EXPERTISES

JUIL. 2017

EXPOSITION AUX POLLUANTS EMIS PAR LES BOUGIES ET LES ENCENS DANS LES ENVIRONNEMENTS INTERIEURS

Emissions et risques sanitaires associés

SYNTHÈSE

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

En partenariat avec :

CSTB le futur en construction
Laboratoire Chimie Environnement
INERIS maîtriser le risque pour un développement durable

REMERCIEMENTS

Mélanie NICOLAS (CSTB) : rédaction
François MAUPETIT (CSTB) : relecture
Priscilla THIRY (CSTB) : support technique
Gwendal LOISEL (CSTB) : support technique

Etienne QUIVET (LCE) : rédaction
Daphné BUIRON (LCE) : rédaction
Brice TEMIME-ROUSSEL (LCE) : support technique

Guillaume KARR (INERIS) : rédaction
Elsa REAL (INERIS) : rédaction
Alexandre ALBINET (INERIS) : contribution aux mesures et à l'analyse des résultats
Augustin COLETTE (INERIS) : relecture
Nathalie VELY (INERIS) : relecture
Martine RAMEL (INERIS) : relecture

CITATION DE CE RAPPORT

M. NICOLAS, E. QUIVET, G. KARR, E. REAL, D. BUIRON, F. MAUPETIT. 2017. Exposition aux polluants émis par les bougies et les encens dans les environnements intérieurs : Émissions et risques sanitaires associés. Synthèse. 22 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1462C0038

Étude réalisée par CSTB, LCE et INERIS pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : CSTB
Appel à projet de recherche : CORTEA (COnnaissances, Réduction à la source et Traitement des Émissions dans l'Air)

Coordination technique - ADEME : BOUALLALA Souad
Direction/Service : SEQA

TABLE DES MATIERES

Résumé 4

Abstract 5

1. Contexte 6

2. Principaux résultats 6

2.1. Caractérisation des émissions de polluants volatils et particulaires par des encens et des bougies 6

2.2. Evaluation des risques sanitaires associés 10

2.3. Comparaison de différentes méthodes d'essai de caractérisation des émissions des encens et des bougies 13

3. Conclusions / Perspectives et recommandations 17

Index des tableaux et figures 19

Sigles et acronymes 20

Résumé

Dans le cadre du projet EBENE, les émissions de polluants volatils et particulaires de neuf bâtons d'encens, de neuf bougies parfumées et d'une lampe à catalyse issus du marché français ont été caractérisées dans des conditions réalistes d'utilisation dans une pièce de la Maison Automatisée pour des Recherches Innovantes sur l'Air (MARIA) du CSTB.

Les mesures effectuées ont montré que les niveaux de concentrations atteints pendant et après la combustion des bâtons d'encens étaient très largement supérieurs à ceux obtenus pour les bougies parfumées. L'utilisation des bâtons d'encens se traduit ainsi par des concentrations élevées en benzène, toluène, éthylbenzène, styrène, formaldéhyde, acétaldéhyde et acroléine. On relève également des concentrations de HAP (Hydrocarbures Aliphatiques Polycycliques) et de particules élevées. Pour les encens, les émissions sont les plus élevées pendant la combustion et pendant l'heure suivant la fin de la combustion avant de diminuer sous l'effet de l'aération. Les encens sont également plus émissifs en particules que les bougies mais présentent des particules plus grosses (de 80 à 190 nm).

Les niveaux de polluants volatils émis par les bougies sont nettement plus faibles que ceux relevés pour les encens et seuls le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et le toluène sont mesurés à des niveaux de concentration de plusieurs $\mu g.m^{-3}$. On note cependant une décroissance des émissions de formaldéhyde peu marquée pour les bougies, ce qui suggère une émission secondaire de ce composé après leur extinction. Par ailleurs, les bougies émettent moins de particules que les encens, mais des particules plus fines (diamètre < 100 nm), sauf juste après les avoir éteintes. On remarque aussi que les bougies émettent significativement plus d'oxydes d'azote que les bâtons d'encens. Enfin une lampe à catalyse a été testée même si ce produit est assez spécifique. Les émissions de polluants volatils et particulaires de ce type de produits restent relativement modérées, sauf pour l'acétone, les oxydes d'azote (NOx) et certains composés à plus haut poids moléculaire non identifiés. Sur la base des concentrations mesurées en conditions réelles et des résultats d'un sondage national sur les usages d'encens et de bougies, la démarche d'évaluation des risques sanitaires (ERS) a été mise en œuvre, selon les pratiques classiquement observées en France.

Les principales conclusions sont les suivantes :

- Aucune situation préoccupante n'est attendue pour les expositions chroniques associées aux usages les plus courants ;
- Certaines pratiques (fréquence et durée d'utilisation élevées, plusieurs produits utilisés simultanément, etc.) et certaines caractéristiques environnementales (volume de la pièce, taux de renouvellement d'air, etc.) peuvent conduire à des expositions chroniques dépassant les valeurs repères usuelles (Quotient de Danger - QD > 1, Excès de Risque Individuel - ERI > 10^{-5}), principalement pour les encens, ce qui suggère un besoin de limiter ce type d'expositions. Par exemple, cette limitation pourrait s'appuyer sur une sensibilisation du public aux bonnes pratiques d'utilisation ; aération postérieure, usage modéré, etc. ;
- Certains désodorisants combustibles ont généré des expositions de court terme dépassant les valeurs sanitaires retenues (VTR aigues, VGAI court terme). Ce résultat suggère un besoin de limiter les émissions des produits les plus émissifs. Par exemple, cette limitation pourrait s'appuyer sur la mise en place d'un étiquetage des émissions des désodorisants combustibles et sur la réglementation des produits les plus émissifs.

Au global, les substances d'intérêt prioritaires identifiées sont le benzène, les particules fines, l'acétaldéhyde, le formaldéhyde et l'acroléine. Les expositions obtenues pour le carbone suie pourraient également être préoccupantes. Plusieurs plateformes et protocoles de mesures ont été testés afin d'établir une méthodologie robuste de la mesure d'émissions liées à la combustion de bougies et d'encens. Les mesures de COV effectuées dans les différentes plateformes ont permis d'élaborer des facteurs d'émissions, qui diffèrent d'une plateforme à l'autre et d'un protocole à l'autre. En se replaçant dans les conditions « réelles » de la maison MARIA, les concentrations de polluants ont été modélisées pour les différents cas et facteurs d'émissions associés. La comparaison des résultats avec les concentrations effectivement mesurées a permis de mettre en avant les plateformes et protocoles de mesure les plus adaptées. Ainsi, les deux méthodes dites « méthode normalisée » et « méthode par la chambre à combustion » décrites dans le projet EBENE reflètent correctement les émissions des encens caractérisées dans des conditions réalistes de la maison expérimentale MARIA.

Abstract

In the EBENE project, volatile and particulate emissions from 9 incense products, 9 scented candles and one catalytic lamp sampled on the French market were characterized under realistic conditions in a test room of the MARIA experimental house of CSTB.

Field measurements have shown that emissions levels due to incense burning are much higher than when using scented candles. For instance, high emissions of benzene, toluene, ethylbenzene, styrene, formaldehyde, acetaldehyde and acrolein were measured during and just after the combustion of incense sticks. High levels of PAH and particles have been also measured. For incense products, the highest emissions are measured during the combustion of the tested product and during the hour following combustion. Particle emissions from incense burning are higher than for scented candles and are characterized by coarser particles (80 to 190 nm diameter).

Emission levels associated to candle burning are much lower than when burning incense. Formaldehyde, acetaldehyde and toluene are the major volatile compound identified at the $\mu g.m^{-3}$ level. Decrease of formaldehyde emissions from scented candles are less pronounced than for incense sticks suggesting that secondary production of formaldehyde occur after extinction of the candle. Emission of particles from candles are lower than from incense but emitted particles are smaller (diameter < 100 nm). Higher NOx emissions from candles have been also observed during field experiments in the MARIA test house.

Finally, a catalyst lamp has also been tested during this field campaign even if this product is particular. Volatile and particulate emission from this catalytic lamp are rather limited due to the combustion process, except for acetone, NOx and some unidentified high molecular weight compounds.

On the basis of the concentrations measured in real conditions and the results of a national survey on the uses of incense and candles, the Health Risk Assessment (HRA) method was applied following the usual practices observed in France.

The main conclusions are as follows:

- No situation of concern is expected for chronic exposures associated to the most common uses;
- Certain practices (high frequency and duration of use, multiple products used simultaneously, etc.) and certain environmental characteristics (room volume, ventilation rate, etc.) can lead to chronic exposures exceeding the usual reference values (QD > 1, ERI > 10^{-5}), mainly for incense, indicating a need to limit this type of exposure, e.g. through raising awareness about best practices: ventilation after use, moderate use, etc.;
- Some combustible air fresheners lead to short-term exposures that exceeded the selected health values (acute VTRs, short-term VGAIs). This result indicates a need to limit the emissions of the most emissive products, e.g. through setting an emission labelling procedure, and regulating the most emissive products.

On the whole, the identified priority substances are benzene, fine particles, acetaldehyde, formaldehyde and acrolein. Exposures to black carbon could also be of concern. Several platforms and measurement protocols have been tested to establish a methodology for measuring emissions from burning candles and incense. The VOC measurements carried out in the various platforms have led to the development of emission factors, which differ from one platform to another and from one protocol to another. By placing ourselves in the "real" conditions of the MARIA house, the concentrations of pollutants were modeled for the different cases and associated emission factors. The comparison of the results with the concentrations actually measured has made it possible to highlight the most suitable platforms and measurement protocols. The two methods referred to as “standardized method” and “combustion method” in this project appear to satisfactorily describe incense emissions characterized under realistic conditions in the MARIA experimental house.

1. Contexte

Pour améliorer la qualité de l'air intérieur (QAI), le contrôle des sources de pollutions intérieures est une action à mener prioritairement, conjointement avec l'optimisation des conditions d'aération/ventilation et la sensibilisation des usagers aux bonnes pratiques de gestion de la QAI.

Le Plan d'actions sur la Qualité de l'Air Intérieur (publié en 2013) prévoit de travailler sur l'information et l'étiquetage pour certains produits de consommation les plus émetteurs en polluants volatils (tels que les produits désodorisants et produits d'entretien).

Les désodorisants d'intérieur à combustion, notamment les encens et les bougies parfumées, ont été identifiés comme des sources parfois significatives de polluants gazeux et particulaires dans l'air intérieur. Par contre, les émissions de ces produits ont été caractérisées dans des conditions parfois très différentes : pièces réelles, chambre d'essai d'émission normalisées, chambre d'essai spécifiques, ce qui rend la comparaison de ces différentes études délicates et leur interprétation limitée.

L'objectif du projet de recherche EBENE est donc triple. Il s'agit tout d'abord de caractériser les composés volatils et particulaires émis dans l'air intérieur lors de la combustion d'encens et de bougies parfumées, dans les conditions maitrisées de la maison expérimentale du CSTB (maison MARIA). Cet équipement original permet de simuler de façon réaliste l'utilisation de ces produits et les niveaux de concentrations en polluants auxquels sont exposés les utilisateurs des encens et bougies parfumées. A partir de ces données expérimentales, une évaluation des risques sanitaires liée à l'utilisation de ces produits a été menée. Enfin, plusieurs méthodes de caractérisation des émissions des composés volatils et particulaires par les bougies et les encens ont été testées afin de proposer une méthodologie simple et, si possible, représentative des émissions dans des conditions réalistes d'utilisation de ces produits.

2. Principaux résultats

2.1. Caractérisation des émissions de polluants volatils et particulaires par des encens et des bougies

Pour le projet EBENE, neuf encens, neuf bougies parfumées et une lampe à catalyse ont été sélectionnés sur le marché français afin d'en tester les émissions dans les conditions réalistes de la maison expérimentale MARIA du CSTB. Les essais d'émission ont été réalisés dans une pièce de la maison MARIA, vide de tout mobilier et à la décoration minimale, déjà utilisée pour les études précédentes du CSTB et du LCE sur le même sujet. Ainsi, les concentrations en polluants volatils et particulaires mesurées dans la pièce de la maison MARIA représentent les niveaux de pollution auxquels les utilisateurs des désodorisants combustibles sont exposés lors de l'utilisation de ces produits.

Les techniques analytiques utilisées pour le projet associent à la fois des méthodes indirectes nécessitant un prélèvement puis une analyse différée (prélèvements et analyses des composés organiques volatils (COV) et du formaldéhyde selon les méthodes normalisées NF ISO 16000-6 et NF ISO 16000-3, analyses des HAP, etc.) et des méthodes directes permettant une analyse en continu des polluants étudiés (analyses des COV et du formaldéhyde par PTR-ToF-MS, analyses des particules, analyses des NOx, etc.).

Les différents produits sélectionnés ont été testés selon les protocoles suivants. Pour les méthodes analytiques indirectes (notamment analyses des COV et du formaldéhyde), quatre prélèvements ont ainsi été réalisés :

- Pour les encens :
  - → Prélèvement 1 (combustion) : durée adaptée à la durée de combustion du produit testé
  - → Prélèvement 2 (post-combustion 1) : de 0 à 1 h après la fin de la combustion
  - → Prélèvement 3 (post-combustion 2) : de 1 h à 2 h après la fin de la combustion
  - → Prélèvement 4 (post-combustion 3) : de 2 h à 3 h après la fin de la combustion

- Pour les bougies :
  - → Prélèvement 1 (combustion) : durée de combustion = 1 h
  - → Prélèvement 2 (post-combustion 1) : de 0 à 1 h après la fin de la combustion
  - → Prélèvement 3 (post-combustion 2) : de 1 h à 2 h après la fin de la combustion
  - → Prélèvement 4 (post-combustion 3) : de 2 h à 3 h après la fin de la combustion

Les vitesses de combustion (rapport entre la masse de produit brûlée et le temps de combustion) des différents produits testés sont comprises entre 0,9 et 3,3 g/h pour les encens et entre 3,6 et 7,7 g/h pour les bougies parfumées. La lampe à catalyse présente la vitesse de combustion la plus élevée (18,7 g/h), du fait de son système de combustion spécifique.

Les concentrations en polluants volatils émis par les encens augmentent progressivement pendant la phase de combustion puis passent par un maximum dans l'heure suivant la fin de la combustion. Ces concentrations diminuent ensuite car les polluants sont progressivement extraits de la pièce par le système de ventilation. La même dynamique d'émission est observée pour les particules émises par les encens. Les figures 1 et 2 présentent respectivement les exemples des émissions de benzène et de particules par l'encens EBENE-8.

Les principaux polluants volatils émis par les encens sont le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, le styrène, le formaldéhyde, l'acroléine et l'acétaldéhyde. Du fait de leur mode de combustion incomplète, la combustion des encens est donc une source significative de benzène dans les environnements intérieurs. Ainsi, les concentrations mesurées en benzène sont comprises entre 10 et 199 µg/m^3 pendant la combustion des neuf encens testés et entre 7 et 286 µg/m^3 dans l'heure suivant la fin de la combustion. De même, les concentrations mesurées en formaldéhyde sont comprises entre 10,6 et 47 µg/m^3 pendant la combustion et entre 8,7 et 34 µg/m^3 dans la première heure post combustion. Les particules émises par les encens ont un diamètre compris entre 80 et 190 nm et les concentrations moyennes maximales mesurées sont comprises entre 28 et 890 µg/m^3. Les concentrations moyennes maximales en NOx mesurées pendant l'utilisation d'encens sont comprises entre 8 et 35 µg/m^3. Enfin, les émissions de carbone suie sont très variables d'un encens à un autre (concentrations moyennes comprises entre 0,4 et 130 µg/m^3).

On peut aussi noter pour la même formulation d'un encens conditionné en bâton, en cône ou en stick que les vitesses de combustion et les émissions du cône sont supérieures à celles du stick puis du bâton. Il semble ainsi que plus la vitesse de combustion est importante, plus les émissions de polluants (benzène, par exemple) sont importantes.

Par ailleurs, l'utilisation d'allumettes pour enflammer les désodorisants combustibles représente une source supplémentaire de particules au tout début de la combustion. L'utilisation d'un briquet permet de limiter ces émissions particulaires.

Pour les bougies, la dynamique d'émissions des polluants est similaire à celle des encens (augmentation des concentrations pendant la combustion puis valeur maximale pendant ou dans l'heure suivant la fin de la combustion). Pour certaines bougies parfumées, on constate cependant une décroissance peu marquée des concentrations en formaldéhyde après la fin de la combustion, voire une augmentation des concentrations post combustion pour six des bougies testées, ce qui indique vraisemblablement des émissions secondaires de ces produits.

Les principaux polluants volatils émis par les bougies sont le toluène, le formaldéhyde et l'acétaldéhyde. Les émissions de benzène par les bougies sont faibles, ce qui souligne l'importance du mode de combustion sur l'émission de ce composé. Ainsi, les concentrations mesurées en benzène sont comprises entre la limite de détection et 1,5 µg/m^3 pendant la combustion des neuf bougies testées et entre la limite de détection et 2 µg/m^3 dans l'heure suivant la fin de la combustion. De même, les concentrations mesurées en formaldéhyde sont comprises entre la limite de détection et 5 µg/m^3 pendant la combustion et entre 0,8 et 11,8 µg/m^3 dans la première heure post combustion.

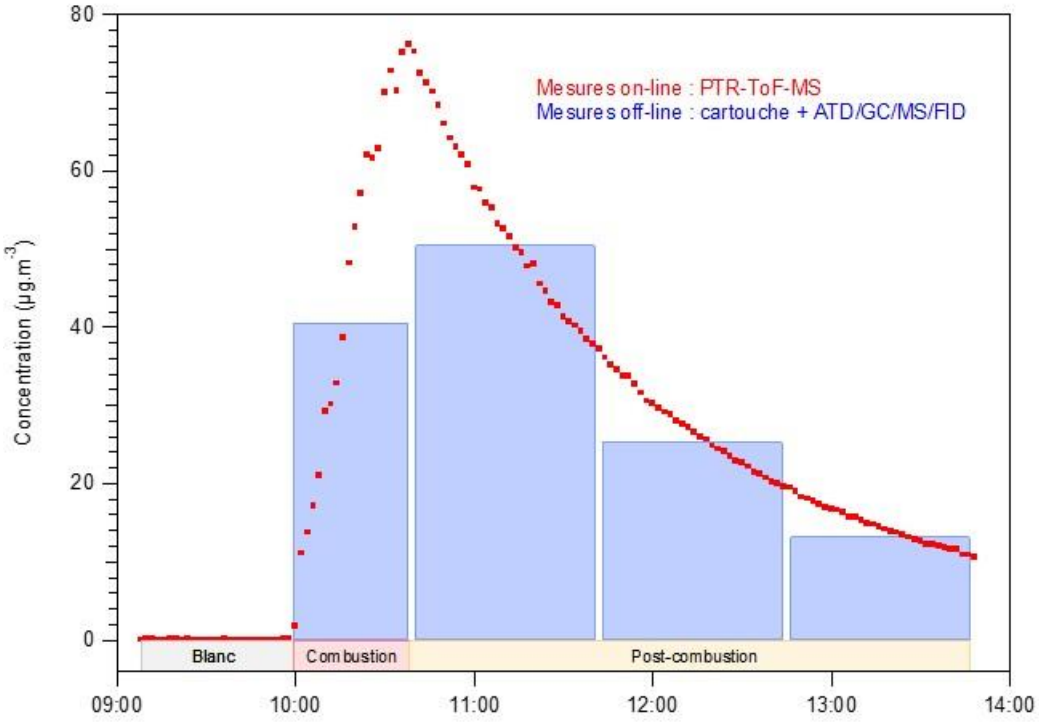

Figure 1 : Concentrations en benzène (µg/m^3) mesurées pour l'encens EBENE-8 par les méthodes en continu (on line) et normalisée (off line)

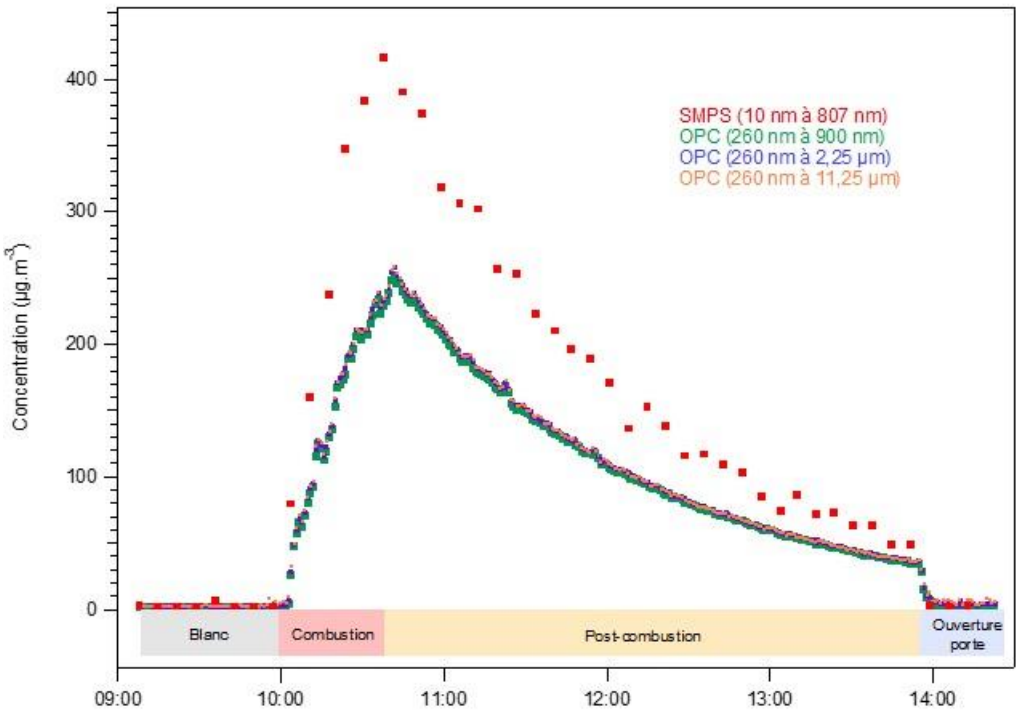

Figure 2 : Concentrations en particules (µg/m3) mesurées pour l'encens EBENE-8

Les particules émises par les bougies sont relativement fines (diamètre inférieur à 100 nm) et leurs concentrations moyennes maximales mesurées sont comprises entre 1 et 208 µg/m^3. Pour les bougies, on constate une phase d'émission de plus grosses particules lorsqu'on les éteint (état fumant de la bougie). Les concentrations moyennes maximales en NOx mesurées pendant l'utilisation des bougies parfumées sont comprises entre 49 et 142 µg/m^3. Enfin, les émissions de carbone suie sont également très variables d'une bougie à une autre (concentrations moyennes comprises entre 0,2 et 71 µg/m^3).

Globalement, les émissions de polluants volatils et particulaires des encens sont nettement supérieures à celles des bougies, même si les bougies émettent des particules plus fines. À l'inverse, les concentrations de NOx mesurées pendant la combustion des bougies parfumées sont plus importantes que celles des encens. Par ailleurs, tant pour les encens que pour les bougies, les émissions des différents produits testés sont très différentes d'un produit à l'autre.

Enfin, la lampe à catalyse présente une vitesse de combustion très élevée (18,7 g/h), associée à des concentrations importantes en acétone, et, dans une moindre mesure, en formaldéhyde, acétaldéhyde et NOx.

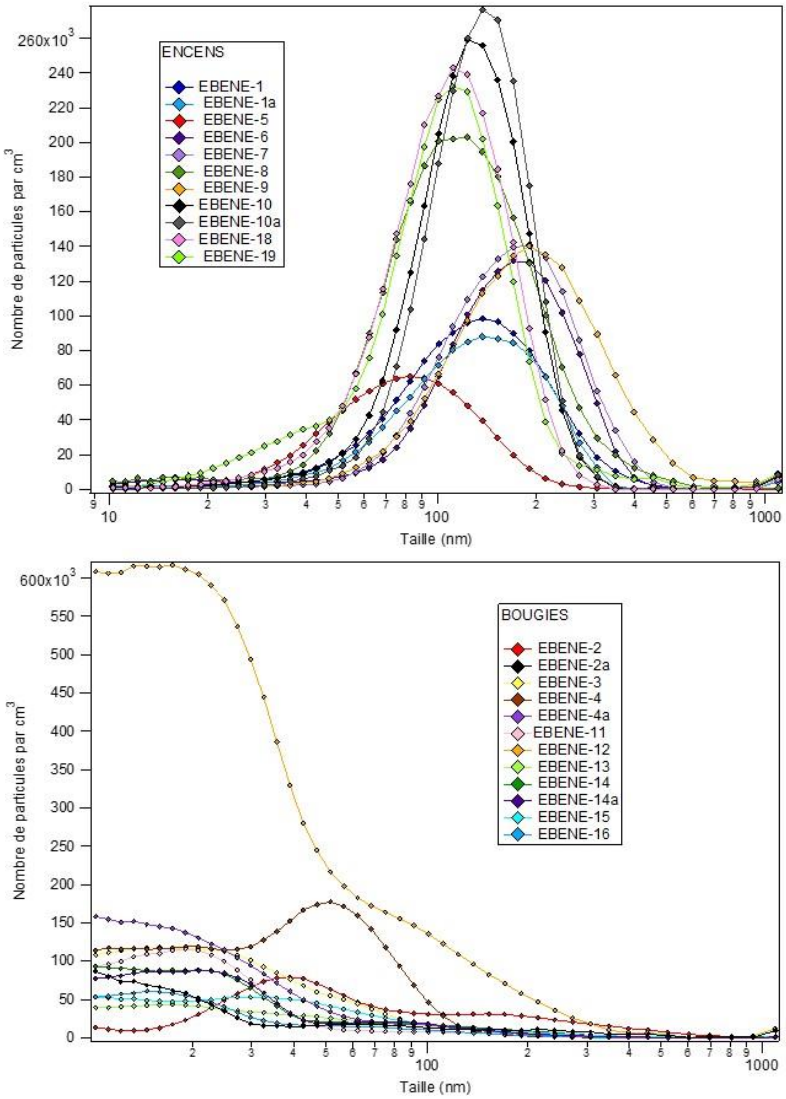

Figure 3 : Distribution granulométrique des particules émises par les différents encens (en haut) et les bougies (en bas) testés

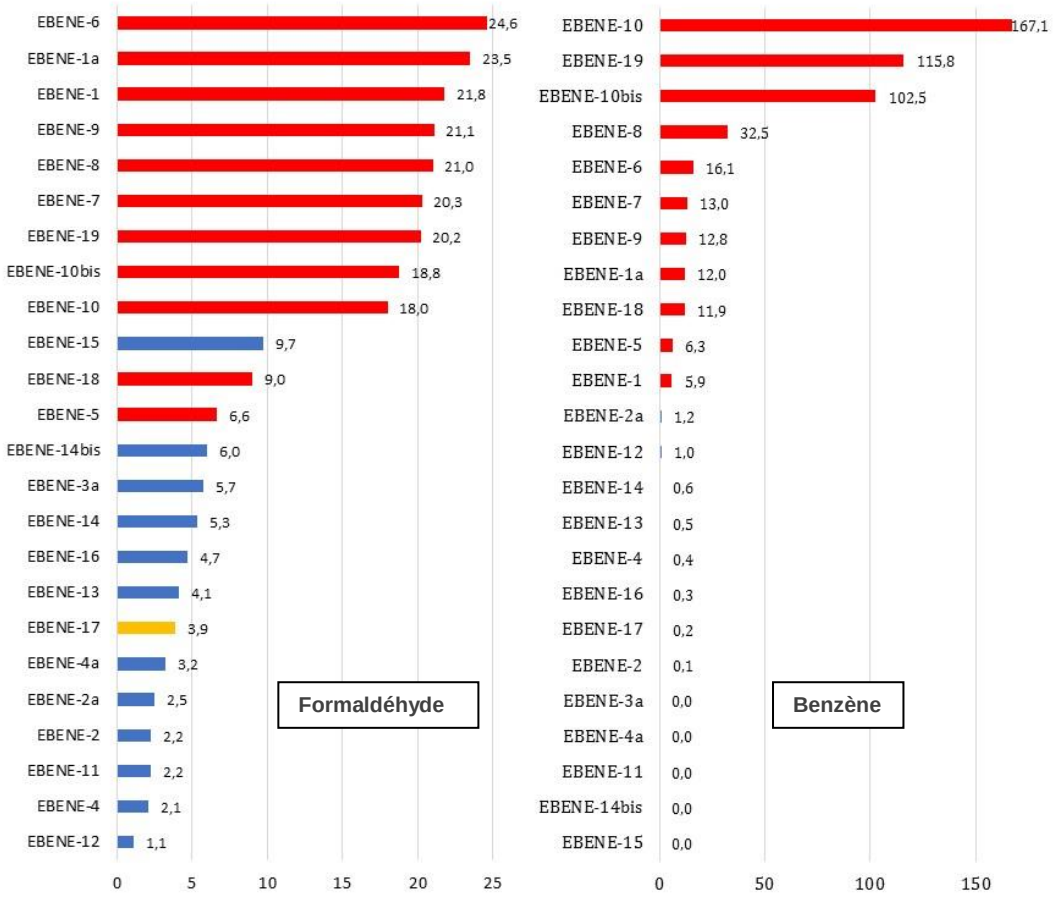

Figure 4 : Concentrations moyennes (µg/m^3) en formaldéhyde et en benzène pendant l'utilisation des encens, des bougies parfumées et de la lampe à catalyse

NB : *Résultats pour les encens (en rouge), les bougies (en bleu) et la lampe à catalyse (en jaune)*

2.2. Évaluation des risques sanitaires associés

Un des objectifs du projet EBENE est d'améliorer les connaissances sur les expositions liées à l'utilisation de bougies et d'encens en France. Sur la base des concentrations mesurées dans la maison MARIA, des expositions ont donc été quantifiées pour différents types d'usages domestiques.

Ces expositions portent sur les substances volatiles et les particules émises. Leur quantification est basée sur :

- Les résultats d'un sondage TNS Sofres réalisé en 2014 et portant sur l'utilisation des bougies et des encens en France ;
- Les résultats des mesures effectuées dans la maison MARIA.

Les résultats du sondage TNS Sofres réalisé en 2014 ont notamment permis d'élaborer deux scénarios génériques :

→ Scénario n° 1 : utilisateur de bougies ou d'encens dont les pratiques et les caractéristiques environnementales se trouvent dans la moyenne des pratiques et de caractéristiques observées ;

→ Scénario n° 2 : utilisateur de bougies ou d'encens dont les pratiques et les caractéristiques environnementales majorent raisonnablement l'exposition moyenne attendue.

Les principales composantes de ces deux scénarios sont détaillées dans le tableau 1.

PARAMÈTRES D'EXPOSITION	SCÉNARIOS « Utilisateurs de bougies »		SCÉNARIOS « Utilisateurs d'encens »	
	n° 1	n° 2	n° 1	n° 2
Fréquence d'utilisation (nb/jour)	0,1	1	0,07	0,5
Durée de combustion (minutes)	50	120	20	60
Durée d'exposition (années)	70	70	70	70
Nombre de produits utilisés simultanément (nb)	1,5	3	1	2
Pièce(s) où les produits sont utilisés	Salon / salle à manger	Salon / salle à manger	Salon / salle à manger	Salon / salle à manger
Aération manuelle	Ouverture 10' sur l'extérieur après utilisation	Pas d'aération	Ouverture 10' sur l'extérieur après utilisation	Pas d'aération
Taux de Renouvellement d'Air (h^{-1})	0,35	0,35	0,35	0,35

Tableau 1 : Scénarios d'exposition génériques pour caractériser les différents usages des bougies parfumées et des encens

Pour chaque scénario et chaque substance émise, des concentrations moyennes inhalées (CMI, en µg/m^3) ont été calculées. A titre d'exemple, les CMI moyennes en benzène, formaldéhyde, PM totaux et NOx calculées pour les encens et les bougies pour les deux scénarios sont présentées sur la figure suivante.

Les expositions caractérisées dans le cadre du projet EBENE ont ainsi permis d'obtenir :

- De nouvelles données d'exposition au benzène, éthylbenzène, naphtalène, toluène, formaldéhyde, acétaldéhyde et acroléine liées à l'utilisation d'encens. Ces données viennent compléter celles obtenues à l'occasion d'une étude réalisée en 2015 par l'INERIS et le CSTB pour le Ministère en charge de l'environnement[1] ;
- Des premières données d'exposition à de nouvelles substances (par exemple, α-pinène, d-limonène, particules, HAP, carbone suie, NOx) liées à l'utilisation d'encens ;
- Des premières données sur les expositions liées à l'utilisation de bougies parfumées.

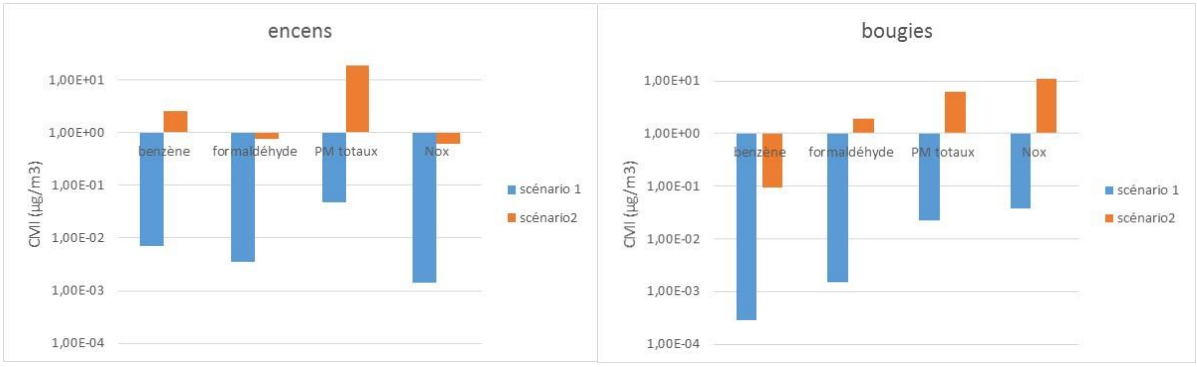

Figure 5 : Concentrations moyennes Inhalées (µg.m^{-3}) pour le benzène, le formaldéhyde, les PM totaux et les NOx (valeurs moyennes calculées pour les scénarios 1 et 2)

NB : *Résultats pour les encens (figure à gauche) et les bougies (figure à droite)*

[1] Rapport ref. INERIS-DRC-14-144018-06268C - Utilisation d'encens et qualité de l'air intérieur : enjeux sanitaires, substances d'intérêt, bonnes pratiques - http://www.ineris.fr/centredoc/rapportineris-drc-14-144018-06268c--encens-vc-1455890922.pdf - https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/qualite-lair-interieur

D'une manière générale, l'utilisation d'encens conduit à des expositions plus importantes que celles liées à l'utilisation de bougies. C'est notamment le cas pour le benzène, l'éthylbenzène, le benzo(a)pyrène et les particules. A l'inverse, l'utilisation de bougies parfumées conduit à des expositions en NOx supérieures à celles liées à l'utilisation d'encens.

Les mesures réalisées dans la maison MARIA ont révélé la grande variabilité des émissions des différents polluants par les différents produits testés. Par exemple, concernant le scénario n° 2 :

→ Pour les encens, les CMI maximales du formaldéhyde, du benzène, de l'acétaldéhyde et de l'éthylbenzène sont atteintes par des produits différents ;

→ Pour les bougies, les CMI maximales du formaldéhyde, de l'acétaldéhyde, du benzaldéhyde et du dioxyde d'azote sont atteintes par des produits différents.

Un autre objectif du projet EBENE était d'identifier les substances les plus préoccupantes émises par les désodorisants combustibles sélectionnés, puis d'apprécier les enjeux sanitaires associés. Pour répondre à cet objectif, la démarche d'Évaluation des Risques Sanitaires (ERS) a été mise en œuvre, selon la méthode en usage en France. En particulier, la quantification des risques sanitaires a été notamment réalisée par le calcul des quotients de danger (QD) pour les effets sanitaires à seuil (non cancérigènes pour la plupart) et d'excès de risque individuel (ERI) pour les effets sanitaires sans seuil (cancérigènes pour la plupart).

Les principales conclusions de l'ERS sont les suivantes :

- Aucune situation préoccupante n'est attendue pour les expositions chroniques liées au scénario n° 1 ;
- Les expositions chroniques liées au scénario n° 2 présentent plusieurs dépassements des valeurs repères usuelles (QD > 1, ERI > 10^{-5}), pour les encens et pour les bougies. Les dépassements les plus élevés sont liés au benzène et aux particules émis par les encens. Ce résultat suggère un besoin de limiter ce type d'expositions.

  Les concentrations moyennes inhalées faisant l'objet de dépassements de valeurs repères varient :

  - Pour le benzène, entre 0,4 et 11 µg.m^{-3} environ ;
  - Pour les particules totales, principalement composées de particules $PM_{2,5}$, entre 11 et 27 µg.m^{-3} environ.

  À titre de comparaison :

  - Pour le benzène : les concentrations moyennes annuelles mesurées à proximité d'infrastructures routières sont de l'ordre de 2 µg.m^{-3},
  - Pour les particules : la médiane des concentrations mesurées en $PM_{2.5}$ dans les logements français (moyenne sur une semaine) est égale à 19,1 µg.m^{-3} ;
- Par ailleurs, certains désodorisants combustibles ont généré des expositions de court terme (1h) dépassant les valeurs sanitaires retenues dans le cadre du projet (VTR aigues, VGAI court terme). Les dépassements les plus élevés, sont liés à l'acroléine, au benzène et aux particules émis par les encens. Ce résultat suggère un besoin de limiter les émissions des produits les plus émissifs.

  Les concentrations horaires maximales correspondantes varient :

  - Pour l'acroléine, entre 11 et 66 µg.m^{-3} environ ;
  - Pour le benzène, entre 10 et 400 µg.m^{-3} environ ;
  - Pour les particules, principalement composées de particules $PM_{2,5}$, entre 1 et 2 300 µg.m^{-3} environ.

  À titre de comparaison :

  - Pour l'acroléine, lors de cuissons d'aliments par friture, des concentrations ont été mesurées entre 25 et 65 µg.m^{-3} ;
  - Pour le benzène, les concentrations mesurées dans les parcs de stationnement couverts peuvent atteindre 120 µg.m^{-3} en moyenne sur 12 heures ;

- Pour les particules, lors de combustion de bois dans des foyers ouverts, des concentrations en $PM_{2.5}$ sur 8, 16 ou 24 heures ont pu être mesurées entre 50 et 130 µg.m^{-3}.

Sur la base de l'ensemble des dépassements de valeurs repères obtenues, les substances d'intérêt prioritaires identifiées sont le benzène, les particules fines, et dans une moindre mesure, l'acétaldéhyde, le formaldéhyde, et l'acroléine.

Pour le benzène et les particules, les premiers effets observés comprennent des irritations respiratoires et oculaires, des céphalées et des nausées. Par ailleurs, le benzène est une substance classée cancérigène par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC).

Les enjeux sanitaires identifiés pour les encens sont plus élevés que ceux identifiés pour les bougies. Néanmoins :

- L'utilisation de bougies concernerait deux fois plus de personnes environ ;
- Les particules émises par les bougies pourraient comprendre une proportion de particules ultrafines plus importante que celle des particules émises par les encens.

Les résultats de la caractérisation des expositions et de l'évaluation des risques sanitaires associés, conduisent les porteurs du projet à formuler des recommandations portant d'une part sur des actions d'information des utilisateurs de ces produits et d'autre part sur des actions de gestion des risques visant à limiter les expositions des utilisateurs aux polluants émis lors de la combustion des encens et des bougies parfumées. Ces recommandations sont présentées dans le chapitre suivant.

2.3. Comparaison de différentes méthodes d'essai de caractérisation des émissions des encens et des bougies

La troisième partie du projet EBENE a consisté à comparer différentes méthodes de caractérisation des émissions de polluants volatils et particulaires par les bougies parfumées et les encens, en utilisant notamment les méthodes de chambre d'essai normalisées développées pour les produits de construction, les versions intermédiaires du projet de norme spécifique aux désodorisant combustibles en cours de développement au CEN et une méthode plus spécifique adaptée à partir de données de la littérature.

Les différentes méthodes testées dans le cadre de l'étude EBENE sont présentées succinctement dans le tableau 2. Ces méthodes utilisent soit une chambre d'essai d'émission d'un volume de 1 m^3 conforme à la norme NF EN ISO 16000-9, soit une chambre d'essai (appelée chambre à combustion) développée par le CSTB sur la base de travaux d'une équipe de recherche italienne (Derudi et al., 2012). Cette chambre d'essai est construite en acier inox, elle est alimentée par un air propre et son volume est d'environ 0,23 m^3.

En plus des différences de type de chambre d'essai utilisées (chambre 1 m^3 ou chambre à combustion) et de leurs volumes respectifs (1 m^3 et 0.23 m^3), les principales différences entre les protocoles d'essai testés portent sur le nombre de produits testés (1 ou 2 bâtons d'encens ou bougies brûlant dans la chambre d'essai) et sur le taux de renouvellement d'air (TRA) dans la chambre d'essai, compris entre 0,7 h^{-1} et 2 h^{-1}.

Cinq produits (trois encens et deux bougies) dont les émissions ont été caractérisées dans la maison MARIA dans la première partie du projet ont été sélectionnés pour cette comparaison.

Pour ces cinq produits, les vitesses de combustion (rapport entre la masse de produit brûlée et la durée de combustion) sont homogènes selon les différents protocoles testés et entre ces protocoles et les conditions réalistes mises en œuvre à la maison MARIA (figure 6). On constate cependant des vitesses de combustion plus importantes pour les deux bougies et pour les protocoles « CC-TRA2 » et « norme ». Ces différences correspondent à des masses brûlées plus importantes (deux bougies sont utilisées) et des taux de renouvellement d'air plus importants dans les chambres d'essai (TRA = 2 h^{-1}).

NOMS du PROTOCOLE	EBENE-CSTB	EBENE-LCE	Norme	CC-TRA2	CC-TRA1
Plateforme d'essai	VCE1000-CSTB	VCE1000-LCE	VCE1000-CSTB	Chambre combustion	Chambre combustion
Volume d'essai	1 m^3	1 m^3	1 m^3	0,23 m^3	0,23 m^3
Nombre échantillons	1	1	2	2	2
TRA (h^{-1})	0,7	0,7	1,8	2,0	1,0

Tableau 2 : Protocoles d'essai testés dans l'étude EBENE

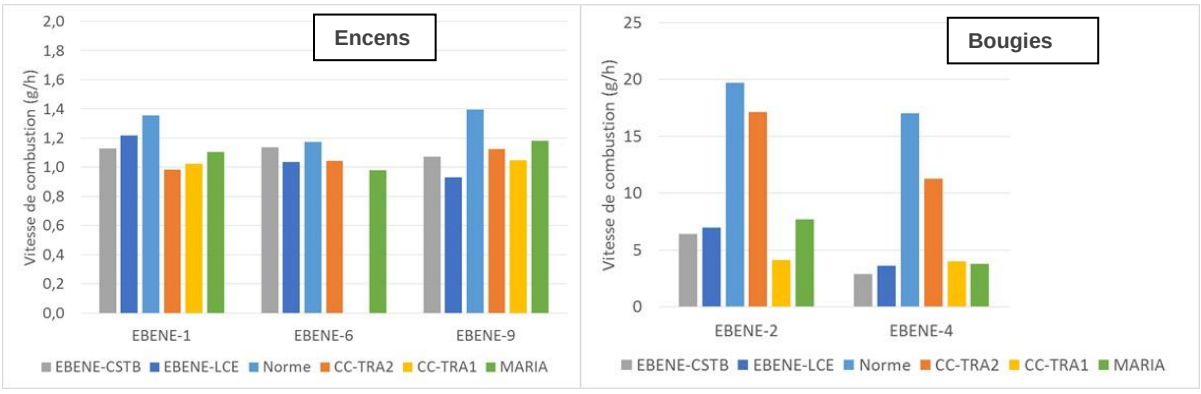

Figure 6 : Vitesses de combustion pour des encens et des bougies parfumées sur les différentes plateformes d'essai et dans la maison MARIA

NB : *Figure à gauche (résultats pour les encens) et figure à droite (résultats pour les bougies)*

La répétabilité des essais de caractérisation des émissions de polluants volatils a été évaluée sur un bâton d'encens testé 10 fois selon le protocole EBENE-CSTB et sur une bougie parfumée testée 10 fois selon le protocole EBENE-LCE. Ces essais montrent que les mesures sont répétables. En effet, les écarts types sur les concentrations moyennes mesurées en benzène, toluène, formaldéhyde et acétaldéhyde sont compris entre 4 % et 7 % pour le bâton d'encens EBENE-6 et entre 11 % et 35 % pour la bougie parfumée EBENE-2, dont les émissions sont nettement plus faibles. Ces valeurs sont tout à fait comparables avec celles que l'on peut attendre des mesures normalisées de caractérisation des émissions de polluants volatils des produits de construction (Yrieix et al., 2010).

La reproductibilité des essais a été évaluée en comparant les résultats obtenus sur les plateformes EBENE-CSTB et EBENE-LCE, mais les résultats ne sont pas probants pour l'ensemble des cinq produits testés. Des investigations complémentaires seraient nécessaires pour mieux comprendre l'origine des différences observées, éventuellement liées aux différentes techniques analytiques on-line et off-line utilisées par les deux laboratoires.

Les comparaisons des différentes plateformes d'essai utilisées dans cette partie du projet et de leur capacité à reproduire plus ou moins fidèlement les émissions caractérisées in situ dans la maison expérimentale MARIA ont été réalisées directement sur les résultats d'essais et par le biais d'une modélisation des émissions et d'une analyse statistique. La modélisation des émissions a consisté à extrapoler le profil des émissions, à partir des facteurs d'émissions caractérisés pendant la phase de combustion des produits testés.

La comparaison directe des résultats obtenus sur les différentes plateformes d'essai n'est pas évidente et c'est la méthode par modélisation des profils d'émission et par analyses statistiques qui a permis de déterminer quelles méthodes d'essais sont les plus adaptées pour reproduire les émissions mesurées en conditions réalistes.

Les profils d'émissions du benzène des trois bâtons d'encens mesurés dans la maison MARIA et modélisés sont illustrés sur la figure 7 et l'analyse statistique est présentée dans le tableau 3. Le principe de cette analyse consiste à calculer un indice de cohérence entre les concentrations mesurées in situ et les concentrations modélisées. Plus ces concentrations sont proches, plus l'indice de cohérence est faible. La méthode la plus adaptée pour simuler les émissions mesurées dans la maison MARIA présente donc les facteurs de similitudes les plus bas.

Benzène (indice de cohérence)	**EBENE-1**	**EBENE-6**	**EBENE-9**
EBENE-CSTB	0,39	0,60	1,18
Norme	**0,17**	**0,22**	1,04
CC-TRA2	0,70	0,28	**0,31**
CC-TRA1	0,25	nd	0,62

Tableau 3 : Indices de cohérence modèle / mesures pour les émissions de benzène de trois bâtons d'encens

NB : *en gras, les valeurs mesurées les plus basses*

Globalement, les protocoles « Norme » et « Chambre combustion – TRA = 2 » sont les deux protocoles simulant le mieux les émissions des principaux polluants volatils par les trois bâtons d'encens caractérisées dans les conditions réalistes de la maison MARIA.

Une chambre d'essai de 1 m^3 semble donc particulièrement adaptée pour caractériser les émissions des polluants volatils des désodorisants combustibles et un taux de renouvellement d'air de 2 h^{-1} semble également un paramètre important permettant une extraction plus rapide des polluants émis en vue de leur prélèvement pour analyse. La méthode normalisée apparait ainsi comme une bonne méthode d'essai. On regrettera cependant que la préparation de cette norme s'est déroulé en même temps que la réalisation du projet EBENE. La version du protocole « Norme » testés dans le projet est différente de la version finale de la norme NF EN 16738 (Sécurité des émissions des désodorisants à combustion – Méthodes d'essais, AFNOR, 2015), publiée en décembre 2015, notamment en ce qui concerne le temps de prélèvement des polluants émis par les bougies (bougie allumée, prélèvement d'une heure après deux heures d'équilibrage dans la chambre d'essai).

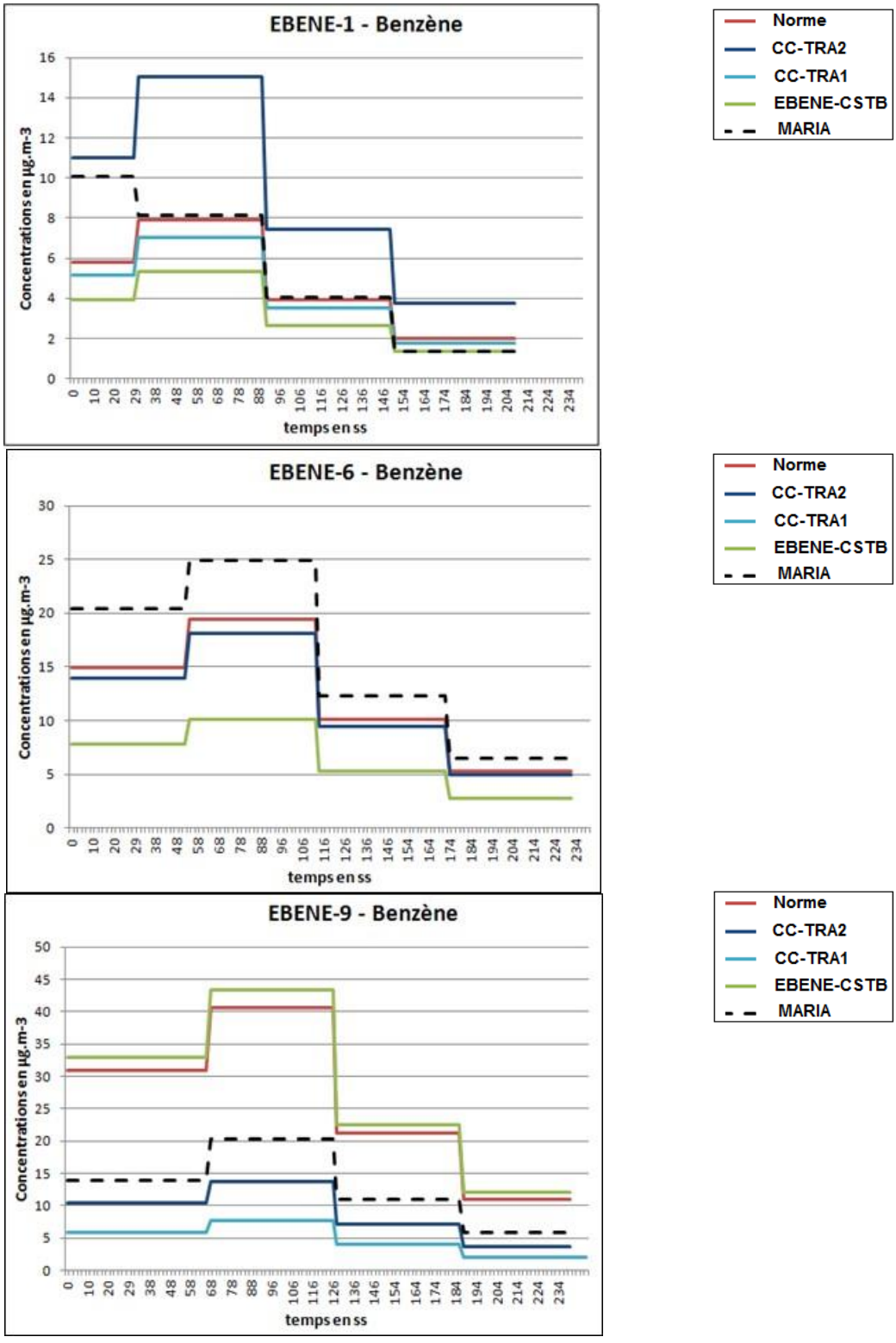

Figure 7 : Concentrations de benzène mesurées (MARIA) et simulées pour trois bâtons d'encens

La méthode de la chambre à combustion développée par le CSTB semble également une alternative intéressante à la chambre d'essai de 1 m^3. Des essais complémentaires seraient nécessaires pour une meilleure comparaison de ces deux équipements. Par ailleurs, cette comparaison devrait être étendue à la caractérisation des particules émises car le design de la chambre à combustion peut être plus favorable aux prélèvements des particules.

3. Conclusions / Perspectives et recommandations

L'objectif de l'étude EBENE visait à caractériser les émissions des polluants volatils et particulaires par des bâtons d'encens et bougies d'intérieur présents sur le marché français, à réaliser une évaluation des risques sanitaires liée à l'utilisation de ces produits et à proposer une méthodologie simple et robuste de caractérisation de ces émissions, basée sur le principe de la chambre d'essai d'émission.

Les émissions de polluants volatils et particulaires de neuf bâtons d'encens, de neuf bougies parfumées et d'une lampe à catalyse ont ainsi été caractérisées dans des conditions réalistes d'utilisation dans une pièce de la maison expérimentale MARIA du CSTB.

Les mesures effectuées dans la maison MARIA ont montré que les niveaux de concentrations en polluants atteints pendant et après la combustion des bâtons d'encens étaient très largement supérieurs à ceux obtenus pour les bougies parfumées. Cependant, les émissions des différents produits testés sont très différentes d'un produit à l'autre, tant pour les encens que pour les bougies.

L'utilisation des bâtons d'encens se traduit ainsi par des concentrations élevées en benzène, toluène, éthylbenzène, styrène, formaldéhyde, acétaldéhyde et acroléine. On relève également des concentrations d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des concentrations de particules élevées.

Pour les encens, les concentrations sont les plus élevées pendant la combustion et pendant l'heure suivant la fin de la combustion avant de diminuer sous l'effet de l'aération de la pièce.

Les encens sont également plus émissifs en particules que les bougies mais présentent des particules plus grosses (de 80 à 190 nm).

Les niveaux de polluants volatils émis par les bougies parfumées sont nettement plus faibles que ceux relevés pour les encens et seuls le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et le toluène sont mesurés à des niveaux de concentration de plusieurs $\mu g.m^{-3}$. Contrairement à ce que l'on observe pour les autres polluants, on note parfois une augmentation des émissions de formaldéhyde des bougies, ce qui suggère une émission secondaire de ce composé après leur extinction.

Par ailleurs, les bougies émettent globalement moins de particules que les encens, mais les particules émises sont plus fines (diamètre < 100 nm), sauf juste après l'extinction de la bougie (état fumant de la bougie).

On remarque aussi que les bougies émettent significativement plus d'oxydes d'azote (NOx) que les bâtons d'encens.

Enfin une lampe à catalyse a été testée dans le cadre de ce projet, même si ce produit est assez spécifique. Les émissions de polluants volatils et particulaires de la lampe à catalyse restent relativement modérées, sauf pour l'acétone, les oxydes d'azote (NOx) et certains composés à plus haut poids moléculaire non identifiés.

Sur la base des concentrations mesurées en conditions réelles et des résultats d'un sondage national sur les usages d'encens et de bougies, la démarche d'Évaluation des Risques Sanitaires (ERS) a été mise en œuvre, selon les pratiques classiquement observées en France. Les principales conclusions sont les suivantes :

- Aucune situation préoccupante n'est attendue pour les expositions chroniques associées aux usages les plus courants ;

- Certaines pratiques (fréquence et durée d'utilisation élevées, plusieurs produits utilisés simultanément, etc.) et certaines caractéristiques environnementales (volume de la pièce, taux de renouvellement d'air, etc.) peuvent conduire à des expositions chroniques dépassant les valeurs repères usuelles (Quotient de Danger - QD > 1, Excès de Risque Individuel - ERI > 10^{-5}), principalement pour les encens, ce qui suggère un besoin de limiter ce type d'expositions ;
- Certains désodorisants combustibles ont généré des expositions de court terme dépassant les valeurs sanitaires retenues (VTR aigues, VGAI court terme). Ce résultat suggère un besoin de limiter les émissions des produits les plus émissifs.

Au global, les substances d'intérêt prioritaires identifiées sont le benzène, les particules fines, et dans une moindre mesure, l'acétaldéhyde, le formaldéhyde et l'acroléine.

Les résultats de cette ERS permettent aux porteurs du projet EBENE de formuler certaines recommandations, incluant :

- Renforcer les actions d'information vers la population générale : risques potentiels, bonnes pratiques d'utilisation (aération postérieure, usage modéré…), niveaux d'émissions des produits (ex : étiquetage), sensibilité de certaines populations (femmes enceintes, jeunes enfants, personnes asthmatiques, etc.) ;
- Réglementer la vente des produits les plus émissifs ;
- Approfondir les connaissances sur les émissions et les effets des substances émises par les désodorisants combustibles. Les substances liées aux parfums générés pourraient faire partie des substances à considérer en priorité.

Enfin, plusieurs méthodologies de caractérisation des émissions des polluants volatils des bougies parfumées et des encens ont été testées dans le cadre de l'étude EBENE. Ces méthodologies reposent sur l'utilisation de chambres d'essai d'émission, développées pour la caractérisation des émissions des produits de construction, et d'une chambre à combustion développée spécifiquement pour la caractérisation des émissions des bougies parfumées.

Même si une certaine variabilité des résultats a été obtenue en fonction des différents polluants cibles étudiés et des différents produits testés, l'approche expérimentale et l'approche par modélisation indiquent que les deux méthodes dites « Norme » et « chambre à combustion » reflètent correctement les émissions des encens caractérisées dans des conditions réalistes de la maison expérimentale MARIA.

Il est à noter que le projet de norme européenne a évolué pendant la réalisation de l'étude EBENE pour aboutir à une version finale à la fin de l'année 2015. Ainsi, la norme NF EN 16738 (Sécurité des émissions des désodorisants à combustion – Méthodes d'essais, AFNOR, 2015) décrit les conditions d'essais pour la caractérisation des émissions des désodorisants à combustion et la norme NF EN 16739 (Sécurité des émissions des désodorisants à combustion – Méthodologie de l'évaluation des résultats d'essais et application des limites d'émission recommandées, AFNOR, 2015) décrit les méthodes d'évaluation des résultats de ces essais. Pour les bougies parfumées, la norme NF EN 16738 maintenant disponible (AFNOR, 2015), diffère de la méthode « Norme » testée dans le cadre du projet EBENE, notamment pour le temps de prélèvement fixé après une durée d'équilibrage de deux heures après allumage et combustion des deux bougies dans la chambre d'essai d'émission.

Malgré ces petites différences, il est rassurant que la méthode « Norme » testée dans le cadre de l'étude EBENE ressorte comme une méthode reflétant de façon satisfaisante les émissions des bougies et des encens testés dans les conditions réalistes d'utilisation de la maison MARIA, car maintenant que les normes NF EN 16738 et NF EN16739 sont disponibles, les fabricants vont faire référence à ces nouvelles normes dans leurs demandes d'essais de caractérisation des émissions de leurs produits. Une chambre d'essai de 1 m^3 semble donc particulièrement adaptée pour caractériser les émissions des polluants volatils des désodorisants combustibles et un taux de renouvellement d'air de 2 h^{-1} semble également un paramètre important permettant une extraction plus rapide des polluants émis en vue de leur prélèvement pour analyse. La méthode normalisée apparait ainsi comme une bonne méthode d'essai.

Index des tableaux et figures

Tableaux

Tableau 1 : Scénarios d'exposition génériques pour caractériser les différents usages des bougies parfumées et des encens **11**

Tableau 2 : Protocoles d'essai testés dans l'étude EBENE **14**

Tableau 3 : Indices de cohérence modèle / mesures pour les émissions de benzène de trois bâtons d'encens **15**

Figures

Figure 1 : Concentrations en benzène (µg/m^3) mesurées pour l'encens EBENE-8 par les méthodes en continu (on line) et normalisée (off line) **8**

Figure 2 : Concentrations en particules (µg/m3) mesurées pour l'encens EBENE-8 ..... **8**

Figure 3 : Distribution granulométrique des particules émises par les différents encens (en haut) et les bougies (en bas) testés **9**

Figure 4 : Concentrations moyennes (µg/m^3) en formaldéhyde et en benzène pendant l'utilisation des encens (en rouge), des bougies parfumées (en bleu) et de la lampe à catalyse (en jaune) **10**

Figure 5 : Concentrations moyennes Inhalées (µg/m^3) pour le benzène, le formaldéhyde, les PM totaux et les NOx (valeurs moyennes calculées pour les scénarios 1 et 2) **11**

Figure 6 : Vitesses de combustion pour des encens et des bougies parfumées sur les différentes plateformes d'essai et dans la maison MARIA **14**

Figure 7 : Concentrations de benzène mesurées (MARIA) et simulées pour 3 bâtons d'encens **16**

Sigles et acronymes

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
CAA	Concentration Admissible dans l'Air
CMI	Concentrations Moyennes Inhalées – concentration caractérisant l'exposition par inhalation
COV	Composés Organiques Volatils
COVT	Composés Organiques Volatils Totaux
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
EQRS	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
ERI	Excès de Risque Individuel
ERS	Evaluation des Risques Sanitaires
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques
IR	Indice de Risque
LCE	Laboratoire de Chimie de l'Environnement
LD	Limite de Détection
LQ	Limite de Quantification
NO_2	Dioxyde d'azote
NOx	Oxydes d'azote
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PM	Particulate Matter
QD	Quotient de Danger
SER	Specific Emission Rate – Facteur d'émission
TRA	Taux de Renouvellement d'Air

EXPERTISES

EXPOSITION AUX POLLUANTS EMIS PAR LES BOUGIES ET LES ENCENS DANS LES ENVIRONNEMENTS INTERIEURS

Les émissions de polluants volatils et particulaires sont caractérisées dans des conditions réalistes d'utilisation pour neuf bougies et neuf encens.

Dans les environnements intérieurs, la combustion d'encens représente une source significative de polluants volatils (notamment de benzène) et de particules.

Les émissions des bougies sont globalement inférieures à celles des encens, sauf pour les oxydes d'azote (NOx). Par contre, les bougies émettent des particules plus fines par rapport aux encens.

Concernant ces produits, aucune situation préoccupante n'est attendue pour des expositions chroniques liées à des usages limités.

Dans certains cas d'utilisation plus importante ou de défauts de ventilation, des dépassements des valeurs toxicologiques de référence peuvent être atteints, ce qui suggère le besoin de limiter les émissions des produits les plus émissifs.

L'information des usagers sur les bonnes pratiques d'utilisation de ces produits et sur l'importance d'aérer après leur utilisation est nécessaire pour limiter les expositions aux polluants émis.

La combustion d'encens et de bougies représente une source significative de polluants gazeux et particulaires dans les environnements intérieurs.

L'information des usagers sur les bonnes pratiques d'utilisation de ces produits et sur l'importance d'aérer après leur utilisation est nécessaire pour limiter les expositions aux polluants émis.

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

www.ademe.fr