,97E-02	2,30E-02	3E-05	8E-04	1E-04	3E-05				
Formaldéhyde	11300	3020	7,89E+00	4,45E+01	2h	3,35E+01	VGAI/ Santé Canada	2h	50	10	5,26E-06	7,89E+00	1,12E+00	2,59E-01	7E-01	8E-01	1E-01	3E-02	4E-05	6E-06	1E-06	
Acétaldéhyde	7020	2800	7,31E+00	4,13E+01	1h	3,49E+01	OEHHA/OMS	1h	470	9	2,20E-06	7,31E+00	1,04E+00	2,40E-01	7E-02	8E-01	1E-01	3E-02	2E-05	2E-06	5E-07	
Acroléine	8040	1280	3,34E+00	1,89E+01			ATSDR/USEPA	1j	6,87	0,02		3,34E+00	4,76E-01	1,10E-01	5E-01	2E+02	2E+01	5E+00				
Phénol	108	134	3,50E-01	1,98E+00			OEHHA	1h	5800	200		3,50E-01	4,99E-02	1,15E-02	6E-05	2E-03	2E-04	6E-05				
Naphtalène	357	98	2,56E-01	1,45E+00			VGAI/OEHHA			10	3,40E-05	2,56E-01	3,65E-02	8,41E-03	3E-02	4E-03	8E-04	9E-06	1E-06	3E-07		
CO ₂	4305000	1143000	2,99E+03	1,69E+04					1,80E+07	1,80E+06		2,99E+03	4,25E+02	9,81E+01	2E-04	2E-03	2E-04	5E-05				
CO	795000	477000	1,25E+03	7,03E+03	8h	2,65E+03	VGAI	1h	30000			1,25E+03	1,77E+02	4,10E+01	9E-02							
NO	7800	3710	9,69E+00	5,47E+01								9,69E+00	1,38E+00	3,19E-01								
NO ₂	1600	637	1,66E+00	9,39E+00	1h	7,95E+00	OMS/AI	1h	200	40		1,66E+00	2,37E-01	5,47E-02	4E-02	4E-02	6E-03	1E-03	9E-05	1E-05	3E-06	
			Concentration moyenne journalière	Concentration max	VTR		Scénario					QD aigu	QD chronique									
	Moy	Max			aigu	chronique	1/j	1/sem	1/mois													
EncensPM25	99000	372600	2,59E+02	1,46E+03	25	10	2,59E+02	3,68E+01	8,50E+00	1E+01	3E+01	4E+00	9E-01									
EncensPM10	95000	389400	2,48E+02	1,40E+03	50	20	2,48E+02	3,53E+01	8,16E+00	5E+00	1E+01	2E+00	4E-01									

