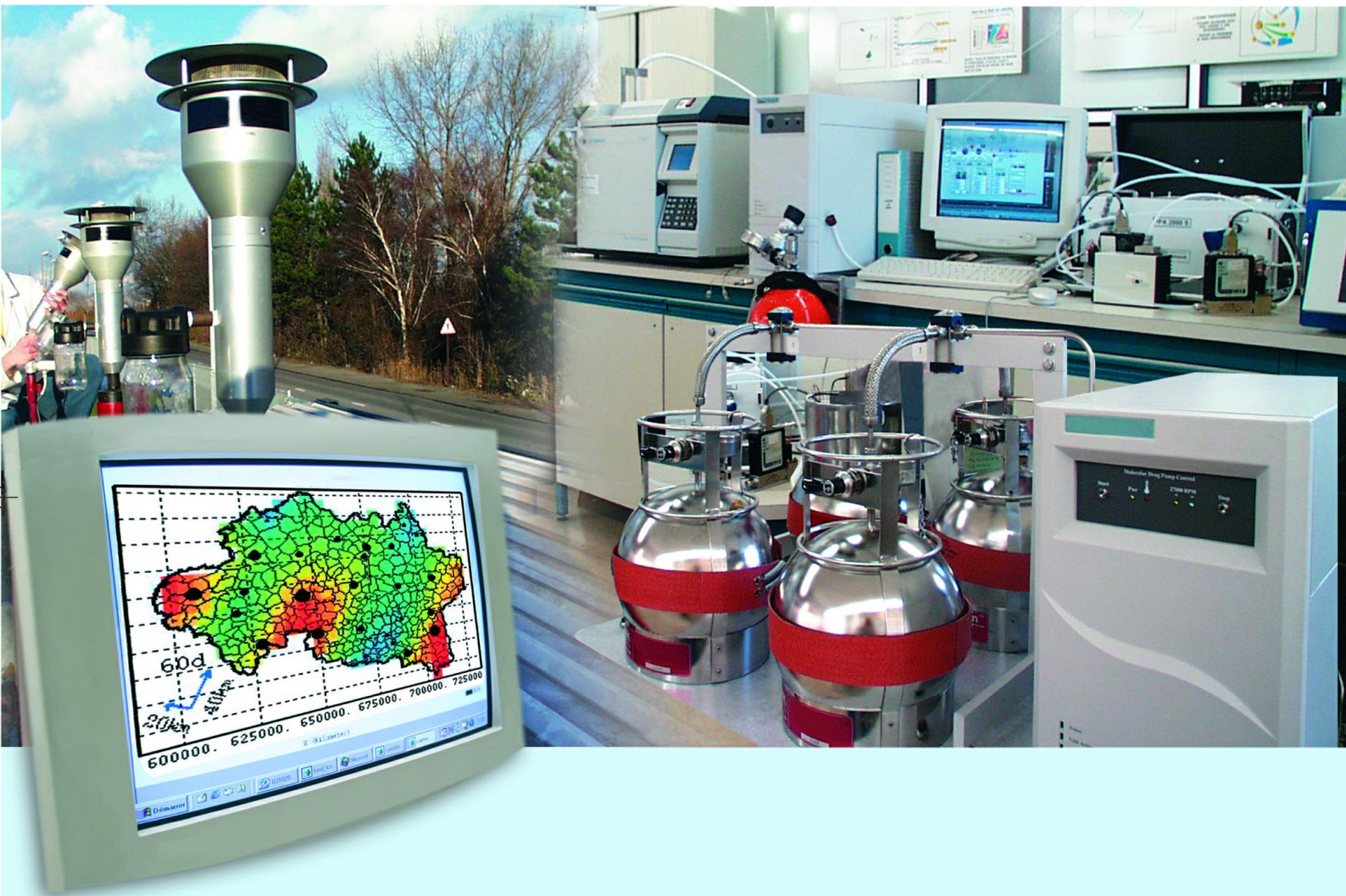




## Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Métrie - Benzène / HAP / Métaux

**Surveillance du Benzène : état des lieux des niveaux de benzène  
en air intérieur**

Décembre 2010

Programme 2010

L. CHIAPPINI







## PREAMBULE

# **Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air**

**Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué de laboratoires de l'École des Mines de Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches finalisées à la demande du Ministère chargé de l'environnement, et en concertation avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces travaux en matière de pollution atmosphérique ont été financés par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (bureau de la qualité de l'air) du Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement. Ils sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France en apportant un appui scientifique et technique au MEDDTL et aux AASQA.**

**L'objectif principal du LCSQA est de participer à l'amélioration de la qualité des mesures effectuées dans l'air ambiant, depuis le prélèvement des échantillons jusqu'au traitement des données issues des mesures. Cette action est menée dans le cadre des réglementations nationales et européennes mais aussi dans un cadre plus prospectif destiné à fournir aux AASQA de nouveaux outils permettant d'anticiper les évolutions futures.**





# Surveillance du Benzène : état des lieux des niveaux de benzène en air intérieur

Laboratoire Central de Surveillance  
de la Qualité de l'Air

## Métrologie - Benzène / HAP / Métaux

Programme financé par la  
Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC)

2010

**L. CHIAPPINI**

Ce document comporte 40 pages (hors couverture et annexes)

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Laura CHIAPPINI	Eva LEOZ-GARZIANDIA	Martine RAMEL
Qualité	Ingénieur Unité CIME  Direction des Risques Chroniques	Responsable Unité CIME  Direction des Risques Chroniques	Responsable LCSQA/INERIS  Direction des Risques Chroniques
Visa			



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. RESUME.....</b>	<b>5</b>
<b>2. INTRODUCTION .....</b>	<b>6</b>
<b>3. LE BENZENE : SOURCES, IMPACT SANITAIRE, VGAI.....</b>	<b>7</b>
3.1 Introduction .....	7
3.2 Sources et surveillance du benzène.....	7
3.2.1 Les sources de benzène en air extérieur.....	7
3.2.2 La surveillance du benzène en air extérieur .....	8
3.2.3 Les sources de benzène en air intérieur.....	9
3.2.4 Produits de consommation et réglementation.....	10
3.3 Toxicité et exposition.....	11
3.3.1 Les valeurs guide de qualité de l'air intérieur (VGAI) de l'ANSES .....	11
3.3.2 L'avis du Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) .....	12
3.3.3 La Directive Européenne Intégrée 2008/50/CE : Valeur limite air ambiant .....	13
<b>4. CONCENTRATIONS EN BENZENE MESUREES EN AIR INTERIEUR.....</b>	<b>14</b>
<b>5. DETAIL DES ETUDES PAR RESIDENCES .....</b>	<b>16</b>
5.1 Comparaisons aux valeurs de référence.....	16
Ainsi, il est possible de constater que seulement 18 % des études présentent des concentrations moyennes inférieures à 2 µg m <sup>-3</sup> , la plus grande majorité, près de 55 %, révélant des concentrations moyennes comprises entre 2 et 5 µg m <sup>-3</sup> .....	18
5.2 Variations géographiques et saisonnières.....	18
5.3 Sources de benzène, ratio Intérieur / Extérieur (I/E) .....	18
<b>6. CAFES, RESTAURANTS, DISCOTHEQUES .....</b>	<b>19</b>
6.1 Comparaisons aux valeurs de référence et sources de benzène.....	21
<b>7. IMMEUBLES RECEVANT DU PUBLIC .....</b>	<b>21</b>
7.1 Comparaisons aux valeurs de référence.....	23
7.2 Variations géographiques et saisonnières.....	23
7.3 Sources de benzène, ratio Intérieur / Extérieur (I/E) .....	23

<b>8. ECOLES .....</b>	<b>23</b>
8.1 Comparaisons aux valeurs de référence .....	26
8.2 Variations géographiques, saisonnières et spatiales.....	26
8.2.1 Variations saisonnières.....	26
8.2.2 Variations spatiales.....	27
8.2.3 Variations géographiques .....	27
8.3 Sources de benzène, ratio Intérieur / Extérieur (I/E).....	27
<b>9. CRECHES.....</b>	<b>28</b>
9.1 Comparaisons aux valeurs de référence .....	28
9.2 Sources de benzène, ratio Intérieur / Extérieur (I/E).....	29
<b>10. BUREAUX .....</b>	<b>29</b>
10.1 Comparaisons aux valeurs de référence .....	29
10.2 Sources de benzène, ratio Intérieur/Extérieur (I/E) .....	30
<b>11. TRANSPORT EN COMMUN .....</b>	<b>30</b>
11.1 Comparaisons aux valeurs de référence .....	30
11.2 Variations saisonnières .....	31
11.3 Sources de benzène, ratio Intérieur/Extérieur (I/E) .....	31
<b>12. LIEUX DIVERS .....</b>	<b>31</b>
12.1 Comparaisons aux valeurs de référence .....	31
<b>13. RESUME ET COMMENTAIRES.....</b>	<b>32</b>
13.1 Focus Europe et France .....	32
13.2 Tendances saisonnières et spatiales, sources majoritaires de benzène ....	35
<b>14. CONCLUSIONS.....</b>	<b>35</b>
<b>15. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>37</b>
<b>16. LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>40</b>



## 1. RESUME

En 2007, le Grenelle de l'Environnement a énoncé la nécessité d'une surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public, passant par le suivi d'un certain nombre de composés d'intérêt sanitaire, dont le benzène. Réglementé et surveillé dans l'air extérieur depuis 2000, le benzène fait ainsi l'objet depuis 2008 de la rédaction de protocoles « lieux scolaires et petite enfance ». Il est mesuré, avec le formaldéhyde, dans le cadre de la campagne pilote nationale lancée par Chantal JOUANNO, Secrétaire d'État à l'Écologie, en septembre 2009 afin de définir les modalités de la surveillance obligatoire de la qualité de l'air intérieur prévue par le projet de loi dit « Grenelle 2 », à partir de 2012, dans certains établissements recevant du public comme les écoles et les crèches. Ainsi, environ 300 établissements sont concernés par ces mesures entre 2009 et 2011.

Dans ce contexte, cette étude a pour but de réaliser un état des lieux des concentrations en benzène communément mesurées dans les établissements recevant du public. Cette étude est centrée sur les environnements intérieurs dans lesquels les AASQA pourraient intervenir afin d'identifier des lieux potentiellement intéressants à intégrer dans cette démarche de surveillance, au regard des concentrations qui y sont rencontrées. Ainsi, les lieux documentés dans cette étude sont les écoles, les crèches, établissements recevant du public les transports en commun et les halls d'aéroport.

Cependant, pour recueillir un maximum d'information sur les sources de benzène en air intérieur, les résidences de particuliers ainsi que les bureaux ont également été étudiés.

Cette étude, ciblée sur la France, l'Europe mais aussi élargie aux Etats-Unis et à l'Asie afin de disposer d'éléments de comparaison, a permis d'établir les conclusions suivantes :

- Les niveaux en benzène les plus élevés sont observés en Asie (concentrations supérieures à  $10 \mu\text{g m}^{-3}$ ),
- De manière générale, les environnements présentant les concentrations les plus élevées ( $> 5 \mu\text{g m}^{-3}$ ) sont les bureaux, les immeubles recevant du public ainsi que les résidences de particuliers.
- En Europe, les niveaux les plus élevés sont mesurés dans les villes du sud (Athènes, Madrid, Thessalonique, Catania....),
- En Europe, les périodes hivernales sont marquées par des niveaux de benzène en air intérieur plus importants qu'en période estivale,
- En Europe, dans 80 % des cas, les concentrations moyennes mesurées sont inférieures à la valeur limite de surveillance en air ambiant de  $5 \mu\text{g m}^{-3}$ ,
- En France, dans 100 % des études considérées, les valeurs moyennes sur l'ensemble des mesures réalisées au cours de chaque étude, sont inférieures à  $5 \mu\text{g m}^{-3}$ .

- En France et en Europe, ponctuellement, les concentrations en benzène peuvent atteindre des valeurs supérieures à  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  ( $12 \mu\text{g m}^{-3}$  ont par exemple été atteints dans une école au cours de la campagne pilote nationale).

Même si globalement les niveaux restent faibles en air intérieur et en particulier en France, le benzène n'en reste pas moins une substance d'intérêt majeur sur le plan sanitaire. Le benzène est en effet un composé cancérigène sans seuil d'innocuité et l'objectif doit donc être la réduction maximale de ses concentrations en particulier dans le cas de populations sensibles

A ce titre, le Haut Conseil de santé Publique (HCSP) a publié, en juin 2010, un avis relatif à l'établissement de valeurs repères d'aide à la gestion des niveaux de benzène en air intérieur. Cette surveillance est en effet nécessaire afin de s'assurer, sur le long terme, que la tendance de réduction de concentrations initiée par la réglementation européenne et la réglementation sur les produits de consommation, se poursuit. Elle ne doit en revanche pas faire oublier la surveillance d'autres composés tels les particules, préoccupants d'un point de vue sanitaire et dont les niveaux peuvent atteindre des concentrations considérables en air intérieur.

## **2. INTRODUCTION**

Suite au Grenelle de l'Environnement qui s'est tenu en 2007, le principe de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public (ERP) a été retenu. Réglementé et surveillé dans l'air extérieur depuis 2000, le benzène est parmi les composés visés par cette surveillance et fait ainsi l'objet, depuis 2008, de la rédaction de protocoles « lieux scolaires et petite enfance ». Il est mesuré, avec le formaldéhyde, dans le cadre de la campagne pilote nationale lancée par Chantal JOUANNO, Secrétaire d'État à l'Écologie, en septembre 2009 à la demande du deuxième plan national santé environnement (PNSE II) 2009-2013 ayant proposé une campagne pilote de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les ERP, en commençant par les écoles et les crèches.

Dans ce contexte, le MEEDDM et le Ministère de la Santé et des Sports ont initié, avec les ministères de la Famille et de l'Éducation Nationale, une campagne nationale de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans 300 écoles et crèches afin de définir les modalités de la surveillance obligatoire de la qualité de l'air prévue par le projet de loi dit « Grenelle 2 », à partir de 2012, pour certains établissements recevant du public comme les écoles et les crèches. Ainsi, 150 établissements ont été concernés par des mesures de concentration en benzène et formaldéhyde en 2009 et tout autant le seront en 2010.

Cancérigène, le benzène a fait l'objet de nombreuses études concernant ses effets aigus et chroniques et de l'établissement de valeurs guides en air intérieur (VGAI) par l'ANSES (AFSSET, 2008)<sup>1</sup> ainsi que de valeurs repères d'aide à la gestion par le Haut Conseil de Santé Publique, HCSP (HCSP, 2010).

---

<sup>1</sup> ANSES : agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, anciennement AFSSET

Dans ce contexte d'intérêt grandissant pour la qualité de l'air intérieur et de la mise en place progressive d'une surveillance de la qualité de l'air des ERP, cette étude se propose de réaliser un état des lieux des concentrations en benzène communément mesurées dans les lieux publics dans lesquels les AASQA pourraient intervenir et de cibler ainsi les environnements qui pourraient être potentiellement concernés en priorité par une surveillance pour ce composé.

### **3. LE BENZENE : SOURCES, IMPACT SANITAIRE, VGAI**

#### **3.1 INTRODUCTION**

Incolore et volatil, plus petit des composés aromatiques, le benzène est un liquide hautement inflammable. Dérivé pétrolier, il est très largement utilisé en chimie organique comme intermédiaire pour produire du styrène ou du cumène par exemple et marginalement comme solvant.

#### **3.2 SOURCES ET SURVEILLANCE DU BENZENE**

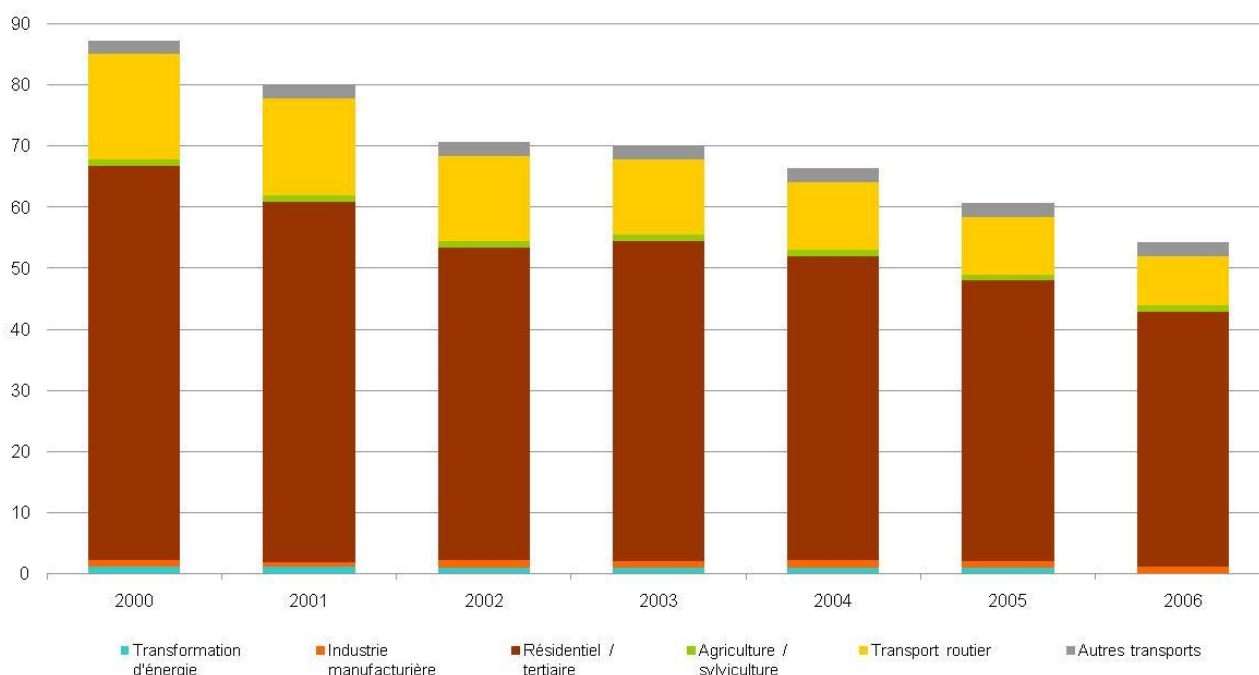
##### **3.2.1 LES SOURCES DE BENZENE EN AIR EXTERIEUR**

La première source de benzène en air intérieur est l'apport de l'air extérieur. Présent naturellement dans le pétrole brut et l'essence, ses sources majeures d'émission dans l'atmosphère sont les gaz d'échappement automobile, l'évaporation de l'essence pendant son stockage, son transport et sa distribution. Notons que la directive 98/70/CE limite sa concentration dans les carburants à 1 %. La combustion du bois et d'énergies fossiles peut également constituer une source de benzène (Brignon, 2006, Fiche technico-économique benzène<sup>2</sup>). Il peut y être émis par des procédés industriels lors de la synthèse chimique d'hydrocarbures aromatiques substitués (éthylbenzène, phénol, cyclohexane...) et par les fours de cokerie.

---

<sup>2</sup> Données technico-économiques sur les substances chimiques en France (EPER – INERIS, JM. Brignon, Avril 2006) – Portail Substance Chimique Ineris.<http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/439>

**Les émissions de benzène dans l'atmosphère en France**  
(En milliers de tonnes)



Source : Citepa, Coralie, format Secten, mise à jour février 2008.

*Figure 1 : Les émissions de benzène en air extérieur en France.*

En France, les émissions totales de benzène en 2006 étaient de 54 933 tonnes, soit 4,2% des émissions totales de Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM). Le principal émetteur de benzène est le résidentiel-tertiaire (76%) en particulier du fait de la combustion du bois, suivi du transport routier avec 15%. Les émissions de benzène ont baissé de près de 37% entre 2000 et 2006, essentiellement dans le transport routier (-54%), le résidentiel-tertiaire (-35 %) et dans le secteur de la transformation.

Cette diminution peut s'expliquer par la mise en vigueur de l'arrêté du 23 décembre 1999 fixant à 1 % la part de benzène dans les essences automobiles (CITEPA, <http://www.citepa.org/emissions/nationale/index.htm>).

### 3.2.2 LA SURVEILLANCE DU BENZENE EN AIR EXTERIEUR

La surveillance des niveaux de benzène en air extérieur est récente avec la Directive européenne fille 2000/69/CE intégrée depuis mai 2008 dans la Directive 2008/50/CE. Passé de 10 stations en 2000 à 42 en 2006, le réseau de surveillance en France commence à se densifier. Les concentrations moyennes annuelles de benzène semblent assez stables dans les stations urbaines et en diminution à proximité des industries et du trafic comme le montre la Figure 2.

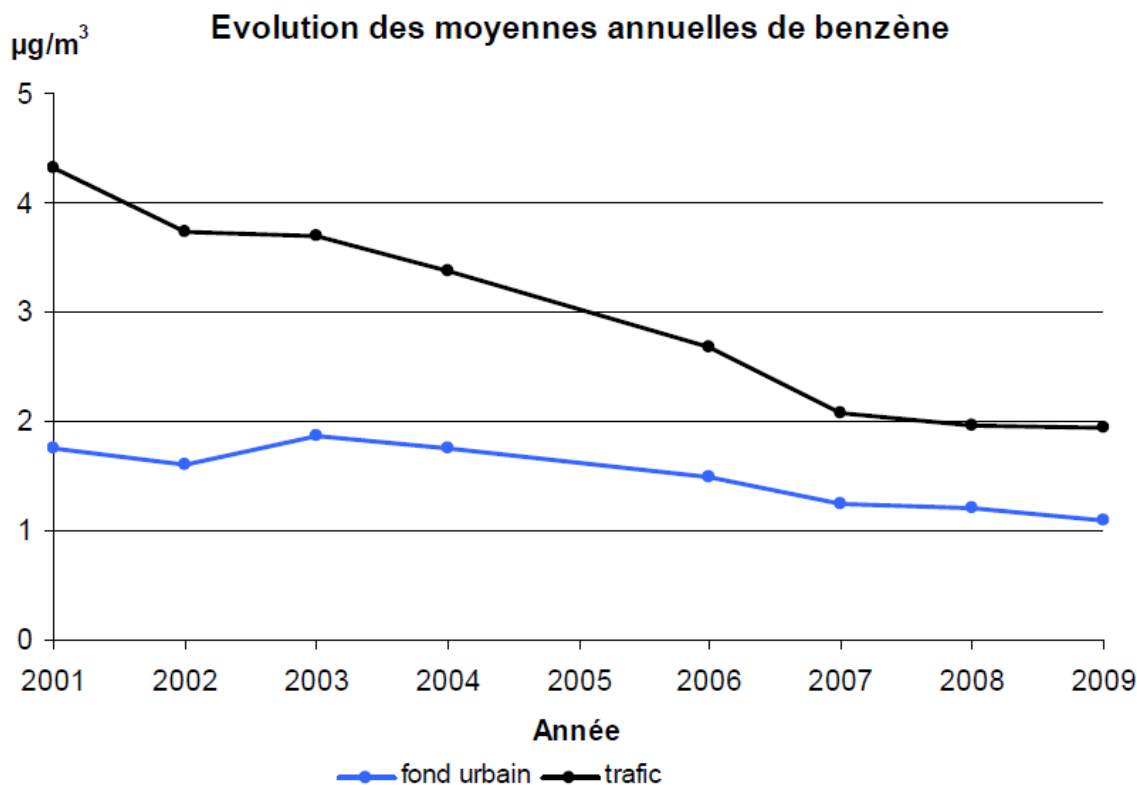


Figure 2 : Evolution des moyennes annuelles de benzène en France, sur sites urbains et périurbains (en bleu) et trafic (en noir) de 2001 à 2009 (Bilan Qualité de l'Air DGEC 2010, sources BDQA,).

### 3.2.3 LES SOURCES DE BENZENE EN AIR INTERIEUR

De manière générale, les niveaux de benzène mesurés en air intérieur sont supérieurs aux niveaux mesurés en air extérieur (Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, 2006; Gallego et al., 2008) suggérant l'apport de sources intérieures.

- Le tabagisme est l'une des sources majeures de benzène en air intérieur (Lai et al., 2007; Gallego et al., 2008; Gokhale et al., 2008; Parra et al., 2008), la quantité de ce composé émise par une cigarette étant comprise entre 296 et 535 µg (Charles et al., 2007).
- Les processus de combustion telle la combustion du bois peuvent être source d'émission de benzène (Allemand et al., 2008, Leoz-Garziandia et al., 2008; Leoz-Garziandia et al., 2009) non seulement en air intérieur mais également en air extérieur.
- Par ailleurs, bien que réglementé (voir paragraphe 3.2.4) des produits de consommation peuvent émettre du benzène. C'est le cas de certaines lessives et de vernis à ongle (Kwon et al., 2007) par exemple ou des encens, désodorisants, et bougies (ICRT, 2005).

Cependant, Weschler, 2009 illustre, dans sa review sur « les changements de la pollution en air intérieur depuis 1950 », la décroissance des concentrations en benzène mesurées entre les années 80 d'une part et les années 2000 d'autre part, dans différentes villes aux Etats-Unis, aussi bien en air intérieur et extérieur qu'au niveau même des émissions des produits de consommation :

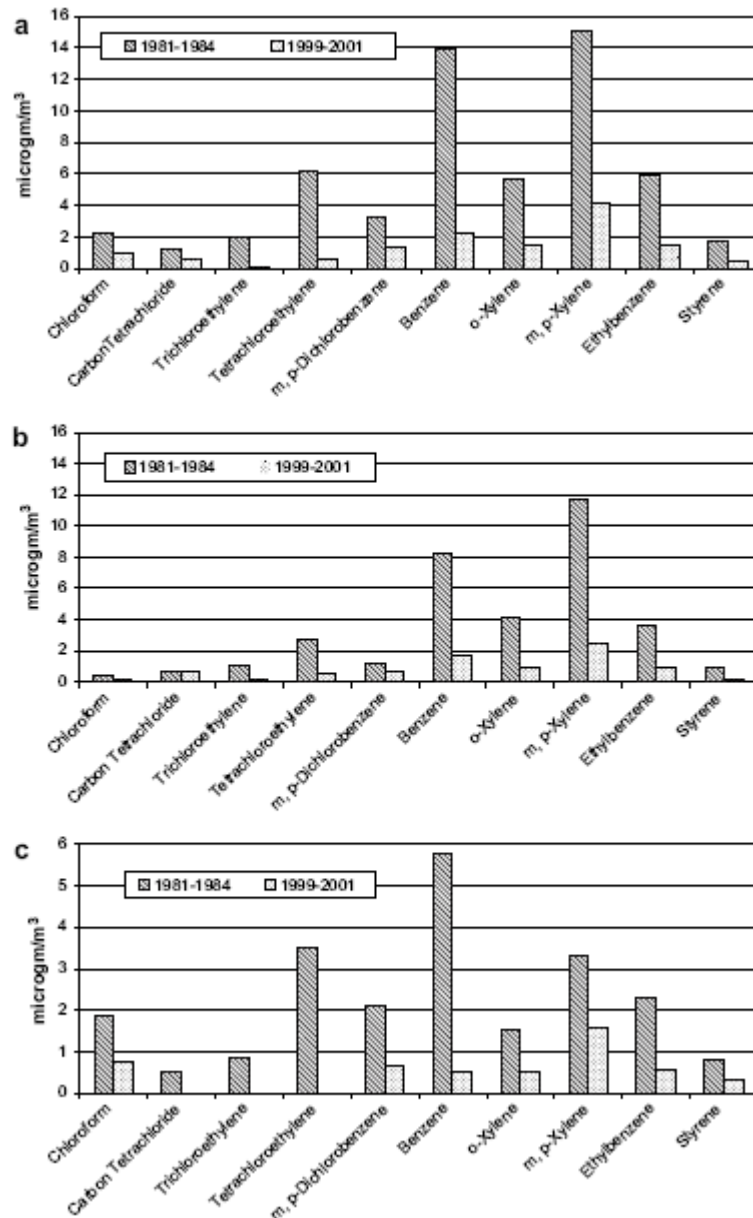


Figure 3 : a) concentrations médianes mesurées lors de l'étude TEAM (1981 – 1984) et RIOPA (1999- 2001) en air intérieur, b) concentrations médianes mesurées lors de l'étude TEAM (1981 – 1984) et RIOPA (1999- 2001) en air extérieur, c) Taux d'émission médians mesurés lors de l'étude TEAM (1981 – 1984) et RIOPA (1999- 2001), d'après Weschler, 2009.

### 3.2.4 PRODUITS DE CONSOMMATION ET REGLEMENTATION

Largement utilisé dans les années 50, l'élimination du benzène des produits de consommation a été proposée par le US Consumer Product Safety Commission en 1978. Quelques années plus tard, l'IARC classait le benzène parmi les composés cancérogènes pour l'homme (IARC, 1982).

En Europe, la directive 1999/13/CE sur la réduction des émissions des COV a pour conséquence indirecte la réduction de l'emploi du benzène alors que la directive 87/677/CE limite à 0,1 % en poids la teneur en benzène des préparations industrielles (sauf pour les carburants et les préparations industrielles ne permettant pas l'émission de benzène en quantité supérieure à la législation existante).

La directive 98/70/CE limite la concentration en benzène dans les carburants à 1 % en Volume.

En France, l'Arrêté du 30 avril 2009 relatif aux conditions de mise sur le marché des produits de construction et de décoration contenant des substances cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques de catégorie 1 ou 2 stipule que les produits de construction et de décoration ne peuvent être mis sur le marché que s'ils émettent moins de  $1 \mu\text{g m}^{-3}$  dans les conditions d'essais pour l'évaluation des émissions et pour chacune des substances visées par l'arrêté dont le benzène.

Ainsi, malgré la décroissance de ses émissions dans l'atmosphère, le benzène n'en reste pas moins une substance cancérigène sans seuil, d'intérêt prioritaire, surveillée en air intérieur et pour laquelle des valeurs guide ont été établies.

### 3.3 TOXICITE ET EXPOSITION

La voie d'exposition majeure au benzène est l'inhalation. Une fois inhalé, le benzène est rapidement absorbé et facilement accumulé dans les tissus adipeux, métabolisé dans le foie, la moelle osseuse...

Une exposition aigue au benzène entraîne une dépression du système nerveux central et respiratoire. Une exposition chronique non cancérigène a des répercussions sur la moelle osseuse. Quant aux effets cancérigènes et génotoxiques, une relation entre exposition au benzène et survenue de leucémies a clairement été mise en évidence (Fiche de données toxicologiques et environnementales, INERIS, 2006<sup>3</sup>, AFSSET, 2008).

Afin de protéger les populations de ces différents effets, l'ANSES a proposé des valeurs guide de la qualité de l'air intérieur (AFSSET, 2008). En juin 2010, le HCSP a établi des valeurs repère d'aide à la gestion (HCSP, 2010).

#### 3.3.1 LES VALEURS GUIDE DE QUALITE DE L'AIR INTERIEUR (VGAI) DE L'ANSES

L'Anses a proposé trois valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI) relatives aux effets non cancérigènes, modulées selon la durée d'exposition (court-terme, intermédiaire, long-terme) et deux valeurs correspondant aux effets cancérigènes sur le long terme (excès de risque différent). Ces valeurs guides ont été établies afin de protéger la population des effets sanitaires liés à une exposition aux polluants de l'air et en particulier ici le benzène. Leur élaboration s'est de ce fait basée sur des critères sanitaires exclusivement.

##### **VGAI long terme :**

*Pour les effets hématologiques non cancérigènes :*

- $10 \mu\text{g m}^{-3}$  pour une durée d'exposition supérieure à un an.

*Pour les effets hématologiques cancérigènes :*

---

<sup>3</sup> Fiche de données toxicologiques et environnementales, disponible sur <http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/439>

- 2  $\mu\text{g m}^{-3}$  pour une durée d'exposition « vie entière », correspondant à un excès de risque de 10-5.
- 0,2  $\mu\text{g m}^{-3}$  pour une durée d'exposition « vie entière », correspondant à un excès de risque de 10-6.

#### **VGAI intermédiaire :**

- 20  $\mu\text{g m}^{-3}$  en moyenne sur un an pour les effets hématologiques non cancérigènes prenant en compte des effets cumulatifs du benzène.

#### **VGAI court terme :**

- 30  $\mu\text{g m}^{-3}$  en moyenne sur 14 jours pour les effets hématologiques non cancérigènes prenant en compte des effets cumulatifs du benzène.

Ces valeurs serviront de point de comparaison pour interpréter les niveaux en benzène mesurés en air intérieur dans la littérature et recensés dans cette étude.

### **3.3.2 L'AVIS DU HAUT CONSEIL DE SANTE PUBLIQUE (HCSP)**

En juin 2010, le HCSP a émis un avis concernant l'établissement de valeurs repères d'aide à la gestion pour le benzène dans les espaces clos.

En tout premier lieu, il estime qu'en l'effet cancérigène réside l'effet critique du benzène à retenir pour l'établissement des valeurs repères de qualité de l'air intérieur pour l'habitat et les locaux accueillant du public.

Ces valeurs se différencient de celles de l'ANSES dans le sens où elles intègrent des considérations de faisabilité technique d'atteinte des limites fixées (HCSP, 2010).

Ainsi, le HCSP :

- « Estime que l'effet cancérigène du benzène est l'effet critique à retenir pour l'établissement des valeurs repères de qualité de l'air intérieur pour l'habitat et les locaux accueillant du public,
- fixe trois valeurs pour les expositions chroniques sur le long terme :
  - 2  $\mu\text{g m}^{-3}$  comme valeur cible à atteindre en 5 ans. Des teneurs inférieures ou égales témoignent d'une bonne qualité d'air vis-à-vis de ce polluant mais il convient de garder à l'esprit que le benzène est un cancérigène sans seuil d'innocuité et que l'objectif doit toujours être de réduire les concentrations à un niveau aussi bas que raisonnablement possible (principe ALARA3).
  - 5  $\mu\text{g m}^{-3}$  comme valeur repère de qualité d'air en dessous de laquelle aucune action corrective spécifique n'est préconisée aujourd'hui. A partir de 2012, cette valeur repère évoluera avec une pente de décroissance de 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  par an jusqu'à la valeur cible qui devra être atteinte en 2015.

Au-delà de cette valeur repère de qualité d'air, il est nécessaire d'identifier les sources intérieures en cause afin d'engager si possible des actions appropriées de réduction des émissions (notamment, dans l'habitat, les sources de combustion et le



tabagisme) ou, à défaut, d'instaurer des procédures de ventilation des locaux de nature à diminuer les niveaux intérieurs. Une évaluation de la contribution extérieure peut aussi être à réaliser.

Lorsque les teneurs extérieures sont supérieures à  $2 \mu\text{g m}^{-3}$  et inférieures à  $5 \mu\text{g m}^{-3}$ , la valeur repère de qualité d'air intérieur reste fixée à  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  avec une pente de décroissance de  $1 \mu\text{g m}^{-3}$  par an jusqu'atteindre la valeur extérieure.

Dans le cas exceptionnel où la teneur extérieure est supérieure à  $5 \mu\text{g m}^{-3}$ , la valeur repère ne peut pas, en général, être respectée à l'intérieur ; on veillera alors à diminuer les teneurs intérieures en benzène à un niveau aussi bas que le permet cette concentration extérieure et à engager les actions de nature à réduire fortement les sources de pollution extérieures.

- $10 \mu\text{g m}^{-3}$  comme une valeur d'action rapide au-delà de laquelle les sources en cause doivent être rapidement identifiées et neutralisées dans le but de ramener les teneurs intérieures en dessous de la valeur repère, soit  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  en 2012. Un délai de mise en conformité de quelques semaines à quelques mois est accordé du fait qu'il s'agit de protéger d'un effet à long terme.
- Recommande que les bâtiments neufs livrés à partir de 2012 présentent des teneurs en benzène inférieures à  $2 \mu\text{g m}^{-3}$  avant livraison aux occupants. Il en est de même pour ceux faisant l'objet d'opérations de rénovation de grande ampleur. A cette fin, les architectes et les maîtres d'œuvre doivent à la fois agir sur les sources intérieures au bâtiment et veiller à s'affranchir de l'influence des émissions extérieures locales par un positionnement adéquat du bâtiment et des entrées d'air.

Le Haut Conseil de la santé publique précise que, si la littérature et les bases de données sur le risque unitaire produisaient à l'avenir une valeur toxicologique de référence (VTR) distincte chez l'enfant, il serait amené à reconsidérer les valeurs repères de qualité de l'air intérieur pour les espaces accueillant des enfants (crèches, écoles) et considère qu'il convient de rester vigilant sur ce point ».

Ces valeurs serviront également de point de comparaison pour interpréter les niveaux en benzène mesurés en air intérieur dans la littérature et recensés dans cette étude.

### **3.3.3 LA DIRECTIVE EUROPEENNE INTEGREE 2008/50/CE : VALEUR LIMITE AIR AMBIANT**

Il est également important de rappeler la valeur limite en air ambiant pour une moyenne annuelle de  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  fixée par la Directive Européenne intégrée 08/50/CE

#### **4. CONCENTRATIONS EN BENZENE MESUREES EN AIR INTERIEUR**

Le tableau ci-dessous présente la synthèse des études recensées dans la littérature faisant état de mesures de benzène en air intérieur. Il reprend la moyenne des concentrations mesurées en Europe, en France, aux Etats Unis et en Asie. Même si ce travail bibliographique vise en tout premier lieu les établissements recevant du public, les mesures réalisées en résidences privées ont également été considérées.

Sont ainsi indiqués, par type de lieu (Résidences, cafés, restaurants, Immeubles publics, écoles, crèches...), le nombre de sites de mesure sur l'ensemble des études recensées pour même localisation géographique (Europe, France, Etats Unis et Asie) d'établissements ou de résidences instrumentés, les concentrations médianes ou moyennes mesurées en air extérieur, les concentrations médianes, moyennes, maximales et minimales mesurées en air intérieur.

Un tableau détaillé, par étude, est donné en annexe et renseigne le lieu de mesure ainsi que le nombre d'établissements ou de résidences instrumentés, la méthode et la période de mesure, les concentrations médianes ou moyennes mesurées en air extérieur, les concentrations médianes, moyennes, maximales et minimales mesurées en air intérieur.

Notons qu'il aurait été pertinent de fournir simultanément aux concentrations en benzène les niveaux de toluène, le rapport de l'un sur l'autre donnant des indications sur les sources. Il a de plus été montré que la présence concomitante du toluène avec le benzène et d'autres composés aromatiques est associée à des risques sanitaires non cancérogènes comme des inflammations par exemple (Kotzias et al., 2009). Cependant, la plupart des études citées ici n'en font pas mention.

Il est enfin important de rappeler que ce tour d'horizon des études portant sur les mesures de benzène en air intérieur ne prétend aucunement à l'exhaustivité.

Tableau 1 : Synthèse des études recensées dans la littérature. NR : non renseigné. Toutes les concentrations sont données en  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

Lieu	Nbr de sites	Mesure ext	C moy	C méd	C min	C max	Référence
Résidences Europe	473	3,7	4,80	NR	NR	NR	Lai et al., 2007, Gallego et al., 2008
Résidences France	569	LQ		2,70	2,50	6,80	OQAI, 2006, Fraboulet 2009
Résidences USA	322	0,98	2,71	1,21		47,3	Jia et al 2008
Résidences Asie	71	3,69	4,65			39,61	Ohura et al 2009
Café Europe	51	2,91	1,61	9,57		17,10	Parra et al., 2008, Ballesta et al., 2006, Bolte et al., 2008
Restaurant Asie	4	7,27	10,34	9,77	3,67	18,30	Guo et al., 2003
Immeubles publics Europe	NR	5,29	9,41		4,26	16,34	Bruin et al., 2006 (projet AIRMEX),
Immeubles publics France	1		0,26		0,56		Déléry et al, 2002
Immeubles publics Asie	6	7,78	11,54	11,47	1,11	42,58	Guo et al., 2003
Ecoles Europe	NR	3,17	3,08		2,36	7,83	Bruin et al., 2006, Ballesta et al 2006, Starnger et al 2008
Ecoles France	171	2,26	2,0		1,0	11,8	Campagne pilote 2010, OQAI 2002, ASPA, 2005, ASCOPARG, 2008, COPARLY, 2009, Ligair 2009, Air PL 2010
Ecoles USA	9	0,06	0,09			1,60	Godwin and Batterman, 2006
Ecoles Asie	27	25,44	12,74	10,83	6,65	23,76	Guo et al 2003, Ruchirawat et al in press
Crèches France	105	1,70	1,77		1,03	4,50	Campagne nationale écoles et crèches 2010, Domsic 2001, ASPA, 2005, ORAMIP, 2007
Jardins d'enfants Asie	3	1,50	2,40				Gokhale et al in press
Bureaux Europe	NR	3,53		4,83		12,78	Ballesta et al 2006
Bureaux France	102			2,15		0,50	ASPA, 2005, Dusséaux 2001, ORAMIP, 2006
Bureaux Asie	6	4,97	4,40	4,06	1,62	8,09	Guo et al 2003
Métro Europe		3,20		6,00		8,00	Ballestas et al 2006
Métro France	NR		1,42	0,93	1,15	10,03	Air Breizh 2005, ORAMIP, 2006
Lieux divers France	15		2,16			2,80	ASPA, 2005, Le Moullec, 2004
Aéroport France	21		0,69	0,68	0,58	0,85	ORAMIP, 2002, AIRAQ, 2008

Dans la suite du document, les différents types d'environnements intérieurs seront traités séparément, résidences, café, écoles...

Pour chaque environnement, les concentrations moyennes mesurées seront représentées graphiquement. Lorsque la concentration moyenne n'est pas disponible, la concentration médiane est prise en compte.

## **5. DETAIL DES ETUDES PAR RESIDENCES**

L'examen des niveaux de concentration en benzène dans les résidences de particuliers apporte des éléments de compréhension des facteurs influant sur les niveaux de benzène et d'identification des sources en air intérieur. La Figure 4 présente les concentrations moyennes mesurées dans les lieux de résidence en Europe, aux Etats-Unis et en Asie.

### **5.1 COMPARAISONS AUX VALEURS DE REFERENCE**

Sur la Figure 4 la valeur cible de  $2 \mu\text{g m}^{-3}$ , la valeur repère de  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  et la valeur d'action rapide de  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  fixées par le HCSP (voir chapitre 3.3) sont prises comme références. Ainsi, dans le cadre des études répertoriées, deux cas se situent au-dessus de la valeur de  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  (Lai et al., 2007; Ohura et al., 2009). La première correspond à des mesures réalisées en zone urbaine dans une ville connue pour sa pollution trafic et industrielle, Milan. En effet, les concentrations extérieures en benzène de  $12 \mu\text{g m}^{-3}$  mesurées au même moment dépassent largement la valeur limite de  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  imposée par la réglementation européenne. Le rapport Intérieur/Extérieur inférieur à 1 est donc révélateur d'une prédominance des sources extérieures.

Ce n'est pas le cas des mesures estivales réalisées en Chine pour lesquelles le rapport Intérieur/Extérieur de 1.3 suggèrerait un impact spécifique des sources intérieures. Les hypothèses concernant les sources intérieures de benzène sont formulées dans le paragraphe 5.3 ci-dessous.

Si l'on excepte les mesures réalisées en été au Japon ( $0.46 \mu\text{g m}^{-3}$ ), toutes les autres sont supérieures à la valeur de  $2 \mu\text{g m}^{-3}$ . Notons que certaines valeurs maximales dépassent la VGAI court terme de l'ANSES de  $30 \mu\text{g m}^{-3}$  en moyenne sur 14 jours pour les effets hématologiques non cancérogènes prenant en compte des effets cumulatifs du benzène. C'est le cas en Chine où les sources intérieures et extérieures influent (Ohura et al., 2009) et aux Etats-Unis (Jia et al., 2008) où une concentration de  $47 \mu\text{g m}^{-3}$  a pu être mesurée dans une résidence sur 46 étudiées en zone périurbaine.

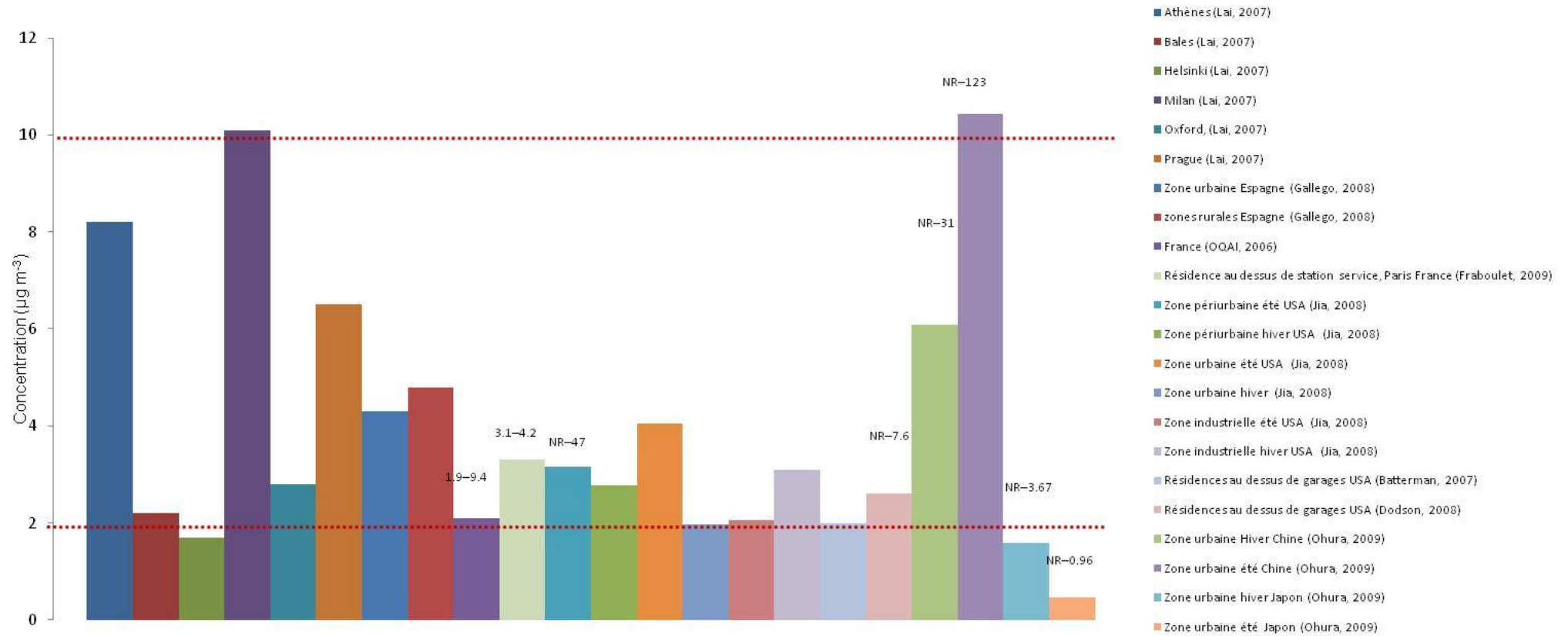


Figure 4 : Concentrations moyennes (ou médianes lorsque la moyenne n'es pas donnée) en benzène mesurées dans les résidences de particuliers. Sont données les valeurs maximales et minimales lorsqu'elles existent (NR : non renseigné).

Ainsi, il est possible de constater que seulement 18 % des études présentent des concentrations moyennes inférieures à  $2 \mu\text{g m}^{-3}$ , la plus grande majorité, près de 55 %, révélant des concentrations moyennes comprises entre 2 et  $5 \mu\text{g m}^{-3}$ .

## **5.2 VARIATIONS GEOGRAPHIQUES ET SAISONNIERES**

Aucune tendance géographique ne semble se dessiner ici bien que les concentrations maximales aient été mesurées en Chine où d'une part l'industrialisation et l'urbanisation sont galopantes et d'autre part il n'existe pas de réglementation concernant les émissions des matériaux. Les concentrations maximales ont en effet été mesurées dans les maisons les plus récentes.

Aux USA (Jia et al., 2008), en Chine et au Japon (Ohura et al., 2009), des mesures ont été réalisées en période estivale et hivernale. Aux USA en zone urbaine et périurbaine ainsi qu'en Chine, les concentrations estivales tendent à supplanter les concentrations hivernales contrairement à ce qui est observé au Japon et en zone industrielle aux USA. Ces tendances pourraient s'expliquer par les sources même de benzène et les ratios Intérieur / Extérieur.

## **5.3 SOURCES DE BENZENE, RATIO INTERIEUR / EXTERIEUR (I/E)**

Le ratio I/E est en première approche un bon indicateur des sources de benzène.

Des concentrations supérieures en été sont souvent accompagnées de ratios I/E caractéristiques de l'apport de sources intérieures qui seraient plus importantes lorsque les températures plus chaudes favorisent les émissions des matériaux par exemple. En hiver, l'apport extérieur tend à reprendre le dessus.

En Europe, les ratios I/E sont faibles, compris entre 1 et 2, suggérant l'apport majoritaire de sources extérieures telles le trafic (OQAI, 2006; Lai et al., 2007; Gallego et al., 2008; Jia et al., 2008). D'ailleurs, les concentrations extérieures en benzène dépassent parfois largement la valeur limite de  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  imposée par la réglementation européenne ( $12 \mu\text{g m}^{-3}$  mesurés à Milan par Lai et al., 2007). Le rapport Intérieur/Extérieur inférieur à 1 est donc révélateur d'une prédominance des sources extérieures.

Les sources intérieures principales identifiées dans le cadre de ces études sont le tabagisme ainsi que l'emploi d'antimites (Lai et al., 2007; Gallego et al., 2008).

## **6. CAFES, RESTAURANTS, DISCOTHEQUES**

La Figure 5 présente les concentrations moyennes mesurées en benzène dans des bars, restaurants ou discothèque en Europe et Asie, seuls continents pour lesquels des études récentes aient été recensées.

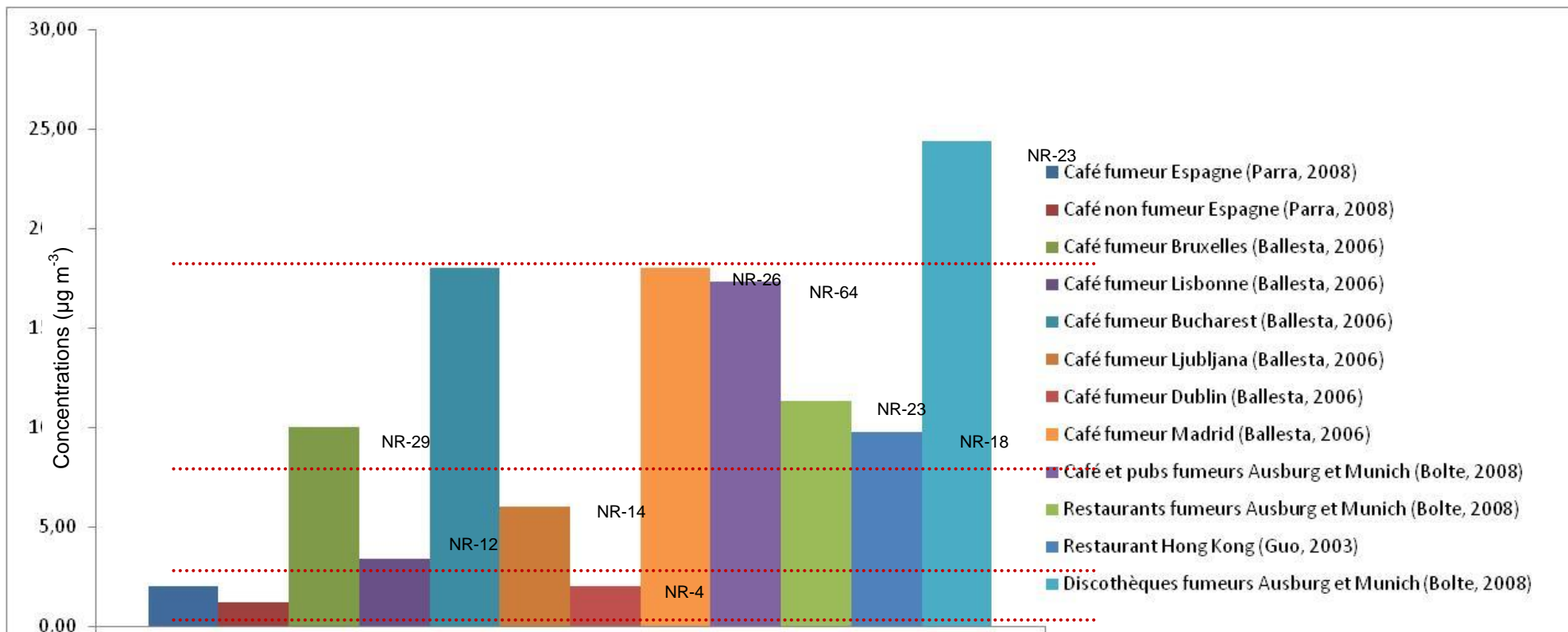


Figure 5: Concentrations moyennes en benzène mesurées dans des cafés, restaurants, discothèques. Sont données les valeurs maximales et minimales lorsqu'elles existent (NR : non renseigné).



## **6.1 COMPARAISONS AUX VALEURS DE REFERENCE ET SOURCES DE BENZENE.**

Sur la apparaissent comme valeur de références les trois des valeurs repère établies par le HCSP ainsi que la VGAI intermédiaire de  $20 \mu\text{g m}^{-3}$  pour une exposition d'un an. Il est ainsi possible de constater que seulement trois études présentent des valeurs inférieures ou égales à  $2 \mu\text{g m}^{-3}$ , la plus grande, majorité étant comprise soit entre 10 et 20 soit entre 20 et  $30 \mu\text{g m}^{-3}$ . Ces niveaux, plus élevés que dans les logements peuvent s'expliquer par le tabagisme des clients.

## **7. IMMEUBLES RECEVANT DU PUBLIC**

Sur la figure ci-dessous sont reportées les moyennes des concentrations en benzène mesurées dans différents pays européens (étude AIRMEX et étude INERIS), et pays asiatiques dans des immeubles recevant du public et des centres commerciaux.

La grande majorité des données recensées dans ce type d'environnement est issue de l'étude AIRMEX, the European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment study, initiée en 2003 et achevée en 2008. Ce projet avait pour but d'identifier et de quantifier les principaux polluants de l'air intérieur des immeubles recevant du public (bureaux) mais également du jeune public (crèches, écoles, voir chapitres 8 et 9) et évaluer l'exposition des populations qui y évoluent. Menées dans 11 villes européennes différentes, les mesures dans les immeubles recevant du public ont été organisées dans trois villes du sud (Catania, Athènes et Thessalonique) et trois villes du Nord (Bruxelles, Arnhem et Nimègue).

Par ailleurs, deux études réalisées dans des centres commerciaux ont été recensées : l'une menée par l'INERIS dans un centre commercial du nord de la France en période estivale, l'autre en Chine (la période de l'année durant laquelle l'étude a eu lieu n'est pas précisée).

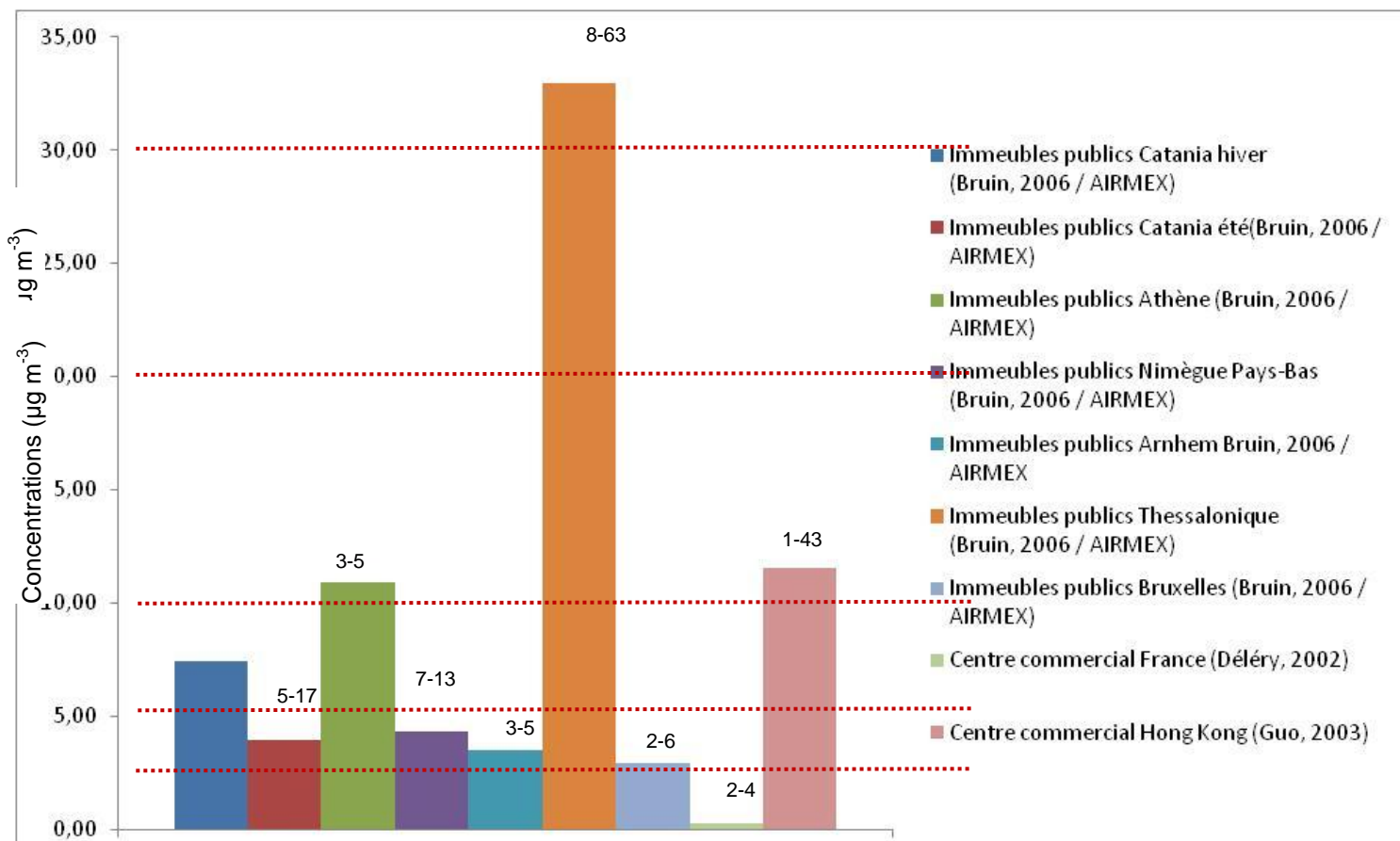


Figure 6 : Concentrations moyennes en benzène mesurées dans des immeubles recevant du public. Sont données les valeurs maximales et minimales (NR : non renseigné)

## 7.1 COMPARAISONS AUX VALEURS DE REFERENCE

Sur la figure ci-dessus les trois valeurs repère du HCSP ainsi que la valeur intermédiaire pour une exposition d'une année ( $20 \mu\text{g m}^{-3}$ ) ainsi que la valeur court terme ( $30 \mu\text{g m}^{-3}$ ) sont prises comme références. Il est ainsi possible de constater que seule l'étude menée en France dans un centre commercial présente des valeurs inférieures à  $2 \mu\text{g m}^{-3}$ . La plus grande majorité présente des concentrations comprises entre 2 et  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  alors que deux cas se situent au-dessus de la valeur de  $10 \mu\text{g m}^{-3}$ . Un cas dépasse la valeur de  $30 \mu\text{g m}^{-3}$  pour un temps d'exposition court.

## 7.2 VARIATIONS GEOGRAPHIQUES ET SAISONNIERES

En ce qui concerne l'étude AIRMEX, il apparait que les villes du sud présentent des niveaux en benzène plus élevés que les villes du nord, aussi bien en intérieur qu'en extérieur, quelle que soit la saison (Kotzias, 2005).

## 7.3 SOURCES DE BENZENE, RATIO INTERIEUR / EXTERIEUR (I/E)

Pour la grande majorité des études, les ratios I/E sont de l'ordre de 1, suggérant un impact égal des sources intérieures et extérieures. Les mesures réalisées à Thessalonique en revanche présentent un ratio proche de 4, révélant ainsi l'influence forte de sources intérieures. Aucune explication n'est donnée par les auteurs sur cette observation.

Par ailleurs, l'étude menée à Catania en Italie (Bruin et al., 2006) présente des concentrations supérieures en benzène en hiver par rapport aux niveaux mesurés en été. Selon les auteurs, cette observation pourrait s'expliquer par les moyens de chauffage peu modernes utilisés en période hivernale.

## 8. ECOLES

Les écoles font partie des ERP les plus documentés dans la littérature, les jeunes enfants représentant une population à risque, particulièrement sensible. Une grande quantité d'études françaises sont recensées ici et nombreuses sont celles organisées par des AASQA.

Les données de la première phase de la campagne pilote nationale ont également été prises en compte. Cette campagne (2009-2011) de surveillance de la qualité de l'air dans les écoles et les crèches françaises, a été lancée par Chantal Jouanno, Secrétaire d'État à l'Écologie, afin de définir les modalités de la surveillance obligatoire de la qualité de l'air prévue par le projet de loi dit « Grenelle 2 », à partir de 2012 pour certains établissements recevant du public comme les écoles et les crèches. Au total, 300 établissements répartis sur l'ensemble du territoire sont concernés entre 2009 et 2011 avec des mesures de formaldéhyde et de benzène ainsi que de confinement. Les mesures sont réalisées par les AASQA avec l'appui technique et organisationnel du LCSQA (INERIS) et du CSTB. Cette campagne est constituée de deux phases, l'une s'étant étalée sur 2009 avec des mesures dans 157 établissements, l'autre démarrera en novembre 2010 ?

Il est à ce jour possible de comparer les données de la littérature aux concentrations en benzène mesurées au cours de la 1<sup>ère</sup> phase de la campagne pilote. Notons que cette campagne organisée dans 157 établissements représente le jeu de données le plus important parmi l'ensemble des études recensées

Ces données sont comparées à d'autres données européennes mais également asiatiques et américaines.

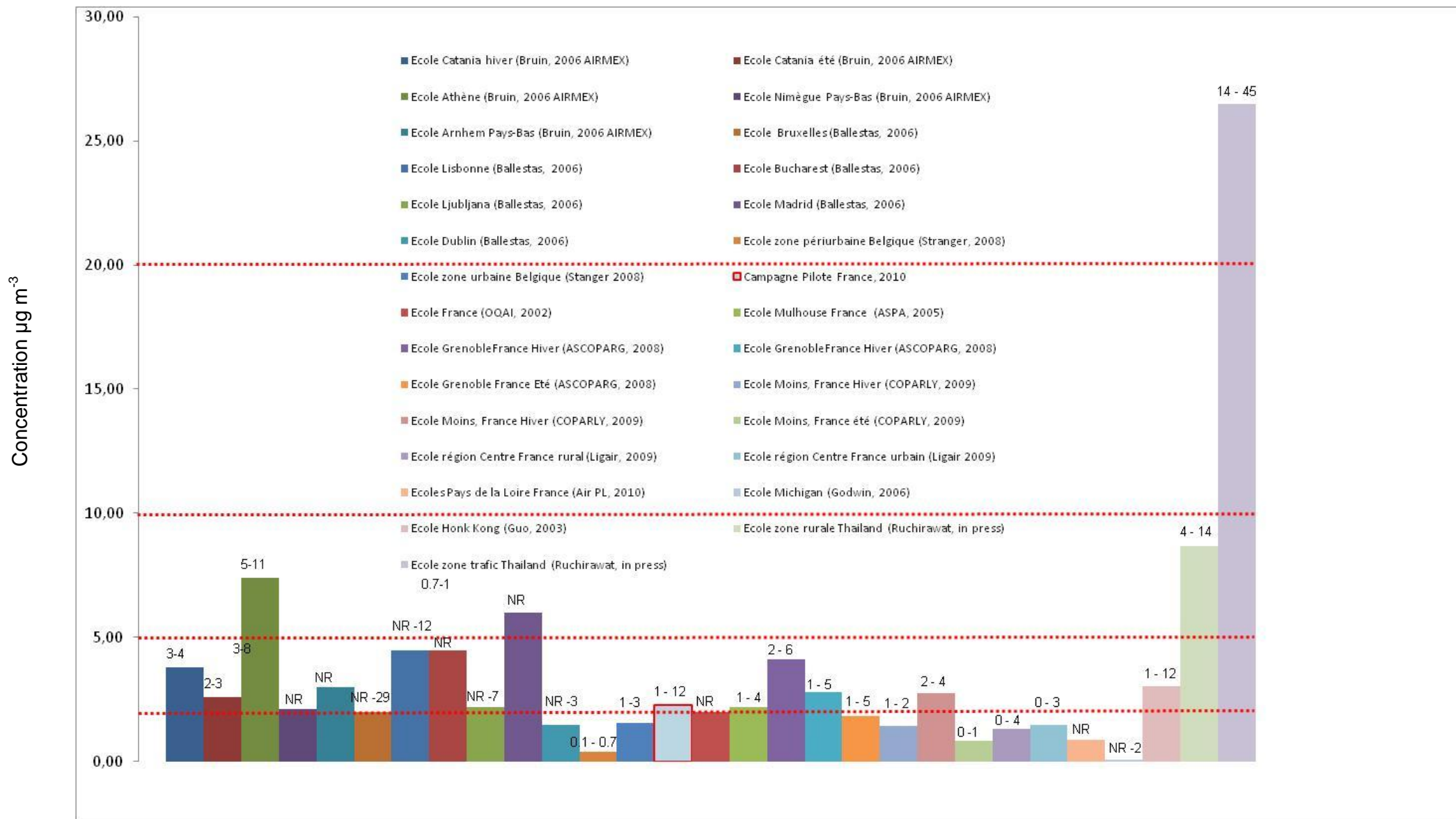


Figure 7 : Concentrations moyennes en benzène mesurées dans des écoles. Sont données les valeurs maximales et minimales lorsqu'elles existent (NR : non renseigné)

## 8.1 COMPARAISONS AUX VALEURS DE REFERENCE

Sur la Figure 7 les valeurs repère du HCSP, la VGAI intermédiaire pour une exposition d'une année ( $20 \mu\text{g m}^{-3}$ ) ainsi que la valeur court terme ( $30 \mu\text{g m}^{-3}$ ) sont prises comme références. Il est ainsi possible de constater que, sur l'ensemble des 29 études représentées ici, si l'on considère les concentrations moyennes mesurées :

- 11 études présentent des valeurs inférieures à  $2 \mu\text{g m}^{-3}$ , soit quasiment 40 % des cas
- 15 études présentent des concentrations moyennes comprises entre 2 et  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  soit quasiment 50 % des cas.
- 3 études présentent des concentrations moyennes supérieures à  $10 \mu\text{g m}^{-3}$
- Seulement 1 étude fait état de concentrations supérieures à  $20 \mu\text{g m}^{-3}$ .

Notons que même si les niveaux mesurés restent dans la plus grande majorité des cas inférieurs ou égaux à la valeur en dessous de laquelle aucune action corrective spécifique n'est préconisée aujourd'hui ( $5 \mu\text{g m}^{-3}$ ), le benzène étant un cancérogène sans seuil d'innocuité, l'objectif doit être la réduction maximale de ses concentrations en particulier dans le cas de population sensibles.

## 8.2 VARIATIONS GEOGRAPHIQUES, SAISONNIERES ET SPATIALES

### 8.2.1 VARIATIONS SAISONNIERES

Conformément à ce qui a pu être observé dans les lieux de vie au Japon et en zone industrielle aux USA (paragraphe 4), les mesures réalisées dans les écoles de l'étude AIRMEX (Bruin et al., 2006), présentent des concentrations supérieures en période hivernale par rapport aux périodes estivales. Ceci pourrait s'expliquer par une augmentation de la source « chauffage ». De même, les études menées par COPARLY, Lig'Air et Air Pays de la Loire dans des écoles françaises, aboutissent aux mêmes conclusions (Air Pays de la Loire, 2009; COPARLY, 2009; Lig'Air, 2010).

Enfin, en accord avec l'ensemble des données de la littérature, les concentrations mesurées au cours de la première phase de la campagne pilote nationale révèlent une tendance marquée par des concentrations en benzène plus importantes en période froide (correspondant aux mois de novembre à février et que l'on peut assimiler à l'hiver), qu'en période chaude (correspondant aux mois de septembre-octobre et avril à juin) ainsi que le montre le graphique ci-dessous :

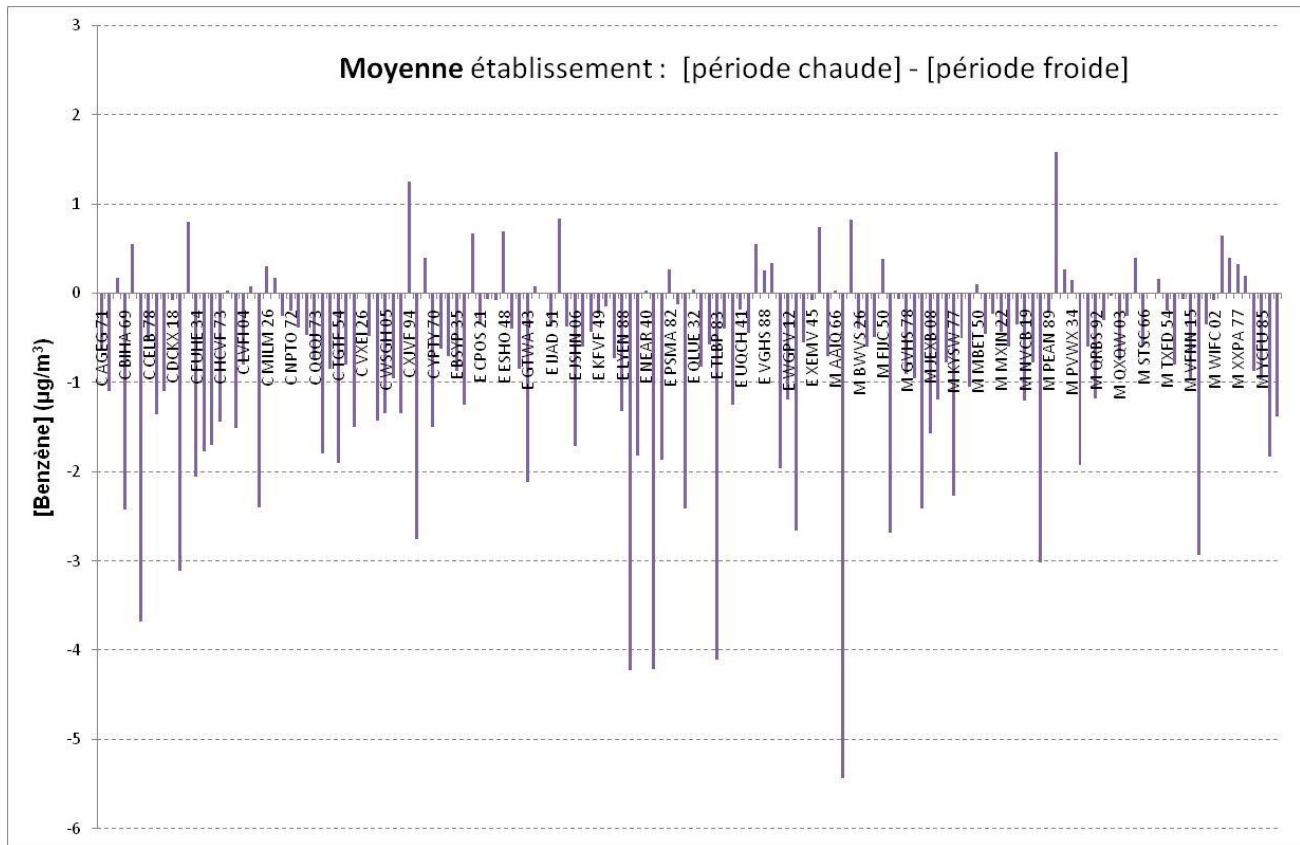


Figure 8 : Comparaison des concentrations en benzène mesurées au cours de la campagne école, en période chaude et en période froide

### 8.2.2 VARIATIONS SPATIALES

De manière générale, les études ne font pas état de disparités majeures entre les différentes salles de classes lorsque des mesures ont été réalisées sur l'ensemble de l'école. Seule l'étude de Stranger et al., 2008 conclut à une influence de l'étage sur la mesure avec des concentrations plus importantes mesurées au rez-de-chaussée.

### 8.2.3 VARIATIONS GEOGRAPHIQUES

Aucune tendance géographique ne semble à nouveau se dessiner même si les concentrations maximales ont été mesurées en Thaïlande.

### 8.3 SOURCES DE BENZENE, RATIO INTERIEUR / EXTERIEUR (I/E)

Sur les 29 études recensées ici, 23 présentent des mesures extérieures et par conséquent des valeurs de ratio I/E. Sur ces 22 études :

- 10 soit près de la moitié, se caractérisent par des ratios I/E inférieurs à 1 suggérant une source extérieure majoritaire
- 12 soit près de la moitié, se caractérisent par un ratio I/E de l'ordre de 1, suggérant un impact égal des sources extérieures et intérieures supposées

par les auteurs, produits d'entretien, colles, peinture...même si les produits de consommation ne devraient plus en contenir (paragraphe 3.2.3).

- Une seule étude présente un ratio de 2.3, révélant ainsi l'influence de sources intérieures. Les auteurs invoquent l'utilisation de produits d'entretien (ASCOPARG, 2008) même si une telle utilisation du benzène devrait être marginale (Brignon, 2006).

## 9. CRECHES

Sur la figure ci-dessous sont reportées les moyennes des concentrations en benzène mesurées dans quelques crèches françaises. Une étude réalisée dans un jardin d'enfant, la seule répertoriée à ce jour dans la littérature, est également présentée.

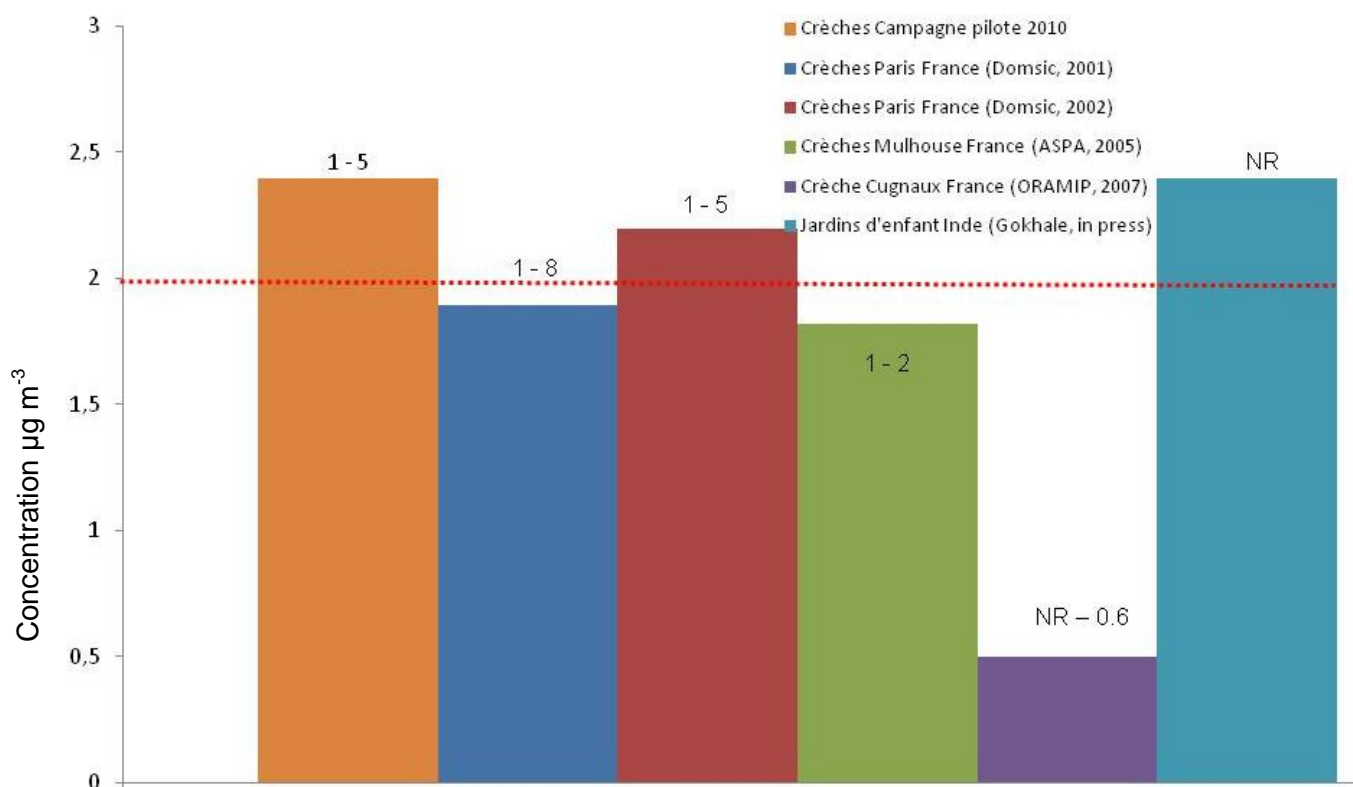


Figure 9 : Concentrations moyennes en benzène mesurées dans des crèches et jardins d'enfants. Sont données les valeurs maximales et minimales (NR : non renseigné)

### 9.1 COMPARAISONS AUX VALEURS DE REFERENCE

Seule la valeur repère de 2 µg m<sup>-3</sup> est prise comme référence, les concentrations moyennes en benzène n'excédant pas 2,4 µg m<sup>-3</sup>.



## 9.2 SOURCES DE BENZENE, RATIO INTERIEUR / EXTERIEUR (I/E)

Ainsi, globalement, les valeurs moyennes mesurées dans les crèches françaises sont faibles et si l'on excepte les mesures réalisées dans le jardin d'enfant où la source majoritaire incriminée est le tabagisme, les ratios I/E restent proches de 1.

## 10. BUREAUX

La Figure 10 représente les concentrations moyennes en benzène mesurées dans des bureaux, principalement en Europe.

Il est intéressant de rappeler que l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur démarrera en 2011 une campagne nationale sur la qualité de l'air intérieur dans les immeubles de bureaux, et la santé et le confort de leurs occupants. 500 immeubles de plus de 50 occupants seront concernés par la première phase de mesures de cette campagne (Mandin et al., 2010).

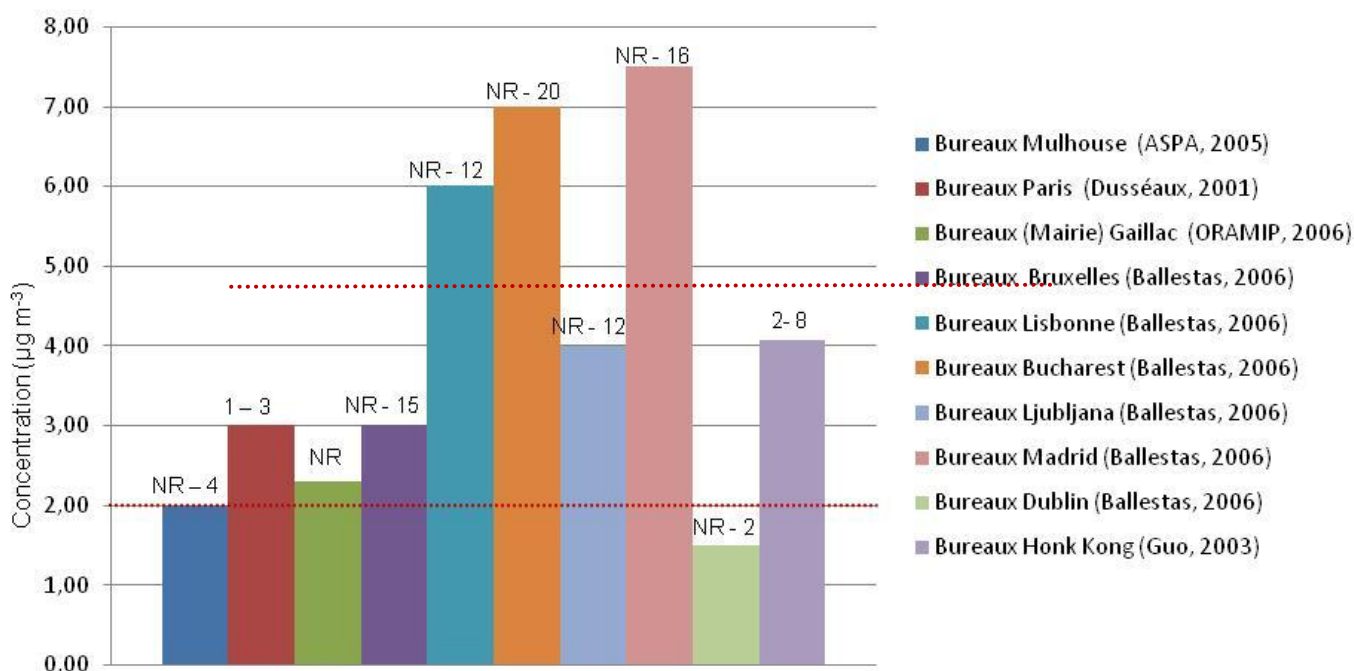


Figure 10 : Concentrations moyennes en benzène mesurées dans des bureaux. Sont données les valeurs maximales et minimales (NR : non renseigné)

### 10.1 COMPARAISONS AUX VALEURS DE REFERENCE

Dans le cas des bureaux, seules les valeurs repère de 2 et 5 µg m<sup>-3</sup> sont prises comme référence, les concentrations moyennes en benzène n'excédant pas 7 µg m<sup>-3</sup>. Si l'on considère uniquement les valeurs européennes, les concentrations mesurées dans les bureaux (moyenne de 4,8 µg m<sup>-3</sup> en Europe et de 2,2 µg m<sup>-3</sup> en France) sont globalement plus élevées que celles mesurées dans les écoles et les crèches (moyenne de 3 µg m<sup>-3</sup> en Europe et de 2 en France).

## 10.2 SOURCES DE BENZENE, RATIO INTERIEUR/EXTERIEUR (I/E)

Les ratios I/E sont légèrement supérieurs à 1 (mais n'excèdent pas deux) suggérant une faible influence d'une source intérieure qui pourrait être, comme évoqué pour les écoles, liée à l'emploi de produits d'entretien. Cependant, globalement, l'ensemble des auteurs désignent l'apport extérieur comme source majoritaire.

## 11. TRANSPORT EN COMMUN

Le graphique ci-dessous présente les concentrations moyennes en benzène mesurées dans des rames et stations de métro. Deux études françaises ont été recensées, une à Rennes, l'autre à Toulouse, les deux donnant accès à des mesures estivales et hivernales.

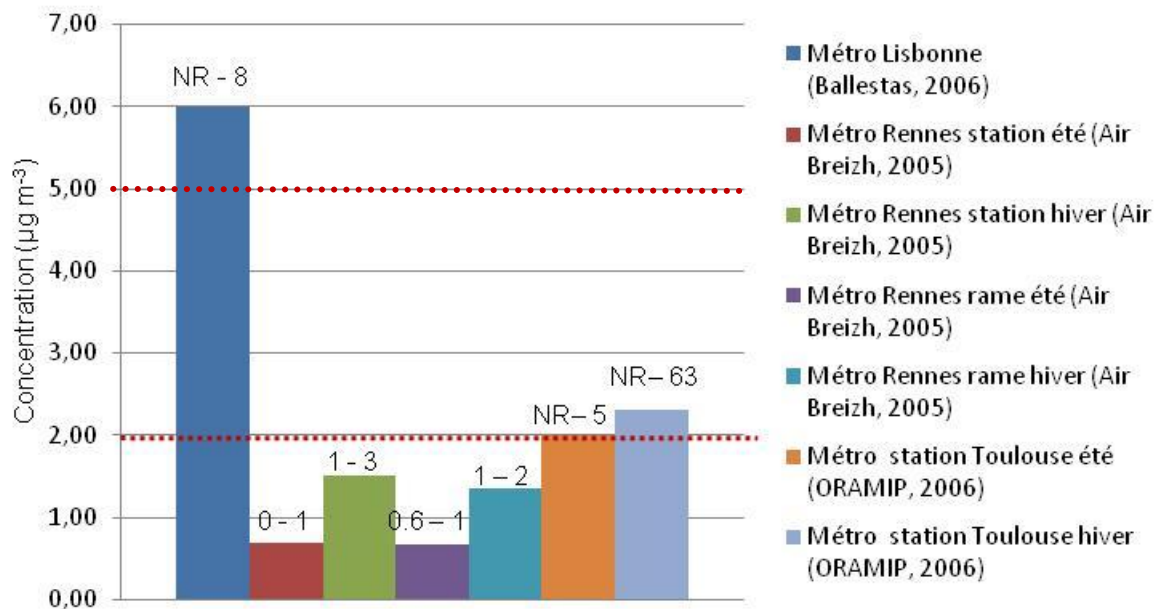


Figure 11 : Concentrations moyennes en benzène mesurées dans des rames et stations de métro. Sont données les valeurs maximales et minimales (NR : non renseigné)\*

### 11.1 COMPARAISONS AUX VALEURS DE REFERENCE

Seules les valeurs repère de 2 et 5 µg m<sup>-3</sup> sont prises comme référence, les concentrations moyennes en benzène n'excédant pas 6 µg m<sup>-3</sup>. La grande majorité des valeurs françaises restent en deçà de la valeur cible de 2 µg m<sup>-3</sup>. Seule la valeur hivernale à Toulouse la dépasse légèrement. Notons que cette étude fait également état d'une valeur maximale de 63 µg m<sup>-3</sup>, valeur ponctuelle très largement supérieure aux valeurs mesurées dans les autres études. Ceci pourrait s'expliquer par la méthode de mesure utilisée à Toulouse, méthode de mesure en continu capable de détecter des pics de concentration.

## 11.2 VARIATIONS SAISONNIERES

Comme cela a déjà pu être observé à plusieurs reprises dans le cas des résidences de particuliers (paragraphe 5.2) et des écoles (paragraphe 8.2.1), les concentrations mesurées sont plus importantes en hiver qu'en été.

## 11.3 SOURCES DE BENZENE, RATIO INTERIEUR/EXTERIEUR (I/E)

L'étude réalisée à Lisbonne présente un ratio proche de 2, indiquant l'influence d'une source intérieure. L'étude menée par ORAMIP ne reporte pas les valeurs mesurées en extérieur mais indique que de manière générale, les teneurs mesurées en environnement intérieur sont proches de celles mesurées en extérieur. Les concentrations élevées mesurées ponctuellement par l'analyseur en continu en hiver sont révélatrices de la présence de sources intérieures.

## 12. LIEUX DIVERS

Les environnements intérieurs considérés ici comprennent des lieux culturels, un gymnase parisien et des halls d'aéroports.

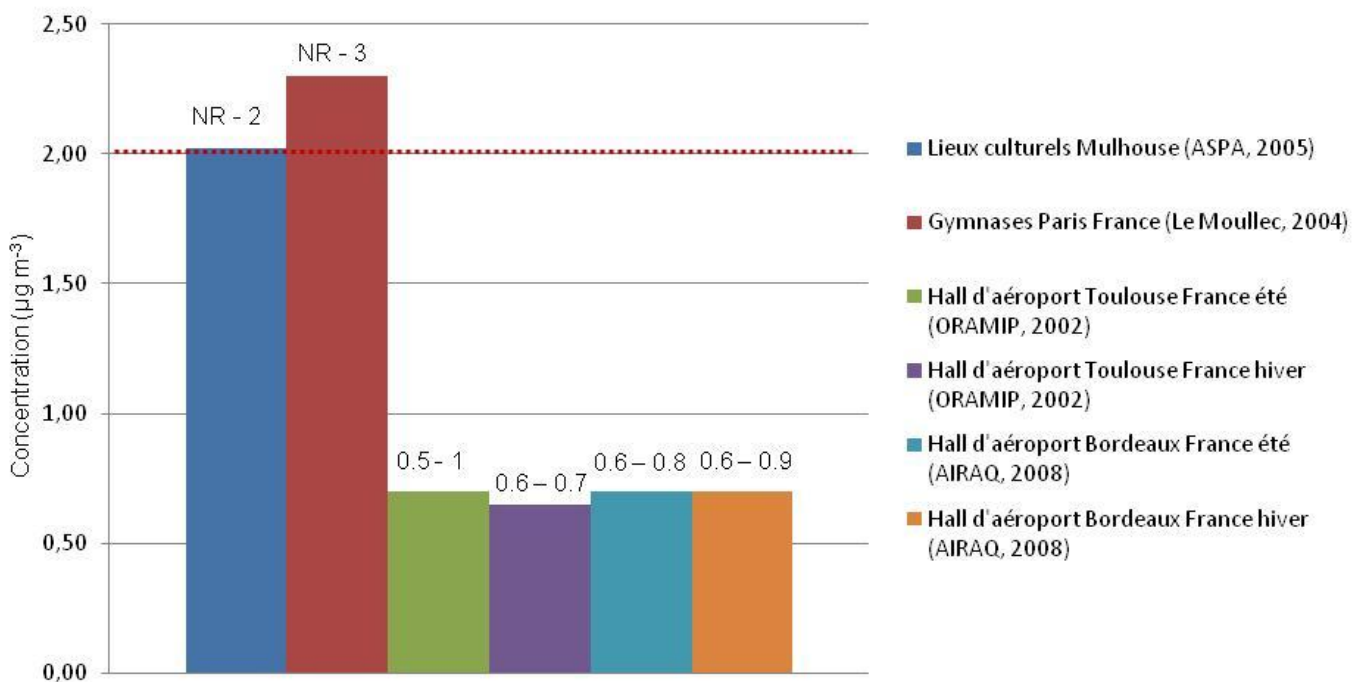


Figure 12 : Concentrations moyennes en benzène mesurées dans des environnements intérieurs divers. Sont données les valeurs maximales et minimales (NR : non renseigné)

### 12.1 COMPARAISONS AUX VALEURS DE REFERENCE

Les concentrations mesurées dans le cadre des études considérées ici sont inférieures ou de l'ordre de grandeur de la valeur repère de 2 µg m<sup>-3</sup>.

## **13. RESUME ET COMMENTAIRES**

Globalement, les niveaux en benzène les plus élevés sont observés en Asie. Cependant, dans cette partie « résumé et commentaires » un focus est réalisé sur l'Europe uniquement dans un premier temps, puis sur le France en prenant comme valeur de référence les valeurs repère proposées fixées par le HCSP.

### **13.1 FOCUS EUROPE ET FRANCE**

Si l'on excepte les études ayant identifié le tabagisme comme source principale de benzène, sur les 72 études recensées :

- 36 % présentent des concentrations moyennes inférieures ou égales à  $2 \mu\text{g m}^{-3}$
- 45 % présentent des concentrations comprises entre 2 et  $5 \mu\text{g m}^{-3}$
- 10 % présentent des concentrations comprises entre 5 et  $10 \mu\text{g m}^{-3}$
- Enfin, 1 % présente des concentrations supérieures ou égales à  $30 \mu\text{g m}^{-3}$ .

De manière générale, les concentrations les plus élevées sont mesurées dans les villes du sud (Ballesta et al., 2006; Bruin et al., 2006; Kotzias et al., 2009). Ceci pourrait s'expliquer par une régulation de trafic moins stricte que dans les pays du nord (Athènes qui se caractérise par des dépassements de la valeur limite de  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  est connue pour l'intensité de son trafic), ou des moyens de chauffage vétustes (Catania en Sicile).

Les environnements présentant les concentrations les plus élevées ( $> 5 \mu\text{g m}^{-3}$ ) sont les bureaux, les immeubles recevant du public ainsi que les résidences de particuliers. En ce qui concerne les bureaux et les immeubles recevant du public, l'emploi de produits d'entretien dont la composition est peu maîtrisée pourrait être une explication. Quant aux résidences de particuliers, les sources peuvent être plus diverses que dans les autres environnements intérieurs : la combustion de bougies odorantes ou d'encens est en effet connue pour être source de benzène (voir paragraphe 3.2). Il est possible de constater que dans 80 % des cas, les concentrations moyennes mesurées restent inférieures à la valeur limite de surveillance en air ambiant de  $5 \mu\text{g m}^{-3}$ .

Notons que toutes les mesures réalisées en France présentent des valeurs moyennes inférieures à  $5 \mu\text{g m}^{-3}$ .

Il semble intéressant de noter que, dans les écoles et les crèches, sur l'ensemble des références considérées ici, 64 % présentent des concentrations moyennes en benzène inférieures à  $2 \mu\text{g m}^{-3}$  et 36 % comprises entre 2 et  $5 \mu\text{g m}^{-3}$ . Si l'on s'intéresse aux concentrations maximales mesurées, elles sont comprises entre 1,2 et  $5,8 \mu\text{g m}^{-3}$ , la valeur maximale de 5.8 étant atteinte à Grenoble en période hivernale. Cette région est connue, à cette période de l'année, pour être marquée par une forte contribution du chauffage au bois, source potentielle de benzène.

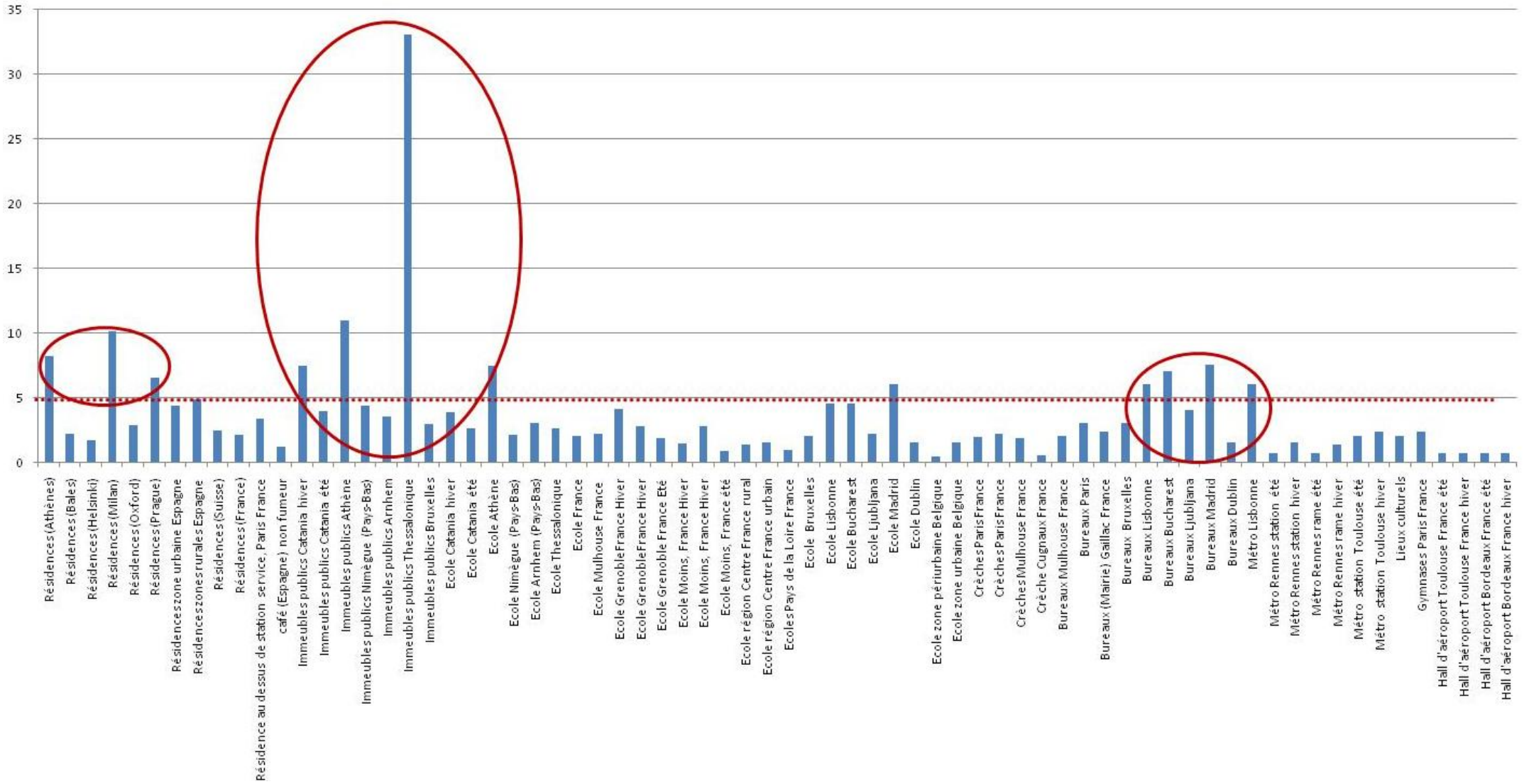


Figure 13 : Résumé des concentrations en benzène mesurées dans l'ensemble des ERP considérés

## **13.2 TENDANCES SAISONNIERES ET SPATIALES, SOURCES MAJORITAIRES DE BENZENE**

Si l'on excepte les mesures réalisées dans des résidences en Chine, toutes les études s'étant intéressées aux variations saisonnières des concentrations en benzène concluent à une augmentation des niveaux de benzène en période hivernale. Les moyens de chauffage domestiques mais également un renouvellement d'air moins fréquent pourrait expliquer ce phénomène.

En ce qui concerne l'étude de la variabilité spatiale, elle concerne principalement les écoles où plusieurs classes peuvent être instrumentées. Les études considérées ici ne font pas état de différences majeures entre les différentes salles de classe lorsque des mesures ont été réalisées sur l'ensemble de l'école. Seule l'étude de Stranger et al., 2008 conclue à une influence de l'étage avec des concentrations plus importantes mesurées au rez-de-chaussée. Cette observation devra être confrontée aux résultats de la campagne écoles et crèches au cours de laquelle des mesures de grande ampleur, sur un nombre important d'établissements ont pu être réalisées.

Mis à part quelques cas particulier, la grande majorité des auteurs concluent à une très large prédominance de la source extérieure sur les niveaux intérieurs de benzène.

## **14. CONCLUSIONS**

Cette étude avait pour but de réaliser un état des lieux des concentrations en benzène communément mesurées dans les lieux publics, dans un contexte d'intérêt grandissant pour la qualité de l'air intérieur et de mise en place progressive d'une surveillance de la qualité de l'air des ERP

Elle s'est donc tournée principalement vers les environnements intérieurs dans lesquels les AASQA pourraient intervenir afin de proposer les lieux potentiellement concernés par une surveillance. Les écoles, les crèches, les immeubles recevant du public, les transports en commun et les halls d'aéroport ont donc fait l'objet d'un intérêt tout particulier.

Cependant, pour recueillir un maximum d'information sur les sources de benzène en air intérieur, les résidences de particuliers ainsi que les bureaux ont également attiré notre attention.

Cette étude s'est portée sur la France bien sur, sur l'Europe mais a été élargie aux Etats-Unis et à l'Asie afin de disposer d'éléments de comparaison.

Ce tour d'horizon des études visant à évaluer les niveaux de benzène dans les ERP a mené aux conclusions suivantes :

- Les niveaux en benzène les plus élevés sont observés en Asie (concentrations supérieures à  $10 \mu\text{g m}^{-3}$ ),
- Globalement, les environnements présentant les concentrations les plus élevées ( $> 5 \mu\text{g m}^{-3}$ ) sont les bureaux, les immeubles recevant du public ainsi que les résidences de particuliers,

- En Europe, les niveaux les plus élevés sont mesurés dans les villes du sud (Athènes, Madrid, Thessalonique, Catania....),
- En Europe, les périodes hivernales sont marquées par des niveaux de benzène en air intérieur plus importants qu'en période estivale,
- En Europe, dans 80 % des cas, les concentrations moyennes mesurées sont inférieures à la valeur limite de surveillance en air ambiant de  $5 \mu\text{g m}^{-3}$ ,
- En France, dans 100 % des études considérées, les valeurs moyennes sur l'ensemble des mesures réalisées au cours de chaque étude, sont inférieures à  $5 \mu\text{g m}^{-3}$ ,
- France et en Europe, ponctuellement, les concentrations en benzène peuvent atteindre des valeurs supérieures à  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  ( $12 \mu\text{g m}^{-3}$  ont par exemple été atteint dans une école au cours de la campagne pilote nationale).

Même si ses niveaux restent faibles en air intérieur et en particulier en France, le benzène n'en reste pas moins une substance d'intérêt majeur de part ses effets sanitaires. Ses concentrations peuvent en effet ponctuellement atteindre des valeurs préoccupantes pour la santé, en particulier dans les écoles et crèches.

La surveillance des niveaux en benzène semble donc indispensable afin de s'assurer, sur le long terme, que la tendance de réduction de concentrations initiée par la réglementation européenne et la réglementation sur les produits de consommation, se poursuit. Elle ne doit en revanche pas faire oublier la surveillance d'autres composés tels les particules, préoccupants d'un point de vue sanitaire et dont les niveaux peuvent atteindre des concentrations considérables en air intérieur et ne s'inscrivent malheureusement pas aujourd'hui dans une tendance de diminution.

Enfin, les conclusions de cette étude, en particuliers celles portant sur la France, sont similaires aux conclusions de la 1<sup>ère</sup> phase de la campagne pilote nationale menée en 2009 dans 157 écoles et crèches où les concentrations moyennes de  $2,3 \mu\text{g m}^{-3}$  sont inférieures à la valeur de  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  comme 100 % des études menées en France.



## 15. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFSSET, C. (2008). "Valeurs guides de la qualité de l'air intérieur: le benzène." Rapport d'expertise collective disponible sur <http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/693734283663878146439921874278/afsset-rapport-benzene-VGAI-vdef.pdf>.
- Air Pays de la Loire (2009). "Evaluation de la qualité de l'air intérieure dans deux établissements scolaires nantais."
- Allemand, N., J. L. Besombes, S. Collet, C. Mandin, J. Riberon and E. Leoz-Grazandia (2008). "Evaluation de l'impact des appareils de chauffage à bois sur la qualité de l'air intérieur et extérieur " Rapport DRC-08-70201-15219A.
- ASCOPARG (2008). "Diagnostic de la qualité de l'air dans les établissements scolaires de la Métro." Disponible sur [http://www.atmo-rhonealpes.org/Site/article/voir/toutes\\_nos\\_publications](http://www.atmo-rhonealpes.org/Site/article/voir/toutes_nos_publications).
- ASPA (2005). "Campagne de mesure dans les lieux publics sur l'agglomération mulhousienne." Disponible sur [http://www.atmo-alsace.net/medias/produits/Campagne\\_de\\_mesure\\_dans1.pdf](http://www.atmo-alsace.net/medias/produits/Campagne_de_mesure_dans1.pdf).
- Ballesta, P. P., R. A. Field, R. Connolly, N. Cao, A. Baeza Caracena and E. De Saeger (2006). "Population exposure to benzene: One day cross-sections in six European cities." Atmospheric Environment **40**(18): 3355-3366.
- Batterman, S., C. Jia and G. Hatzivasilis (2007). "Migration of volatile organic compounds from attached garages to residences: A major exposure source." Environmental Research **104**(2): 224-240.
- Bilan Qualité de l'Air DGEC , D. G. d. I. E. e. d. C. (2010). "Bilan de la qualité de l'air en France en 2009." Disponible sur [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/bilan\\_air\\_complet.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/bilan_air_complet.pdf).
- Bolte, G., D. Heitmannb, M. Kiranoglua, R. Schierlc, J. Diemerb, W. Koernerb and H. Fromme (2008). "Exposure to environmental tobacco smoke in German restaurants, pubs and discotheques." Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology **18**: 262-271.
- Brignon, J. M. (2006). "Données technico-économiques sur les substances chimiques en France (EPER – INERIS, JM. Brignon, Avril 2006) –"  
" Portail Substance Chimique Ineris.<http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/439>.
- Bruin, Y. B. D., K. Koistinen, V. Reina, O. Geiss, S. Tirendi, S. Kephelopoulos and D. Kotzias (2006). The AIRMEX Project; Comparison of Indoor, Outdoor and Personal Exposure Concentrations of VOCs Across European Cities. **17**: S454-S455.
- Charles, S. M., S. A. Batterman and C. Jia (2007). "Composition and emissions of VOCs in main- and side-stream smoke of research cigarettes." Atmospheric Environment **41**(26): 5371-5384.
- COPARLY (2009). "Diagnostic de la qualité de l'air intérieur: école primaire de Mions (69)." Disponible sur [http://www.atmo-rhonealpes.org/Site/News/Voir/qualite\\_de\\_lair\\_interieur\\_groupe\\_scolaire\\_pasteur](http://www.atmo-rhonealpes.org/Site/News/Voir/qualite_de_lair_interieur_groupe_scolaire_pasteur).

- Déléry, L. (2002). "Evaluation des risques sanitaires liés aux émissions de tétrachloroéthylène par deux installations françaises de nettoyage à sec." **INERIS-DRC ERSA Lde-02-25419-337 pour le ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables.**
- Dodson, R. E., J. I. Levy, J. D. Spengler, J. P. Shine and D. H. Bennett (2008). "Influence of basements, garages, and common hallways on indoor residential volatile organic compound concentrations." Atmospheric Environment **42**(7): 1569-1581.
- Fraboulet, I. and L. Chiappini (2009). "Impact local des stations-service sur les concentrations de benzène dans l'environnement (air intérieur et extérieur) – Etude de terrain sur deux sites parisiens." Rapport pour le MEEDDAT: DRC-09-104235-03943A.
- Gallego, E., F. X. Roca, X. Guardino and M. G. Rosell (2008). "Indoor and outdoor BTX levels in Barcelona City metropolitan area and Catalan rural areas." Journal of Environmental Sciences **20**(9): 1063-1069.
- Gokhale, S., T. Kohajda and U. Schlink (2008). "Source apportionment of human personal exposure to volatile organic compounds in homes, offices and outdoors by chemical mass balance and genetic algorithm receptor models." Science of The Total Environment **407**(1): 122-138.
- Guo, H., S. C. Lee, W. M. Li and J. J. Cao (2003). "Source characterization of BTEX in indoor microenvironments in Hong Kong." Atmospheric Environment **37**(1): 73-82.
- HCSP, H. C. d. I. S. P. (2010). "Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le benzène dans l'air des espaces clos." 16 juin 2010  
**Disponible** **sur**  
[http://www.hcsp.fr/docspdf/avisrapports/hcspa20100616\\_benzenespclos.pdf](http://www.hcsp.fr/docspdf/avisrapports/hcspa20100616_benzenespclos.pdf).
- IARC (1982). "IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risks of chemical to humans." **29**: 416.
- ICRT (2005). "Emission of chemicals by air fresheners: tests on 74 consumer products sold in Europe " Test conducted for the BEUC, the European Consumer Organization.
- INERIS (2006). "Fiche de données toxicologiques et environnementales." <http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/439>.
- Jia, C., S. Batterman and C. Godwin (2008). "VOCs in industrial, urban and suburban neighborhoods, Part 1: Indoor and outdoor concentrations, variation, and risk drivers." Atmospheric Environment **42**(9): 2083-2100.
- Kotzias, D. (2005). "Indoor air and human exposure assessment - needs and approaches." Experimental and Toxicologic Pathology **57**(Supplement 1): 5-7.
- Kotzias, D., O. Geiss, S. Tirendi, J. Barrero-Moreno, V. Reina, A. Gotti, G. Cimino-Reale, B. Casati, E. Marafante and D. Sarigiannis (2009). "Exposure to multiple air contaminants in public buildings, schools and kindergartens: the European indoor Air Monitoring and Exposure Assessment (AIRMEX) study " Fresenius Environmental Bulletin **18**: 670-681.
- Kwon, K. D., W. K. J., H. J. Lim and W. S. Jeong (2007). "Characterization of emissions composition for selected household products available in Korea." Journal of Hazardous Materials **148**: 192-198.

- Lai, H. K., M. J. Jantunen, N. Künzli, E. Kulinskaya, R. Colvile and M. J. Nieuwenhuijsen (2007). "Determinants of indoor benzene in Europe." Atmospheric Environment **41**(39): 9128-9135.
- Leoz-Garziandia, E., N. Allemand, J. L. Besombes, S. Collet, C. Mandin and J. Riberon (2008). "Évaluation de l'impact des appareils de chauffage domestique à bois sur la qualité de l'air intérieur et extérieur." Rapport pour le MEEDDEM, DRC-08-70801-15219A.
- Leoz-Garziandia, E., J. L. Besombes, N. Pissot, N. Allemand, C. Mandin, S. Collet, J. Riberon and J. L. Jafferezo (2009). "Contribution du chauffage au bois à la qualité de l'air extérieur : données existantes et études en cours en France." Pollution Atmosphérique Numéro spécial mars 2009.
- Lig'Air (2010). "AICOLE: L'Air à l'Intérieur des éCOles en région centre - Etat des lieux de la qualité de l'air à l'intérieur des classes."
- Mandin, C. and S. Kirschner (2010). "Santé et confort des travailleurs dans les immeubles de bureaux en France : lancement d'une campagne nationale." disponible sur [http://www.actineo.fr/IMG/pdf/Poster\\_OQAI\\_Bureaux.pdf](http://www.actineo.fr/IMG/pdf/Poster_OQAI_Bureaux.pdf).
- Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (2006). "Campagne de surveillance nationale sur la qualité de l'air intérieur dans les logements français." Available: [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/901096605168212697057874284367/qualite\\_air\\_interieur\\_oqai\\_2006.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/901096605168212697057874284367/qualite_air_interieur_oqai_2006.pdf).
- Ohura, T., T. Amagai, X. Shen, S. Li, P. Zhang and L. Zhu (2009). "Comparative study on indoor air quality in Japan and China: Characteristics of residential indoor and outdoor VOCs." Atmospheric Environment **43**(40): 6352-6359.
- OQAI (2006). "Observatoire de la qualité de l'air intérieur, Campagne de surveillance nationale sur la qualité de l'air intérieur dans les logements français." Available: [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/901096605168212697057874284367/qualite\\_air\\_interieur\\_oqai\\_2006.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/901096605168212697057874284367/qualite_air_interieur_oqai_2006.pdf).
- Parra, M. A., D. Elustondo, R. Bermejo and J. M. Santamaría (2008). "Quantification of indoor and outdoor volatile organic compounds (VOCs) in pubs and cafés in Pamplona, Spain." Atmospheric Environment **42**(27): 6647-6654.
- Stranger, M., S. S. Potgieter-Vermaak and R. V. Grieken (2008). Characterization of indoor air quality in primary schools in Antwerp, Belgium. **18**: 454-463.
- Weschler, C. J. (2009). "Changes in indoor pollutants since the 1950s." Atmospheric Environment **43**(1): 153-169.

## 16. LISTE DES ANNEXES

<b>Repère</b>	<b>Désignation</b>	<b>Nombre de pages</b>
Annexe 1	Tableau détaillé présentant chaque étude recensée	13
Annexe 2	Fiche LCSQA 2010	4

Tableau 2 : Synthèse des études recensées dans la littérature portant sur la mesure de benzène en air intérieur. NR : non renseigné.  
Toutes les concentrations notées c sont données en  $\mu\text{g m}^{-3}$ . En gras : Int/Ext > 1

Lieu	Nombre de sites de mesure	Méthode de mesure	Période de mesure	Mesure ext moy/méd	C moy	C méd	Int/Ext	C min	C max	Référence	Commentaires
Résidences (Athènes)				8.00	8.20	NR	1.03	NR	NR		
<b>Résidences (Bales)</b>				<b>1.00</b>	<b>2.20</b>	<b>NR</b>	<b>2.20</b>	<b>NR</b>	<b>NR</b>		
Résidences (Helsinki)	412	Prélèvement actif sur tube	10 heures	1.00	1.70	NR	1.70	NR	NR	Lai et al., 2007	Influence des concentrations extérieures, de la température, vitesse de vent, tabagisme, utilisation d'antimites sur les concentrations en benzène
Résidences (Milan)				12.10	10.10	NR	0.83	NR	NR		
Résidences (Oxford)				2.10	2.80	NR	1.33	NR	NR		
<b>Résidences (Prague)</b>				<b>2.40</b>	<b>6.50</b>	<b>NR</b>	<b>2.71</b>	<b>NR</b>	<b>NR</b>		
Résidences zone urbaine (Espagne)	54	Prélèvement passif tubes ORSA 5 Dräger	21 jours	3.50	4.30		1.23			Gallego et al., 2008	Sources majeures : trafic, tabagisme, apports extérieurs Influence de la température, de la vitesse du vent
<b>Résidences zones rurales (Espagne)</b>				<b>1.40</b>	<b>4.80</b>		<b>3.43</b>	NR	NR		

Lieu	Nombre de sites de mesure	Méthode de mesure	Période de mesure	Mesure ext moy/méd	C moy	C méd	Int/Ext	C min	C max	Référence	Commentaires
Résidences (France)	567	Prélèvement passif (tubes Radiello code 145)	7 jours	LQ		2.10	-	1.90	9.40	OQAI, 2006	
<b>Résidences zone périurbaine été (USA)</b>	<b>46</b>			<b>0.70</b>	<b>3.15</b>	<b>0.94</b>	<b>4.50</b>	<b>NR</b>			
Résidences zone périurbaine hiver (USA)	50			1.49	2.77	1.06	1.86	NR			
<b>Résidences zone urbaine été (USA)</b>	<b>30</b>	Prélèvement sur tubes passifs type non précisé	5 jours	<b>0.77</b>	<b>4.06</b>	<b>1.05</b>	<b>5.27</b>	<b>NR</b>			
<b>Résidences zone urbaine hiver (USA)</b>	<b>29</b>			<b>0.86</b>	<b>1.98</b>	<b>1.12</b>	<b>2.30</b>	<b>NR</b>		47.30	Jia et al., 2008
<b>Résidences zone industrielle été (USA)</b>	<b>45</b>			<b>1.00</b>	<b>2.05</b>	<b>1.25</b>	<b>2.05</b>	<b>NR</b>			
Résidences zone industrielle hiver (USA)	52			1.71	3.09	1.83	1.81	NR			

Lieu	Nombre de sites de mesure	Méthode de mesure	Période de mesure	Mesure ext moy/méd	C moy	C méd	Int/Ext	C min	C max	Référence	Commentaires
Résidence hiver (Chine)	14	Prélèvement par tubes actifs sur TENAX TA à 500 mL min-1	30 minutes	4.67 (max 7.53)	6.09	NR	1.28	NR	30.96	Ohura et al., 2009	Sources intérieures et extérieures
Résidence été (Chine)				8.05 (max 149.57)			10.44				
Résidence hiver (Japon)	27	Prélèvement par tubes passifs Sibata Chemicals	24 heures	1.49	1.60	NR	1.07	NR	3.67		Sources essentiellement extérieures
Résidence été (Japon)	30			0.55			0.46		0.83		
<b>Résidences au dessus de garages (USA)</b>	15	Prélèvement actif et passif, méthode peu détaillée	4 jours	<b>0.40</b>	<b>2.00</b>	<b>NR</b>	<b>5.00</b>	<b>NR</b>	<b>7.60</b>	Batterman et al., 2007	Ratio garage/intérieur élevé suggère dominance d'une source garage pour le benzène, ratio plus faible quand source tabagisme
<b>Garages sous résidences (USA)</b>	15			<b>36.60</b>	<b>91.50</b>		<b>159.30</b>				
Résidences au dessus de garages (USA)	55	Prélèvement actif tube 3 zones (15L prélevés)	2 jours	0.88	2.60	NR	2.95	NR	NR	Dodson et al., 2008	
<b>Garages sous résidences (USA)</b>	<b>55</b>			<b>58.00</b>			<b>65.91</b>				
Résidence au dessus de station service, Paris (France)	2	Prélèvement passif (tubes Radiello code 165)	7 jours	< 2	NR	3.30	-	3.10	4.20	Fraboulet et al., 2009	Influence de la station service non significative

Lieu	Nombre de sites de mesure	Méthode de mesure	Période de mesure	Mesure ext moy/méd	C moy	C méd	Int/Ext	C min	C max	Référence	Commentaires
<b>café fumeur (Espagne)</b>	<b>27</b>	Prélèvement actif sur tube TENAX (100 mL min <sup>-1</sup> )	30 min	<b>0.74</b>	<b>2.02</b>		<b>2.73</b>			Parra et al., 2008	Influence du tabagisme
café non fumeur(Espagne)	24			1.32	1.20		0.91	NR	NR		
Café fumeur Bruxelles (Belgique)				2.00		10.00	0.00		29.00		
Café fumeur Lisbonne (Portugal)				3.20		3.40	1.06		12.50		
<b>Café fumeur Bucarest (Roumanie)</b>	-	Prélèvement passif (tube Radiello)	12 h	<b>7.00</b>		<b>18.00</b>	<b>2.57</b>			Ballesta et al., 2006	
<b>Café fumeur Ljubljana (Slovénie)</b>				<b>3.00</b>		<b>6.00</b>	<b>2.00</b>		<b>14.00</b>		
<b>Café fumeur Madrid (Espagne)</b>				<b>5.00</b>		<b>18.00</b>	<b>3.60</b>		<b>26.00</b>		
<b>Café fumeur Dublin (Irlande)</b>				<b>1.00</b>		<b>2.00</b>	<b>2.00</b>		<b>4.00</b>		



Lieu	Nombre de sites de mesure	Méthode de mesure	Période de mesure	Mesure ext moy/méd	C moy	C méd	Int/Ext	C min	C max	Référence	Commentaires
Restaurants fumeurs Ausburg et Munich					11,30	8,90		3,80	22,50		
Café et pubs fumeurs Ausburg et Munich	28	Prélèvements actifs	4 h		17,30	8,10		7,10	64,00	Bolte et al., 2008	
Discothèques fumeurs Ausburg et Munich					24,40	19,70		11,70	49,50		
Restaurant Hong Kong (Chine)	4	Canisters	8 heures	7.27	10.34	9.77	1.42	3.67	18.30	Guo et al., 2003	

Lieu	Nombre de sites de mesure	Méthode de mesure	Période de mesure	Mesure ext moy/méd	C moy	C méd	Int/Ext	C min	C max	Référence	Commentaires
Immeubles publics hiver Catania (Italie)				6.40	7.40		1.16	4.90	17.10		
Immeubles publics été Catania (Italie)				3.50	3.90		1.11	2.80	4.80		
Immeubles publics Athènes (Grèce)				10.50	10.90		1.04	7.30	13.30		
Immeubles publics Nimègue (Pays-Bas)	NR	Prélèvement passif (type de tube NR)	24 heures	3.70	4.30		1.16	3.10	5.40	Bruin et al., 2006 (projet AIRMEX)	Concentrations dans les villes du sud supérieures, Sources extérieures importantes
Immeubles publics Arnhem (Pays-Bas)				2.30	3.50		1.52	1.80	6.20		
<b>Immeubles publics Thessalonique (Grèce)</b>				<b>8.70</b>	<b>33.00</b>		<b>3.79</b>	<b>8.00</b>	<b>63.70</b>		
Immeubles publics Bruxelles (Belgique)				1.90	2.90		1.53	1.90	3.90		
Immeubles publics (centre commercial) France	1	Canister	10 heures		0,26		0,18	0,56		Déléry, 2002	
Immeubles publics (centre commercial) Hong Kong (Chine)	6	Canisters	8 heures	7.78	11.54	11.47	1.48	1.11	42.58	Guo et al., 2003	

Lieu	Nombre de sites de mesure	Méthode de mesure	Période de mesure	Mesure ext moy/méd	C moy	C méd	Int/Ext	C min	C max	Référence	Commentaires
Ecole hiver Catania (Italie)				4.20	3.80		0.90	3.10	4.40		
Ecole été Catania (Italie)				2.50	2.60		1.04	2.30	2.80		
Ecole Athènes (Grèce)	NR	Prélèvement passifs (type de tube NR)		5.90	7.40		1.25	4.90	10.70	Bruin et al., 2006 (Projet AIRMEX 2006)	Concentrations en hiver supérieures
Ecole Nimègue (Pays-Bas)				2.50	2.10		0.84	NR	NR		
Ecole Arnhem (Pays-Bas)				2.30	3.00		1.30	NR	NR		
Ecole Thessalonique (Grèce)				4.60	2.60		0.57	2.60	7.50		
Ecoles (France)		Prélèvement passifs (tubes Radiello code 145)	4.5 jours	1.6	2.3	2.2	0.68	1.0	11.8	Campagne pilote écoles et crèches 2009 - 2010	Concentrations en hiver supérieures
Ecoles (France)	9	Prélèvement passifs (tubes Radiello code 145)	7 jours	-	< 2		-	-		OQAI 2002	
Ecoles Mulhouse (France)	14	Prélèvement passifs (Tubes Radiello code 145)	15 jours	4.10	2.19		0.53	1.30	3.70	ASPA, 2005	Source majoritaire extérieure, concentrations extérieures toujours supérieures aux concentrations intérieures

Lieu	Nombre de sites de mesure	Méthode de mesure	Période de mesure	Mesure ext moy/méd	C moy	C méd	Int/Ext	C min	C max	Référence	Commentaires
Ecoles Hiver Grenoble (France)	4	Prélèvement passifs (tubes Radiello code 145)	4.5 jours	3.80	4.12		1.08	2.10	5.80	ASCOPARG, 2008	Niveaux intérieurs > extérieurs mais bien corrélés aux niveaux extérieurs (rapport compris entre 0.84 et 1) très peu de variations entra classes au sein d'un même établissement
Ecoles Hiver Grenoble (France)				2.08	2.79		1.35	1.30	5.00		
<b>Ecole Eté Grenoble (France)</b>				<b>0.80</b>	<b>1.86</b>		<b>2.32</b>	<b>1.10</b>	<b>5.20</b>		
Ecoles Hiver Moins (France)	1	Prélèvement passif (tubes Radiello code 145)	5 jours		1.45		-	1.10	2.00	COPARLY, 2009	Peu de différences d'une classe à l'autre Les niveaux les plus élevés sont observés en hiver
<b>Ecole Moins, France Hiver</b>				NR	<b>2.77</b>		-	<b>1.90</b>	<b>3.80</b>		
Ecole Moins, France été					0.83		-	0.70	1.20		
Ecole région Centre France rural	15	Prélèvement passif (tube Radiello code 145)	5 jours		1.33			0.10	4.00	Ligair 2009	concentrations plus importantes en hiver, minimales au printemps
Ecole région Centre France urbain	12					1.48		0.50	3.10		

Lieu	Nombre de sites de mesure	Méthode de mesure	Période de mesure	Mesure ext moy/méd	C moy	C méd	Int/Ext	C min	C max	Référence	Commentaires
Ecoles Pays de la Loire France	2	Prélèvement passifs (tubes Radiello code 145)	5 jours	1.00	0.90					Air PL 2010	Concentrations max en hiver source majoritaire extérieure
Ecole Bruxelles				2.00		2.00	1.00		29.00		
Ecole Lisbonne				3.20		4.50	1.41		12.00		
Ecole Bucharest		Prélèvement passif (tubes Radiello code 145)	12 h	7.00		4.50	0.64			Ballesta et al 2006	
Ecole Ljubljana	-			3.00		2.20	0.73		7.00		
Ecole Madrid				5.00		6.00	1.20				
Ecole Dublin				1.00		1.50	1.50		2.60		
Ecole zone périurbaine Belgique	12	Prélèvement passifs (Tubes Radiello code 145) 5*24h	5 jours	0.40	0.41	NR	1.03	0.10	0.75	Starnger et al 2008	Influece des concentrations en air extérieur sur les niveaux intérieurs
Ecole zone urbaine Belgique	15			1.87	1.54	NR	0.82	0.30	3.08		Influence de l'étage sur la mesure. Concentrations plus élevées au RDC
Ecole Michigan	9	Prélèvement passif	4-5 jours	0.06	0.09		1.50		1.60	Godwin and Batterman, 2006	Source extérieure majoritaire
Ecole Honk Kong	6	Canisters	8 heures	4.94	3.04	0.86	0.62	0.68	12.22	Guo et al 2003	source extérieur majoritaire
Ecole zone rurale Thaïlande	9	Prélèvement passifs	8 heures	14.41	8.70	7.06	0.60	4.82	14.12	Ruchirawat et al in press	
Ecole zone trafic Thaïlande	12			56.98	26.48	24.56	0.46	14.45	44.94		

Lieu	Nombre de sites de mesure	Méthode de mesure	Période de mesure	Mesure ext moy/méd	C moy	C méd	Int/Ext	C min	C max	Référence	Commentaires
Crèches France	35	Prélèvement passifs (Tubes Radiello code 145)	4.5 jours	1.6	2.4	2.2	0.68	1	5.7	Campagne pilote écoles et crèches 2009 - 2010	
Crèches Paris France	50	Prélèvements passifs	4 jours	NR		1.90	-	0.90	7.70	Domsic 2001 source rapport VGAI afsset 2008	
Crèches Paris France	15		4 jours			2.20	-	1.10	5.00	Domsic 2002 source rapport VGAI afsset 2008	
Crèches Mulhouse France	4	Prélèvement passifs (Tubes Radiello code 145)	15 jours	3.10	1.83	NR	0.59	1.10	2.40	ASPA, 2005	Niveaux pas homogènes au sein d'une même structure, pas de tendance néanmoins
Crèche Cugnaux France	1	Prélèvement passifs (Tubes Radiello code 145)	9 jours	0.40	0.50		1.25		0.60	ORAMIP, 2007	
jardins d'enfant Inde	3	Prélèvement passifs (tubes 3M)	7 jours	1.50	2.40		1.60			Gokhale et al in press	influence du tabagisme et du trafic

Lieu	Nombre de sites de mesure	Méthode de mesure	Période de mesure	Mesure ext moy/méd	C moy	C méd	Int/Ext	C min	C max	Référence	Commentaires
Bureaux Mulhouse France	8	Prélèvement passifs (Tubes Radiello code 145)	15 jours	NR	1.99		-		4.10	ASPA, 2005	
Bureaux Paris	93	Prélèvement actif	8 heures	NR		3.00	-	0.50	2.60	Dusséaux 2001 source rapport VGAI afsset 2008	
Bureaux (Mairie) Gaillac France	1	Prélèvement passifs (Tubes Radiello code 145)	7 jours	NR	2.30	NR	-	NR	NR	ORAMIP, 2006	
Bureaux Bruxelles				2.00		3.00	1.50		15.00		
Bureaux Lisbonne				3.20		6.00	1.88		12.00		
Bureaux Bucharest	NR	Prélèvement passif (tubes Radiello code 145)	12 h	7.00		7.00	1.00		20.00	Ballesta et al 2006	
Bureaux Ljubljana				3.00		4.00	1.33		12.00		
Bureaux Madrid				5.00		7.50	1.50		16.00		
Bureaux Dublin				1.00		1.50	1.50		1.70		
Bureaux Honk Kong	6	Canisters	8 heures	4.97	4.40	4.06	0.89	1.62	8.09	Guo et al 2003	source extérieur majoritaire

Lieu	Nombre de sites de mesure	Méthode de mesure	Période de mesure	Mesure ext moy/méd	C moy	C méd	Int/Ext	C min	C max	Référence	Commentaires
Métro Lisbonne			12h	3.20		6.00	1.88		8.00	Ballestas et al 2006	
Métro Rennes station été	4			NR	0.68	0.70	-	0.30	1.00		
Métro Rennes station hiver		Prélèvement passif (tubes Radiello code 145)	7 jours	NR	1.50	1.20	-	1.00	2.60	Air Breizh 2005	concentrations plus importantes en hiver
Métro Rennes rame été	1			NR	0.67	0.65	-	0.60	0.80		
Métro Rennes rame hiver				NR	1.35	1.15	-	1.00	2.10		
Métro station Toulouse été	1	analyseur en continu		NR	2.00		-		5.10		
Métro station Toulouse hiver			NR	2.30		-		63.30			teneurs proches de celles de l'extérieur mais concentrations élevées mesurées en hiver par analyseur en continu donc source intérieure ponctuelle
Métro rame Toulouse été	1	NR	20 minutes	NR			-	1.60	2.70	ORAMIP, 2006	
Métro rame Toulouse hiver	1	NR		NR		-	2.40	2.60			



Lieu	Nombre de sites de mesure	Méthode de mesure	Période de mesure	Mesure ext moy/méd	C moy	C méd	Int/Ext	C min	C max	Référence	Commentaires
Lieux culturels	2	Prélèvement passif (tubes Radiello code 145)	15 jours	NR	2.03		-		2.20	ASPA, 2005	
Gymnases Paris	13		6 jours	NR	2.30		-		3.40	Le Moullec, 2004	
Hall d'aéroport Toulouse France été	5	Prélèvement passif (tubes Radiello code 145)	7 jours	1.00	0.70	0.70	0.70	0.50	1.00	ORAMIP , 2002	teneurs homogènes dans l'ensemble de l'aérogare et du même niveau que extérieur zone peu urbanisée loin du trafic automobile
Hall d'aéroport Toulouse France hiver				1.00	0.65	0.65	0.65	0.60	0.70		
Hall d'aéroport Bordeaux France été	16	Prélèvement passif (tubes Radiello code 145)	15 jours	NR	0.70		-	0.60	0.80	AIRAQ, 2008	
Hall d'aéroport Bordeaux France				NR	0.70		-	0.60	0.90		

## Annexe 2 : Fiche 2010

### THEME 4 : Métrologie - Benzène / HAP / Métaux

#### ETUDE N° 4/1 : SURVEILLANCE DU BENZENE

##### **Responsable de l'étude : EMD**

*en collaboration avec : INERIS et LNE*

##### **Objectif**

L'objectif de ces travaux est de poursuivre les actions initiées il y a quelques années et destinées à améliorer et à vérifier la qualité des techniques de mesure du benzène existantes, à les adapter aux besoins des AASQA, et à examiner leur conformité aux exigences de la directive.

##### **Contexte et travaux antérieurs**

Depuis 2006, des travaux ont porté sur la mise au point et l'évaluation des performances de la méthode d'échantillonnage actif sur des tubes remplis de Carbopack X, en suivant les prescriptions de la norme 14 662-1. Ces travaux ont permis de développer une méthode permettant l'échantillonnage actif du benzène sur des durées de l'ordre de 7 jours (établissement du volume de claquage, développement d'une méthode d'analyse et évaluation des incertitudes liées à cette méthode, tests sur le terrain de différents dispositifs d'échantillonnage actifs....).

Des travaux ont également été menés depuis plusieurs années sur l'utilisation de l'échantillonnage passif pour la mesure du benzène dans l'air ambiant et en particulier un programme complet d'évaluation (en chambre d'exposition et sur site) du tube Radiello (Code 145) et du tube axial Perkin Elmer pour la mesure des BTEX a été réalisé.

Un premier exercice d'intercomparaison a été organisé en 2008 pour tester la capacité des laboratoires à analyser des prélèvements actifs réalisés sur des échantillonneurs de Carbopack X : ceci a été réalisé en leur faisant analyser des tubes de Carbopack X chargés en benzène par voie gazeuse à partir d'un mélange gazeux de référence gravimétrique du LNE.

En 2009, le même type d'exercice d'intercomparaison a été organisé pour les prélèvements passifs effectués sur des échantillonneurs de Carbograph 4 (Radiello) : les laboratoires ont analysé des tubes de Carbograph 4 chargés en benzène et en toluène par voie gazeuse comme précédemment.

##### **Travaux proposés pour 2010**

##### **Assurance qualité (LNE)**

Les AASQA effectuent régulièrement des prélèvements de benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes (BTEX) dans l'air ambiant sur des échantillonneurs actifs ou passifs qui sont ensuite analysés par des laboratoires d'analyse.

Pour tester les capacités d'analyse de ces laboratoires, les AASQA ont souhaité que des exercices d'intercomparaison soient organisés régulièrement pour la mesure des BTEX avec les échantillonneurs passifs et actifs. Dès 2008, de premiers exercices d'intercomparaison ont été réalisés en faisant analyser par les laboratoires, des tubes chargés en benzène et toluène par voie gazeuse à partir de mélanges gazeux de référence gravimétriques du LNE. Les autres composés organiques volatils couramment analysés comme l'éthylbenzène et les xylènes n'ont pas été pris en compte.

De plus, ces premiers exercices ont conduit à tester les tubes de Carbopack X et de Carbograph 4. Cependant, pour être conforme au guide de recommandation sur la mesure du benzène dans l'air ambiant, les tubes de Carbopack B doivent également être testés.

Pour pérenniser ces exercices d'intercomparaison, il est proposé de les organiser tous les 2 ans à l'image de ce qui est actuellement effectué dans le cas des métaux, des HAP, des polluants classiques (NO, O<sub>3</sub>...).

Pour pouvoir organiser dès 2011 une campagne d'intercomparaison conforme au guide de recommandation sur la mesure du benzène dans l'air ambiant, le LNE propose de finaliser en 2010, les procédures de dopage des tubes pour le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes (BTEX) et pour l'ensemble des échantillonneurs recommandés par le LCSQA.

Ces procédures comprennent une partie de chargement des tubes avec un mélange gazeux de référence gravimétrique préparé par le LNE et une partie analytique en chromatographie en phase gazeuse avec FID qui permet de valider le chargement des tubes. L'ensemble de la méthode sera validée par comparaison avec des tubes chargés par un autre laboratoire national de métrologie (par exemple, VSL).

Ceci permettra de disposer des tubes chargés suivants :

- des échantillonneurs actifs de type Carbopack X chargés en BTEX,
- des échantillonneurs passifs de type Radiello – Carbograph 4 chargés en BTEX,
- des échantillonneurs passifs de type Perkin-Elmer – Carbopack B chargés en BTEX.

Lors de la future campagne 2011, ces tubes seront envoyés aux différents laboratoires afin de tester leur capacité à analyser différents types d'échantillonneurs susceptibles d'être utilisés par les AASQA pour effectuer leurs prélèvements.

Cette campagne sera ensuite organisée tous les 2 ans comme ce qui est déjà effectué pour les polluants classiques, les HAP, les métaux...

#### ***Méthode de référence (échantillonnage actif) (EMD et INERIS)***

- Au cours de l'année 2009, une campagne de terrain de mesure du benzène en partenariat avec le réseau MADININAIR a été organisée avec deux préleveurs différents : l'un équipé d'une membrane Nafion et l'autre sans membrane Nafion afin d'évaluer l'utilité de la mise en place d'une membrane sur les préleveurs fonctionnant sur des sites comparables en termes de conditions environnementales. Suite aux premiers résultats obtenus lors de cette campagne, il apparaît intéressant de poursuivre la mesure en parallèle pendant une durée de l'ordre de 6 mois de manière à consolider les résultats obtenus sur une période où des conditions météorologiques différentes devraient être observées (action EMD).

- Etant donné les écarts observés lors des tests de conservation des cartouches remplies de 500mg de Carbopack X menés en 2008 entre des durées de stockage de 30 et de 90 jours, en 2010, des tests de conservation seront menés dans les mêmes conditions de stockage mais pendant une durée de stockage de 60 jours (action EMD).

- Les AASQA sont inscrites depuis 2008, conformément aux exigences de la directive européenne intégrée, dans un processus visant à s'équiper en préleveurs actifs pour la mesure du benzène. L'INERIS se propose d'accompagner les AASQA lors de l'équipement et la mise en oeuvre de préleveurs actifs en les conseillant pour l'application du guide de recommandations : procédure de mesure de débit, d'installation des tubes de prélèvement, précautions analytiques....

Cette action sera complétée par un bilan sur l'existant en fin d'année dans les AASQA (action INERIS).

- Un travail de veille sur les appareils de prélèvement actif existant sur le marché est également proposé. Un préleveur séquentiel commercialisé par Ecomesure sera dans ce

cadre testé sur la chambre d'exposition de l'INERIS, dans les conditions standards (5 µg.m<sup>-3</sup> de benzène, 50 % d'humidité et 20 °C) (action INERIS).

#### ***Méthode indicative (échantillonnage passif) (EMD)***

En 2008, une campagne d'intercomparaison, réalisée à la station de L'Hôpital-Mairie de l'association Atmo Lorraine-Nord et impliquant les trois techniques de mesure du benzène (prélèvement actif sur tube de Carbopack X, échantillonneurs passifs Perkin Elmer et Radiello et analyseurs automatiques BTEX Chromatotec/FID) a montré des résultats contrastés pour le tube Radiello avec des mesures estivales en assez bon accord avec les valeurs des analyseurs automatiques (Incertitude élargie de 30 % à 5 µg.m<sup>-3</sup>) et à l'inverse des mesures hivernales qui présentent une forte sous-estimation. L'origine de cette sous-estimation a été identifiée comme étant des dépôts d'eau (gel, rosée) sur l'échantillonneur passif liés à des conditions météorologiques particulières (faibles températures < 10°C combinées à des humidités élevées > 80%). L'EMD propose en 2010 de réaliser une série d'expositions de tubes Radiello sous ces conditions défavorables en chambre d'exposition. On recherchera des conditions analytiques (splits) mieux adaptées à l'analyse de ces échantillons exposés.

#### ***Séminaire LCSQA de mars 2010***

Finalisation de la rédaction d'un document "guide de surveillance" portant à la fois sur la stratégie de mesure du benzène (en lien avec le GT stratégie et le zonage) mais aussi sur les recommandations concernant les différentes techniques de mesure du benzène selon les objectifs visés pour la préparation du séminaire LCSQA prévu en mars 2010.

#### ***Problématique air intérieur (INERIS)***

A l'issue du Grenelle de l'Environnement en 2007 qui a acté le principe de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les lieux clos ouverts au public, le LCSQA a été missionné dès 2008 pour travailler sur les polluants pouvant faire l'objet d'une surveillance et en particulier ceux pour lesquels des valeurs de référence "court-terme" (exposition aiguë) et/ou "long-terme" (exposition chronique) ont été établies par l'AFSSET. C'est le cas du benzène, composé pour lequel trois valeurs guides long terme, une intermédiaire et une court terme ont été établies<sup>1</sup>. Dans ce contexte, une étude bibliographique portant sur la mesure du benzène en air intérieur est proposée. Elle permettrait de faire un état des lieux des concentrations communément mesurées dans les lieux publics dans lesquels les AASQA pourraient intervenir et de cibler ainsi l'environnement potentiellement concerné par une surveillance. Cette étude sera à mettre en perspective d'une part avec le travail de veille mené par l'INERIS sur les études et les projets de recherche sur la thématique air intérieur en France et à l'étranger et d'autre part avec les résultats de la campagne école initiée en septembre 2009 et au cours de laquelle le benzène et le formaldéhyde seront mesurés dans plus de 150 écoles en France.

#### ***Mesure des COV précurseurs de l'ozone (EMD)***

Préparation de pièges de préconcentration pour les analyseurs de COV Perkin Elmer des AASQA avec une périodicité d'environ 6 mois

## Renseignements synthétiques

Titre de l'étude	<b>Surveillance du benzène</b>
Personne responsable de l'étude	Nadine LOCOGE (EMD), Laura CHIAPPINI (INERIS) et Marie-Caroline SCHBATH (LNE)
Travaux	pérennes
Durée des travaux pluriannuels	-
Collaboration AASQA	-
Heures d'ingénieur	LNE : 200      INERIS : 400      EMD : 500
Heures de technicien	LNE : 600      INERIS : 200      EMD : 600
Document de sortie attendu	Rapports d'étude + guide de recommandations finalisé pour la mesure du benzène
Lien avec le tableau de suivi CPT	Demande AASQA 2008
Lien avec un groupe de travail LCSQA	CS HAP/Métaux/Benzène
Matériel acquis pour l'étude	LNE : Bouteilles de gaz vides, tubes VSL, tubes vides, Molbloc + Molbox EMD : désorbeur thermique