

ENVIRONNEMENT INTÉRIEUR, QUALITÉ DE L'AIR ET SANTÉ

Le benzène en air intérieur : bilan des niveaux de concentration rencontrés

Laura CHIAPPINI¹

Le réseau multidisciplinaire RSEIN, Recherche santé environnement intérieur, rassemble depuis 2001 des experts français, chercheurs, métrologues, modélisateurs, épidémiologistes, médecins, évaluateurs de risque, dont les activités sont liées à la qualité de l'air intérieur. En partenariat étroit avec l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI), le réseau RSEIN assure une veille scientifique dans le domaine de l'environnement intérieur au sens large, excepté le champ de l'hygiène industrielle et celui des rayonnements électromagnétiques. Le bulletin trimestriel *Info Santé Environnement Intérieur*, téléchargeable sur le site Internet du réseau <http://rsein.ineris.fr>, rassemble ces travaux de veille et fournit notamment les analyses des publications scientifiques internationales considérées comme les plus importantes et/ou intéressantes parmi l'ensemble des articles répertoriés chaque trimestre. Les brèves synthèses du bulletin traitent indifféremment des substances, des micro-environnements et des effets sanitaires intégrés à la veille RSEIN. Parallèlement à la publication du bulletin, la présente rubrique, financée par l'ADEME, a pour objectif d'apporter chaque trimestre un éclairage plus particulier sur un thème choisi par le comité de rédaction RSEIN en s'appuyant sur les données de la littérature publiées récemment. Au sein de cette rubrique, le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ou l'un de ses partenaires est chargé d'apporter des compléments sur le sujet traité, de rapporter les actualités de l'OQAI ou d'aborder des thèmes non couverts par la veille RSEIN.

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 de surveillance dans les lieux scolaires et d'accueil de la petite enfance [Marchand, 2008]. Il est mesuré, avec le formaldéhyde, dans le cadre de la campagne pilote nationale de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les écoles et crèches, lancée par Chantal Jouanno, Secrétaire d'État à l'Écologie, en septembre 2009. Cette opération a été initiée par le ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) et le ministère de la Santé et des Sports, avec les ministères de la Famille et de l'Éducation nationale. Elle s'inscrit dans les actions du deuxième plan national santé environnement (PNSE II) 2009-2013, qui prévoit de développer la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les ERP, en commençant par les écoles et les crèches.

Par ailleurs le benzène, classé cancérigène, a fait l'objet de nombreuses études concernant ses effets aigus et chroniques ainsi que de valeurs guides de

qualité de l'air intérieur (VGAI) [AFSSET, 2008]² et de valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos [HCSP, 2010].

Dans ce contexte d'intérêt grandissant pour la qualité de l'air intérieur, de mise en place progressive d'une surveillance de la qualité de l'air des ERP et de besoin de connaissances concernant les expositions multiples au benzène, cette étude se propose de réaliser un état des lieux des concentrations de ce composé communément mesurées dans les lieux publics en France, en Europe, aux États-Unis et en Asie.

Le benzène : sources, impact sanitaire, Valeurs Guides Air Intérieur

Sources et surveillance du benzène

Les sources de benzène en air extérieur

En France, les émissions totales de benzène en 2008 étaient de 38,9 ktonnes, soit 3,6 % des émissions totales de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM). Le principal émetteur de

1. INERIS, laura.chiappini@ineris.fr

2. AFSSET aujourd'hui ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, issue de la fusion de l'AFSSA (Agence française de sécurité sanitaire des aliments) et de l'AFSSET (Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail).

benzène est le secteur résidentiel-tertiaire (75 %) dont la combustion du bois [INERIS, 2006a]. Présent naturellement dans le pétrole brut et l'essence, les gaz d'échappement automobile, l'évaporation de l'essence pendant son stockage, son transport et sa distribution en constituent également une source (15 %). Les émissions de benzène ont baissé de près de 49 % entre 2000 et 2008, essentiellement dans le transport routier (- 69 %), le résidentiel tertiaire (- 45 %) 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, 2010, <http://www.citepa.org/emissions/nationale/index.htm>].

La surveillance du benzène en air extérieur : valeur limite réglementaire

La surveillance des niveaux de benzène en air extérieur a été mise en place en Europe avec la Directive européenne fille 2000/69/CE. Cette Directive a été intégrée à celle de 2008 (2008/50/CE), qui fixe à $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ la valeur limite en air ambiant en moyenne annuelle.

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, $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en moyenne, et en diminution à proximité des industries et du trafic, $2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en moyenne [Bilan Qualité de l'Air DGEC 2010].

Les sources de benzène en air intérieur

La première source de benzène en air intérieur est l'apport de l'air extérieur, cependant, 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 $535 \mu\text{g}$ [Charles *et al.*, 2007].
- Les processus de combustion, telle la combustion du bois, peuvent être source 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, 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] note, dans sa revue sur « *Les changements de la pollution en air intérieur depuis 1950* », la décroissance des concentrations en benzène mesurée entre les années 80 d'une part, et les années 2000 d'autre part, dans différentes villes aux États-Unis, aussi bien en air intérieur et extérieur

qu'au niveau même des émissions des produits de consommation. En effet, largement utilisé dans les années 50, son élimination des produits de consommation a été proposée par l'*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].

Produits de consommation et réglementation

En Europe, 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) et la directive 98/70/CE limite la concentration en benzène dans les carburants à 1 % en volume. De plus, la directive 1999/13/CE sur la réduction des émissions des COV a eu pour conséquence indirecte la réduction de l'emploi du benzène. La réglementation REACH sur les produits chimiques (Annexe 17 du règlement REACH, entrée 5 et 28-29-30) spécifie que les substances comme le benzène ne doivent pas être présentes à plus de 0,1 % du poids total du produit fini.

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 cancérogènes, 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 $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dans les conditions d'essais pour l'évaluation des émissions et pour chacune des substances visées par l'arrêté dont le benzène.

Ces différentes mesures participent à la diminution des émissions de benzène dans les environnements intérieurs par la réduction, voire l'élimination, de ses teneurs dans les produits à destination du public.

Toxicité, exposition, valeurs de référence

L'inhalation constitue la principale voie d'exposition au benzène et son absorption est complète. L'exposition à de fortes concentrations entraîne des effets anesthésiants habituellement précédés d'une excitation et la mort résulte d'une dépression respiratoire. Pour des expositions à de plus faibles concentrations, le benzène induit une excitation puis des troubles de la parole, des céphalées, des vertiges, des insomnies, des nausées, des paresthésies dans les mains et les pieds ainsi que de la fatigue. Des irritations locales pulmonaires et cutanées sont également rapportées.

La toxicité chronique du benzène est caractérisée par une atteinte de la moelle osseuse (anémie aplasique ou syndrome myéloprolifératif) ainsi qu'une atteinte du système immunitaire. Les études de cancérogénèse montrent que le benzène est essentiellement responsable de leucémie. Il est classé

cancérogène pour l'homme par les différents organismes (catégorie 1 pour l'Union européenne, groupe 1 pour l'IARC et catégorie A pour l'US EPA) et mutagène de catégorie 2 par l'Union européenne [Fiche de données toxicologiques et environnementales, INERIS, 2006b³]. Afin de protéger les populations de ces différents effets, l'ANSES a défini des valeurs guide de qualité de l'air intérieur [AFSSET, 2008], fondées exclusivement sur des critères sanitaires. En juin 2010, le HCSP a proposé des valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos (HCSP, 2010).

Les valeurs guide de qualité d'air intérieur (VGAI) de l'ANSES

Ces valeurs guides de qualité de l'air sont construites exclusivement sur des critères sanitaires. Elles sont exprimées sous forme de concentration dans l'air, associées à un temps d'exposition d'une substance chimique, en dessous de laquelle aucun effet sanitaire, aucune nuisance, ou aucun effet indirect important sur la santé n'est en principe attendu pour la population générale.

Des VGAI pour des effets hématologiques non cancérogènes ont été établies :

- **VGAI long terme** : $10 \mu\text{g m}^{-3}$ pour une durée d'exposition supérieure à un an pour les effets hématologiques non cancérogènes.
- **VGAI intermédiaire** : $20 \mu\text{g m}^{-3}$ en moyenne sur un an pour les effets hématologiques non cancérogènes prenant en compte des effets cumulatifs du benzène.

Des VGAI pour des effets hématologiques cancérogènes ont également été définies :

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

L'avis du Haut conseil de santé publique (HCSP)

Le Haut conseil de la santé publique a pour objectifs d'améliorer l'état de santé des populations et de participer à la gestion des risques sanitaires. Il effectue ainsi des évaluations et émet des recommandations sur la gestion de la qualité de l'air intérieur et a ainsi proposé des valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos pour le benzène :

- $2 \mu\text{g m}^{-3}$ comme valeur cible à atteindre en 5 ans.
- $5 \mu\text{g m}^{-3}$ comme valeur repère de qualité d'air en dessous de laquelle aucune action corrective spéci-

fique n'est préconisée aujourd'hui. À partir de 2012, cette valeur repère évoluera avec une pente de décroissance de $1 \mu\text{g m}^{-3}$ par an jusqu'à la valeur cible qui devra être atteinte en 2015.

- $10 \mu\text{g m}^{-3}$ 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.

Concentrations en benzène mesurées en air intérieur

Un recensement des études dans la littérature faisant état de mesures de benzène en air intérieur depuis le début des années 2000 en Europe, en France, aux États-Unis et en Asie a été réalisé et est synthétisé dans le tableau ci-dessous. 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 une même localisation géographique d'établissements ou de résidences instrumentés (Europe, France, États-Unis et Asie), les concentrations médianes ou moyennes mesurées en air extérieur, les concentrations médianes, moyennes, maximales et minimales mesurées en air intérieur.

Notons qu'il est regrettable de ne pas disposer systématiquement des concentrations en benzène et 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 était 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.

Discussions

Globalement, les niveaux en benzène les plus élevés sont observés en Asie. Un focus est réalisé sur l'Europe et la France en prenant comme valeur de référence la valeur cible ($2 \mu\text{g m}^{-3}$) et la valeur repère ($5 \mu\text{g m}^{-3}$) proposées par le HCSP (Figure 1).

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

Focus Europe et France

Si l'on excepte les études ayant identifié le tabagisme comme source principale de benzène, sur les 72 études recensées, tous types de lieux confondus, en considérant les concentrations moyennes mesurées par étude :

- 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 $10 \mu\text{g m}^{-3}$;
- 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 de l'Europe [Ballesta *et al.*, 2006 ; Bruin *et al.*, 2006 ; Kotzias *et al.*, 2009]. Ces niveaux élevés sont parfois accompagnés de ratios des concentrations extérieur/intérieur faibles, suggérant l'apport majoritaire de sources extérieures comme le trafic dont la régulation y est 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). Dans ces villes, les environnements présentant les concentrations les plus élevées ($> 5 \mu\text{g m}^{-3}$) sont les bureaux, ERP ainsi que les résidences de particuliers où 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 (paragraphe 1.1). 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 $5 \mu\text{g m}^{-3}$ et 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 % des études présentent des concentrations moyennes en benzène, à l'échelle de l'étude, 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 dans ces environnements, 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 en air extérieur et intérieur [Favez *et al.*, 2010].

Tendances saisonnières et spatiales, sources majoritaires de benzène

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 intérieurs en période hivernale. Les niveaux plus élevés en air extérieur, les moyens de chauffage domestiques, mais également un renouvellement d'air moins fréquent pourraient expliquer ce phénomène. En ce qui concerne la variabilité spatiale, elle a principalement été étudiée dans des écoles où plusieurs classes peuvent être instrumentées simultanément. Les études considérées ici ne font pas état de différences 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] conclue à une influence de

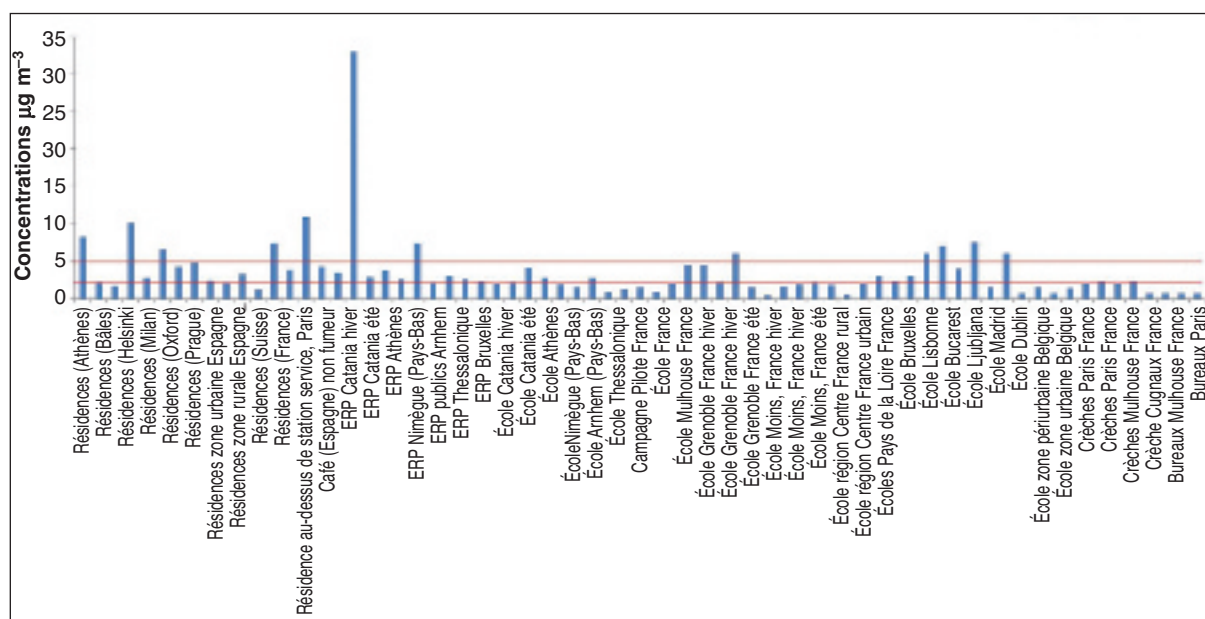


Figure 1. Résumé des concentrations en benzène mesurées dans l'ensemble des lieux considérés, les lignes rouges représentent la valeur cible ($2 \mu\text{g m}^{-3}$) et la valeur repère ($5 \mu\text{g m}^{-3}$) du HCSP.

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

| Lieux | Nombre de sites | Mesure extérieure | Concentrations moyennes | Concentrations médianes | Concentrations minimales | Concentrations maximales | Références |
|------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Résidences Europe | 473 | 3,70 | 4,80 | NR | NR | NR | Lai <i>et al.</i> , 2007 ; Gallego <i>et al.</i> , 2008 |
| Résidences France | 569 | LQ | | 2,70 | 2,50 | 6,80 | OQAI, 2006 ; Fraboulet 2009 |
| Résidences USA | 322 | 0,98 | 2,71 | 1,21 | | 47,30 | Jia <i>et al.</i> , 2008 |
| Résidences Asie | 71 | 3,69 | 4,65 | | | 39,61 | Ohura <i>et al.</i> , 2009 |
| Café Europe | 51 | 2,91 | 1,61 | 9,57 | | 17,10 | Parra <i>et al.</i> , 2008 ; Ballesta <i>et al.</i> , 2006 ; Bolte <i>et al.</i> , 2008 |
| Restaurant Asie | 4 | 7,27 | 10,34 | 9,77 | 3,67 | 18,30 | Guo <i>et al.</i> , 2003 |
| ERP Europe | NR | 5,29 | 9,41 | | 4,26 | 16,34 | Bruin <i>et al.</i> , 2006 (projet AIRMEX) |
| ERP France | 1 | | 0,26 | | 0,56 | | Déléry <i>et al.</i> , 2002 |
| ERP Asie | 6 | 7,78 | 11,54 | 11,47 | 1,11 | 42,58 | Guo <i>et al.</i> , 2003 |
| Écoles Europe | NR | 3,17 | 3,08 | | 2,36 | 7,83 | Bruin <i>et al.</i> , 2006 ; Ballesta <i>et al.</i> , 2006 ; Stamger <i>et al.</i> , 2008 |
| Écoles France | 171 | 2,26 | 2,00 | | 1,00 | 11,80 | Campagne nationale pilote écoles et crèches 2010 ; OQAI 2002 ; ASPA, 2005 ; ASCOPARG, 2008 ; COPARLY, 2009 ; LIGAIR, 2009 ; Air PL, 2010 |
| Écoles USA | 9 | 0,06 | 0,09 | | | 1,60 | Godwin and Batterman, 2006 |
| Écoles Asie | 27 | 25,44 | 12,74 | 10,83 | 6,65 | 23,76 | Guo <i>et al.</i> , 2003 ; Ruchirawat <i>et al.</i> in press |
| Crèches France | 105 | 1,70 | 1,77 | | 1,03 | 4,50 | Campagne nationale pilote écoles et crèches 2010 ; DOMSIC, 2001 ; ASPA, 2005 ; ORAMIP, 2007 |
| Jardins d'enfants Asie | 3 | 1,50 | 2,40 | | | | Gokhale <i>et al.</i> , in press |
| Bureaux Europe | NR | 3,53 | | 4,83 | | 12,78 | Ballesta <i>et al.</i> , 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 <i>et al.</i> , 2003 |
| Métro Europe | | 3,20 | | 6,00 | | 8,00 | Ballesta <i>et al.</i> , 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 |
| Aéroports France | 21 | | 0,69 | 0,68 | 0,58 | 0,85 | ORAMIP, 2002 ; AIRAQ, 2008 |

l'étage avec des concentrations plus importantes mesurées au rez-de-chaussée. Cette observation devra être confrontée aux résultats de la campagne pilote écoles et crèches, menée en France en 2009-2011, au cours de laquelle des mesures sur un nombre important d'établissements (310) sont réalisées avec plusieurs salles instrumentées simultanément dans un même établissement.

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

En conclusion, ce tour d'horizon des études, visant à évaluer les niveaux de benzène dans différents locaux, met en évidence les points suivants :

- les niveaux en benzène les plus élevés sont observés en Asie (concentrations moyennes 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 ERP 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 (souvent accompagnés par des niveaux extérieurs plus élevés) ;
- en Europe, dans 80 % des cas, les concentrations moyennes sur l'ensemble des mesures réalisées au cours de chaque étude sont inférieures à la valeur repère 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 la valeur repère de $5 \mu\text{g m}^{-3}$;

- en France, dans 67 % des cas considérés, les valeurs moyennes sur l'ensemble des mesures réalisées au cours de chaque étude sont inférieures à la valeur cible de $2 \mu\text{g m}^{-3}$;

- en France et en Europe, ponctuellement, les concentrations 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 ces niveaux restent faibles en air intérieur, et en particulier en France, le benzène n'en reste pas moins une substance d'intérêt sanitaire majeur. 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 nécessaire afin de suivre sur le long terme la tendance de réduction des concentrations initiée par la réglementation européenne et la réglementation sur les produits de consommation. Elle ne doit en revanche pas faire oublier la surveillance d'autres composés préoccupants d'un point de vue sanitaire, tels que les particules ne s'inscrivant malheureusement pas aujourd'hui dans une tendance de diminution.

Enfin, les conclusions de cette étude, en particulier celles portant sur la France, sont similaires aux conclusions de la première phase de la campagne pilote nationale menée en 2009 dans 160 écoles et crèches où la moyenne des concentrations enregistrées à l'échelle de chaque établissement, égale à $2,3 \mu\text{g m}^{-3}$, est inférieure à la valeur de $5 \mu\text{g m}^{-3}$ comme 100 % des études menées en France. Cette dernière fera d'ailleurs l'objet d'un article dans la revue *Pollution Atmosphérique* de septembre 2011.

Références

- AFSSET. Valeurs guides de la qualité de l'air intérieur : le benzène. 2008. Rapport d'expertise collective disponible sur <http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/693734283663878146439921874278/afsset-rapport-benzene-VGAI-vdef.pdf>
- Allemand NJ, Besombes L, Collet S *et al.* Évaluation de l'impact des appareils de chauffage à bois sur la qualité de l'air intérieur et extérieur. Rapport DRC-08-70201-15219A 2008.
- ASCOPARG 2008. « Diagnostique 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
- ASPA 2005. « Campagne de mesures dans les lieux publics sur l'agglomération mulhousienne ». Disponible sur http://www.atmo-alsace.net/medias/produits/Campagne_de_mesure_dans1.pdf
- Ballesta PP, Field RA, Connolly R *et al.* Population exposure to benzene: One day cross-sections in six European cities. *Atmospheric Environment* 2006 ; 40 (18) : 3355-66.
- Bilan Qualité de l'Air DGEC, D.G.d.l.E.e.d.C. Bilan de la qualité de l'air en France en 2009. 2010, Disponible sur http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/bilan_air_complet.pdf
- Bolte G, Heitmann D, Kiranoglu M *et al.* Exposure to environmental tobacco smoke in German restaurants, pubs and discotheques. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 2008 ; 18 : 262-71.
- Bruin Y, Koistinen K, Reina V *et al.* The AIRMEX Project. Comparison of Indoor, Outdoor and Personal Exposure Concentrations of VOCs Across European Cities. 2006 ; 17 : S454-S455.
- Charles SM, Batterman SA, Jia C. Composition and emissions of VOCs in main- and side-stream smoke of research cigarettes. *Atmospheric Environment* 2007 ; 41 (26) : 5371-84.
- CITEPA. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France – séries sectorielles et analyses étendues. Format SECTEN 2010 : 316 p.
- COPARLY. Diagnostic de la qualité de l'air intérieur : école primaire de Mions (69) 2009 : Disponible sur http://www.atmo-rhonealpes.org/Site/News/Voir/qualite_de_lair_interieur_groupe_scolaire_pasteur
- Favez O, El Haddad I, Piot C *et al.* Inter-comparison of source apportionment models for the estimation of wood burning aerosols during wintertime in an Alpine city (Grenoble, France). *Atmospheric Chemistry and Physics* 2010 ; 10 : 5295-314.
- Gallego E, Roca FX, Guardino X, Rosell MG. Indoor and outdoor BTX levels in Barcelona City metropolitan area and Catalan rural areas. *Journal of Environmental Sciences* 2008 ; 20 (9) : 1063-9.
- Gokhale S, Kohajda T, Schlink U. 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* 2008 ; 407 (1) : 122-38.
- Guo H, Lee SC, Li WM, Cao JJ. Source characterization of BTEX in indoor microenvironments in Hong Kong. *Atmospheric Environment* 2003 ; 37 (1) : 73-82.
- HCSP H. C. d. l. S. P. 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
- IARC. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risks of chemical to humans. 29 1982 : 416 p.
- ICRT. Emission of chemicals by air fresheners: tests on 74 consumer products sold in Europe. Test conducted for the BEUC, the European Consumer Organization, 2005.
- INERIS 2006a. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France.
- INERIS 2006b. Fiche de données toxicologiques et environnementales. <http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/439>
- Kotziás D, Geiss O, Tirendi S *et al.* Exposure to multiple air contaminants in public buildings, schools and kindergartens: the European indoor Air Monitoring and Exposure Assessment (AIRMEX) study. *Fresenius Environmental Bulletin* 2009 ; 18 : 670-81.
- Kwon KD, Lim HJ, Jeong WS. Characterization of emissions composition for selected household products available in Korea. *Journal of Hazardous Materials*, 2007 ; 148 : 192-8.
- Lai HK, Jantunen MJ, Künzli N *et al.* Determinants of indoor benzene in Europe. *Atmospheric Environment* 2007 ; 41 (39) : 9128-35.
- Leoz-Garziandia E, Allemand N, Besombes JL *et al.* Évaluation de l'impact des appareils de chauffage domestique à bois sur la qualité de l'air intérieur et extérieur. *Rapport pour le MEEDDEM*, 2008 ; DRC-08-70801-15219A.
- Leoz-Garziandia E, Besombes JL, Pissot N *et al.* 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.

- Marchand C. Élaboration de protocoles de surveillance du formaldéhyde, du benzène et du monoxyde de carbone dans l'air des lieux clos ouverts au public. *Rapport INERIS/LCSQA pour le MEEDDM 2008*. disponible sur <http://www.lcsqa.org/rapport/2008/ineris-emd-cstb/elaboration-protocoles-surveillance-formaldehyde-benzene-monoxyde-carbo>
- Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur. Campagne de surveillance nationale sur la qualité de l'air intérieur dans les logements français. 2006. Disponible sur : http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/901096605168212697057874284367/qualite_air_interieur_oqai_2006.pdf
- Parra MA, Elustondo D, Bermejo R, Santamaría RJ. Quantification of indoor and outdoor volatile organic compounds (VOCs) in pubs and cafés in Pamplona, Spain. *Atmospheric Environment* 2008 ; 42 (27) : 6647-54.
- Stranger M, Potgieter-Vermaak SS, Grieken RV. Characterization of indoor air quality in primary schools in Antwerp, Belgium. 2008 ; 18 : 454-63.
- Weschler CJ. Changes in indoor pollutants since the 1950s. *Atmospheric Environment* 2009 ; 43 (1) : 153-69.

