

Mémoire de Maîtrise en médecine No 3369

Impact de l'environnement bâti sur la santé respiratoire

(Impact of the built environment on respiratory health)

Etudiant

Simonetta Noémie

Tuteur

Niculita-Hirzel Hélène, PhD

Institut universitaire romand de Santé au Travail

Expert

Santos-Eggimann Brigitte, Prof.

Institut universitaire de médecine sociale et préventive

Lausanne, 12.02.2017

Impact de l'environnement bâti sur la santé respiratoire

Résumé

But : Faire un état de l'art sur les principaux résultats d'études publiées ces cinq dernières années sur les environnements bâtis associés au développement ou à l'exacerbation de symptômes ou pathologies respiratoires chez l'adulte.

Méthode : une recherche de littérature a été effectuée du 1er août au 30 septembre 2015 à l'aide principalement de la base de données Pubmed. Les articles sélectionnés devaient avoir été publiés dans les 5 dernières années, en anglais, provenir d'un pays développé (selon IDH 1983-2013 très haut-haut), ne pas être une revue de littérature et ne pas avoir comme polluant principalement étudié la fumée de cigarette.

Résultats : La matière particulaire (PM) et le dioxyde d'azote (NO₂) ont été associés à de nombreux effets sur la santé respiratoire, lorsque leurs concentrations moyennes dans l'air intérieur étaient supérieures aux directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Néanmoins, des concentrations de NO₂ inférieures aux directives de l'OMS ont été associées au développement de symptômes respiratoires chez des populations à risque (personnes âgées, personnes souffrant de bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO)). La seule étude associant indirectement la présence de bactéries dans l'air intérieur à des effets sur la santé respiratoire fait état de concentrations dans l'air intérieur supérieures à la directive de l'OMS. La présence de composés organiques volatils (COV), hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et polychlorobiphényles (PCB) dans l'air intérieur a été associée respectivement à des symptômes respiratoires et fonctions pulmonaires diminuées, un risque cancérigène, et une concentration augmentée de PCB dans le sérum. La présence de retardateurs de flamme (composés organophosphorés, PBDE, ...) dans la poussière intérieure a été associée à la rhinite allergique et à l'asthme chez les personnes exposées.

Les principales sources par polluant mises en évidence sont :

-PM : phénomènes de combustion (cuisine, chauffage), occupation et mouvements dans la pièce, utilisation de produits cosmétiques ou de nettoyage, utilisation de magnésie dans les salles de gym, imprimantes laser et soins dentaires.

-NO₂ : surfaceuses dans les patinoires couvertes et installations fonctionnant au gaz

-COV : peintures, colles, vernis, vinyles, meubles en bois et produits de nettoyage.

-HAP : phénomènes de combustion, en particulier du charbon bitumineux.

-PCB : peintures et joints d'étanchéité.

-retardateurs de flamme : matériel électronique, mobilier, peintures et textiles.

Conclusion : les directives OMS semblent suffire, lorsqu'elles sont respectées, à prévenir les effets néfastes de la pollution de l'air intérieur sur la santé respiratoire concernant les PM, le NO₂ et les bactéries. Néanmoins, ces directives nécessiteraient une adaptation spécifiques aux populations adultes à risque telles que les personnes âgées ou celles souffrant de pathologies respiratoires, notamment concernant le NO₂ et les PM. Ces directives nécessiteraient également une adaptation spécifique aux populations plus exposées à certains polluants intérieurs comme le personnel des piscines exposé au trichloramine. De plus, plusieurs polluants (comme les PM1 et PM0.1, PCB, retardateurs de flamme, ...) de l'air intérieur n'ont pas de concentration cible préconisée, malgré des effets démontrés sur la santé respiratoire.

Mots-clés : indoor, air pollution, respiratory tract disease

Sommaire

• Introduction.....	4
• Méthodologie.....	7
• Résultats	
• Matière particulaire (PM).....	9
• Gaz.....	15
• Dioxyde d'azote	15
• Monoxyde de carbone.....	16
• Dioxyde de carbone.....	17
• Radon.....	17
• Composés organiques volatils (COV).....	17
• Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).....	20
• Polychlorobiphényles (PCB).....	21
• Retardateurs de flamme – Organophosphorés, PBDE,	21
• Pesticides/détergents.....	21
• Microbiote	22
• Bactéries.....	22
• Moisissures/Champignons.....	24
• Discussion.....	27
• Conclusion.....	31
• Annexes	
• Bibliographie.....	i-xi
• Tableau de classification des pays selon IDH 2014 très haut-haut.....	xii-xiii
• Détails des études associant les PM à des effets sur la santé respiratoire.....	xiv-xvi

Introduction

La pollution de l'air est connue depuis de nombreuses années pour affecter notre système respiratoire, quel que soit notre âge et avait abouti déjà en 1987 aux premières directives de l'OMS concernant la qualité de l'air, mises à jour en 2000 (1), puis en 2005 (2), ainsi qu'à la mise en place de contrôles de la qualité de l'air extérieur dans de nombreux pays européens comme la Suisse dès 1979 avec le projet NABEL (Réseau national d'observation des polluants atmosphériques) (3).

Le risque que la population soit confrontée à la pollution de l'air est d'autant plus grand lorsque, dans un environnement bâti, c'est l'air intérieur qui est pollué. En effet, dans un espace clos (salle de classe, bureau, supermarché, ...) l'air a tendance à stagner et donc les polluants à s'accumuler, ce qui augmente le risque d'exposer les gens qui y évoluent à des concentrations et des durées délétères pour leur santé.

Concernant la pollution de l'air intérieur, la plupart des concentrations cibles actuelles sont basées sur les directives établies précédemment pour la pollution de l'air extérieur (4). La pollution de l'environnement intérieur a donc tout d'abord été pensé principalement comme un lieu d'accumulation potentielle des polluants d'origine extérieure. Pour cette raison, il est important de mettre en rapport les concentrations des polluants dans l'air extérieur et intérieur. Une concentration intérieure significativement plus élevée que celle extérieure signe la présence d'une source de pollution de l'air interne à l'environnement bâti.

Ces dernières années, le nombre grandissant d'études s'intéressant aux polluants présents dans l'air intérieur a permis de mettre en évidence des sources et des polluants spécifiques à l'environnement intérieur, notamment les combustibles utilisés pour chauffer ou cuisiner (5).

Comme beaucoup d'études mettent en lien soit les facteurs de la pollution avec des environnements bâtis spécifiques, soit les pathologies ou symptômes respiratoires avec les environnements bâtis, il est intéressant de se demander s'il n'est pas possible de recouper ces différentes études afin de mettre en relation des facteurs de pollution avec des atteintes du système respiratoire.

De plus, le focus sur la population adulte et celle des retraités semble plus innovateur et diversifié pour trois raisons :

- une abondante littérature existe concernant les enfants et ceux-ci évoluent principalement dans deux environnements spécifiques que sont le domicile et l'école
- la population adulte est exposée à une grande variété d'environnements intérieurs, par le biais du travail notamment
- la population des retraités représente un poids démographique grandissant dans les sociétés occidentales. Les personnes âgées ont une santé plus fragile et la littérature les concernant est plus limitée

Les principaux polluants faisant l'objet d'études dans l'air intérieur sont :

La matière particulaire (PM)

La matière particulaire est un polluant de l'air, mélange de particules solides et liquides en suspension dans l'air, variant en taille, composition et origine (6). La classification la plus couramment utilisée est celle selon la taille des particules. On distingue généralement quatre tailles différentes dans l'ordre décroissant les PM₁₀ (<10µm), PM_{2.5} (<2.5µm particules fines), PM₁ (<1µm particules très fines) et PM_{0.1} (<0.1µm particules ultrafines/nanoparticules) en fonction de leurs propriétés aérodynamiques, notamment de pénétration des différents niveaux de l'arbre bronchique (2) :

- PM_{>10} : voies aériennes supérieures
- PM_{<10} : bronches
- PM_{<2.5} : alvéoles

- PM<1 : barrière alvéolo-capillaire

La matière particulaire est connue pour être produite principalement par tout phénomène de combustion (en particulier du combustible solide), et sa présence dans l'air est influencée par la remise en suspension des particules sédimentées (6). Ses principales sources dans l'air intérieur sont donc la cuisine et le chauffage fonctionnant au combustible solide et les mouvements occasionnés dans la pièce par exemple par les occupants. Les sources notables de particules dans l'air extérieur sont l'industrie, principalement dans les domaines de l'énergie, de la construction, de la manufacture et de la métallurgie, et les transports.

Le dioxyde d'azote (NO₂)

Le dioxyde d'azote est la forme d'oxyde d'azote anthropogénique dominante dans l'air ambiant. C'est un gaz rougeâtre à l'odeur âcre produit par la combustion de carburant ainsi que par la transformation du NO en NO₂ dans l'atmosphère. De ce fait, ses principales sources sont les véhicules et les chauffages utilisant la combustion comme source d'énergie (7,8).

Le monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone est issu de tout phénomène de combustion incomplète, quel que soit le combustible. Son affinité 200 fois plus élevée que l'oxygène pour la molécule d'hémoglobine le rend particulièrement dangereux pour la santé, même à des concentrations très faibles dans l'air, et difficile à éliminer par le corps. De plus, ses caractéristiques (inodore, incolore et non-irritatif) permettent difficilement de le détecter dans une pièce. L'intoxication au monoxyde de carbone provoque les symptômes suivant : fatigue, maux de tête, nausées, vomissements, perte de connaissance (9,10,11).

Le dioxyde de carbone (CO₂)

Le dioxyde de carbone est un gaz incolore et inodore dont les principales sources sont la combustion et la respiration. Le dioxyde de carbone représente le premier gaz à effet de serre émis par les activités humaines (12,13).

Le radon

Le radon est un gaz rare radioactif se formant naturellement dans le sol, qui peut s'accumuler dans l'air de l'environnement intérieur et qui a été prouvé comme pouvant induire un cancer des poumons chez les personnes exposées pendant de longues années (14).

Les composés organiques volatils (COV)

Les composés organiques volatils sont, comme leur nom l'indique, des composés organiques, c'est à dire contenant un atome de carbone, se trouvant facilement en suspension dans l'air. L'Union Européenne, dans la directive sur les émissions de solvants COV (15), les définit comme n'importe quel composé organique ayant un point d'ébullition inférieur ou égal à 250°C mesuré à une pression atmosphérique standard de 101.3kPa, plus précisément comme :

- «composé organique»: tout composé contenant au moins l'élément carbone et un ou plusieurs des éléments suivants: hydrogène, halogènes, oxygène, soufre, phosphore, silicium ou azote, à l'exception des oxydes de carbone et des carbonates et bicarbonates inorganiques
- «composé organique volatil (COV)»: tout composé organique ayant une pression de vapeur de 0,01 kPa ou plus à une température de 20°C ou ayant une volatilité correspondante dans les conditions d'utilisation particulières

Les composés organiques volatils sont connus pour être particulièrement présents dans les solvants, entrant dans la composition de nombreux produits tels que les peintures, les vernis, les détergents, le maquillage, etc...

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont un groupe de composés organiques avec au moins deux cycles aromatiques (benzene) condensés. Les HAP sont généralement classés en deux catégories suivant leur poids moléculaire (8) :

- bas poids moléculaire (2-3 cycles aromatiques) : ++volatils
- haut poids moléculaire (5 cycles et plus) : ++ liés aux particules, + dangereux pour la santé

Les HAP se forment lors de la combustion incomplète de matières organiques (16).

Parmi les HAP, le benzo(a)pyrène (B(a)P) est utilisé comme indicateur d'exposition totale aux HAP carcinogènes (8). Le B(a)P est le seul HAP pour lequel il existe une valeur cible de concentration dans l'air (directive européenne de 2004 : <1ng/m³).

Les polychlorobiphényles (PCB)

Les polychlorobiphényles sont composés de biphényl (C₁₂H₁₀), qui fait partie des hydrocarbures aromatiques, auquel sont attachés un nombre variable d'atomes de chlore.

Ils ont été largement utilisés pour leurs propriétés diélectriques comme isolants notamment (17,18)

Les retardateurs de flamme – composés organophosphorés, PBDE, ...

Les retardateurs de flamme sont des composés chimiques utilisés pour leurs propriétés ignifuges. Ils entrent donc dans la composition de nombreux matériaux d'intérieur tels que matériaux électroniques, mobilier, textiles, ...etc. Une des principales catégories est celle des retardateurs de flammes bromés tels les polybromodiphényléthers (PBDE) (19).

Les composés organophosphorés sont des composés organiques avec au moins un atome de phosphore lié. Ils sont utilisés notamment dans la composition de nombreux pesticides ainsi que comme retardateurs de flamme (20).

Méthodologie

La recherche de littérature a été effectuée du 1er août au 30 septembre 2015 et s'est faite à l'aide du moteur de recherche Pubmed ainsi que Web Of Science en complément. Les trois principales expressions utilisées étaient "respiratory tract diseases"[MeSH Terms], "air pollution, indoor"[majr] et "indoor air quality" auxquelles ont été associés différents termes dans le but de cibler une population ou un environnement spécifique (voir tableau 1 ci-dessous). Seuls les articles respectant les critères suivant ont été retenus : publiés après le 1er janvier 2010, en anglais, provenant d'un pays développé (selon IDH 2014 très haut-haut, cf annexe 2), n'étant pas une revue de littérature et n'ayant pas comme polluant principalement étudié la fumée de cigarette. Un total de 130 articles ont ainsi été retenus (cf Figure 1).

Tableau 1 : lexique utilisé pour la recherche de littérature

-Les termes généraux utilisés se trouvent dans la colonne de gauche (termes en italique) auxquels ont été associées les différentes expressions des colonnes deux et trois (termes en italique). Ce tableau se lit donc de gauche à droite, chaque ligne représentant une association de termes. Par exemple – ligne 1 : "*respiratory tract diseases*"[MeSH Terms] AND "*air pollution, indoor*"[majr] AND *adult** ou *work** ou *office** ou *elder** ou *retire** ou *aged** ou *older people* ou *senior**

-Les astérisques suivant les termes utilisés permettaient de rechercher simultanément tous les mots de la même famille commençant par le terme cité.

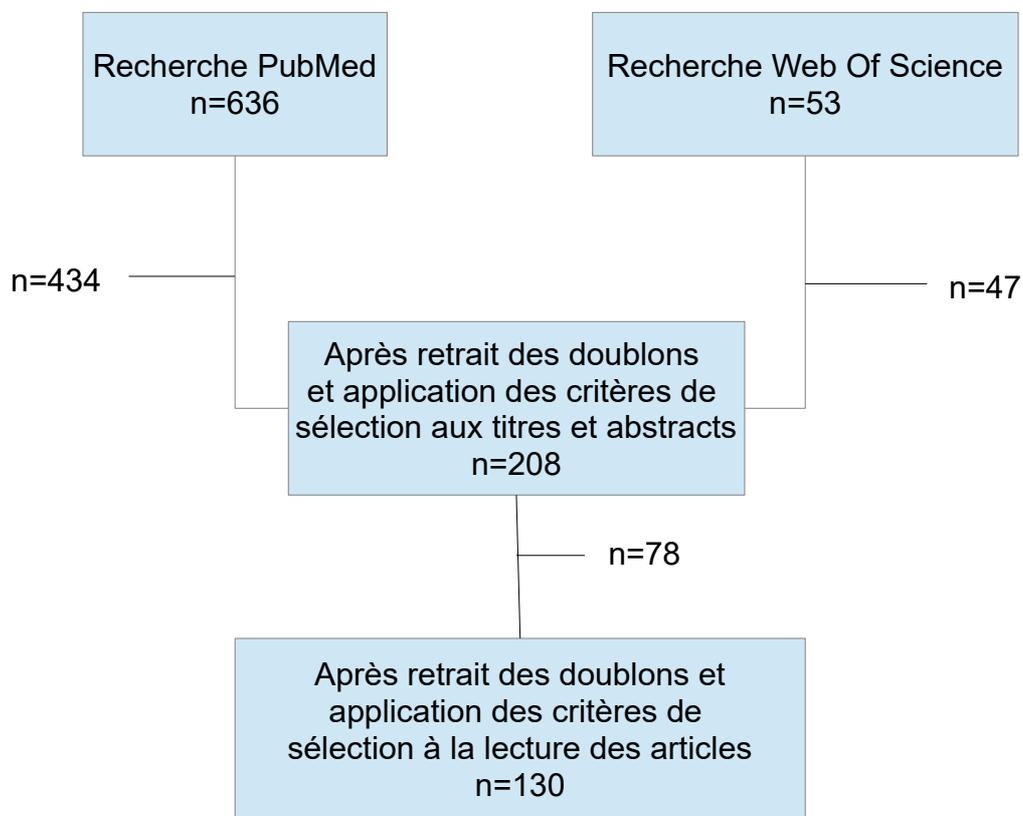
-Les chiffres suivant les différents termes correspondent au nombre d'articles sélectionnés par rapport au titre ou à l'abstract sur le nombre d'articles trouvés.

Population	Adultes	Personnes âgées
<i>"respiratory tract diseases"</i> [MeSH Terms] AND " <i>air pollution, indoor</i> "[majr] AND ...	- <i>adult*</i> -> 50/128 - <i>work*</i> -> +7/51 - <i>office*</i> -> +0	- <i>elder*</i> -> 1/4 - <i>retire*</i> -> +0 - <i>aged*</i> -> +2 (>40ans) - <i>older people</i> -> +0 - <i>senior*</i> -> +0
<i>indoor air quality</i> AND...		- <i>elder*</i> -> 12/33 - <i>retire*</i> -> 3/8 - <i>senior*</i> -> 3/7 - <i>older people</i> -> 4/36
Complément de recherche à l'aide de Web Of Science <i>indoor air quality</i> AND...		- <i>elder*</i> -> + 6/53
Environnement intérieur <i>"air pollution, indoor"</i> [majr] AND ...	- <i>office</i> -> 51/91 - <i>hospital</i> -> 6/180 - <i>fitness centers</i> -> 1/2 - <i>gym*</i> -> 4/5 - <i>swimming pool</i> -> 6/8 - <i>ice rink (AVEC ice)</i> -> 5/6 - <i>aircraft</i> -> 9/12 - <i>airport</i> -> 0/4 - <i>mall</i> -> 4/8 - <i>shop*</i> -> +6/19 - <i>store</i> -> +5/6 - <i>retail</i> -> +5/10 - <i>library</i> -> 7/13	- <i>retirement home</i> ->1/1 - <i>elderly care centers</i> -> 3/4

	-canteen -> 2/2 -cafeteria -> +1/2 -restaurant NOT smok*-> +4/13	
--	--	--

Comme, malgré les termes ciblés utilisés pour la recherche, certains articles trouvés dans une certaine catégorie correspondaient à une autre, les articles retenus ont ensuite été classés, puis analysés selon l'environnement et les polluants étudiés. Les concentrations intérieures mentionnées dans les différentes études ont été comparées aux directives internationales de pollution de l'air intérieur, principalement de l'OMS, lorsque celles-ci étaient disponibles.

Figure 1 : diagramme PRISMA représentant la sélection des articles analysés



Note Figure 1 - Rappel des critères de sélection des articles : articles publiés après le 1er janvier 2010, en anglais, provenant d'un pays développé (selon IDH 2014 très haut-haut), n'étant pas une revue de littérature et n'ayant pas comme polluant principalement étudié la fumée de cigarette.

Résultats

Note : les études mentionnées dans la partie résultats font toutes partie des études sélectionnées pour la revue de littérature à l'aide de la méthodologie décrite précédemment.

Matière particulaire (PM)

PM10 :

Les concentrations de PM10 ont été décrites dans des environnements variés, aussi bien au domicile ou en EMS (établissement médico-social) que dans des bureaux, des restaurants ou des salles de gymnastique, ...etc.

Exposition chronique (1an)

Toutes les études ayant mesuré la concentration de PM10 à domicile et en EMS (excepté (21) Almeida-Silva et al., PO, 2014 – EMS) (cf. graphiques 1-2), ainsi que les deux tiers des études portant sur des bâtiments assurant d'autres fonctions (restaurants, bâtiments médicaux, commerces, salles de sport, bureaux, ...) (cf. graphiques 3-6) font état de concentrations moyennes de PM10 supérieures aux directives de l'OMS en matière d'exposition chronique aux PM10 (<20µg/m³).

Exposition aiguë (24h)

Les directives de l'OMS en matière d'exposition aiguë (24h) aux PM10 sont de ne pas dépasser les 50µg/m³. Les études effectuées dans des pays se trouvant plus bas dans le classement IDH (notamment la Chine) mentionnent toutes des concentrations de PM10 intérieures supérieures (22, 23, 24, 25), indépendamment du type de lieu étudié.

Sources

Parmi toutes les études sur les PM10, les sources dans l'environnement intérieur de PM10 suivantes sont évoquées (en bleu les études mentionnant des concentrations en PM10 intérieures plus élevées que celles extérieures) :

- les sources de particules en lien avec la fonction même du bâtiment ou de la salle : occupation du bâtiment/mouvements - phénomène de resuspension (25, 26, 27, 28, 29, 30), salle de gym – utilisation de magnésie (27, 30), imprimante laser - impression (31, 32), magasin d'alimentation (33), cabinet dentaire en particulier durant les soins (34, 35), restaurant (35), salon de coiffure (35)
- les sources de particules en lien avec la structure du bâtiment : type/taux de ventilation (22, 28, 30, 36), filtration de l'air (23), type de combustible pour chauffer/cuisiner – combustible solide (22)
- les sources de particules en lien avec les personnes utilisant le bâtiment : fumée de cigarette (37), utilisation de désodorisants (37), hiver (24, 29, 38)

Lorsque la concentration extérieure de PM10 était mesurée concomitamment, celle-ci était similaire ou plus élevée que la concentration de PM10 intérieure dans les deux tiers des cas, ce qui évoque plutôt des sources de PM10 externes au bâtiment.

PM2.5 :

Exposition chronique (1an)

Une grande partie des études (13 études sur 16, 27 mesures sur 36) ayant mesuré les concentrations de PM2.5 à domicile ou en EMS (cf. Graphiques 1-2) ainsi que environ deux-tiers de celles effectuées dans d'autres types de bâtiments (restaurants, bâtiments médicaux, commerces, salles de sport, véhicules, bâtiments institutionnels – écoles/universités, bureaux, etc...) (cf. Graphiques 3-6) décrivent des concentrations moyennes de PM2.5 supérieures aux directives de l'OMS en matière d'exposition chronique aux PM2.5 ($<10\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Exposition aiguë (24h)

La recommandation de l'OMS en matière d'exposition aiguë (24h) aux PM2.5 ($<25\mu\text{g}/\text{m}^3$) a été dépassée dans nombre de milieux intérieurs différents tels le domicile, les bureaux ou les restaurants, ne permettant pas d'établir un type de bâtiment spécifique plus à risque de développer des concentrations en PM2.5 plus élevées (cf. graphiques 1-6).

Sources

Parmi toutes les études sur les PM2.5, les sources de PM2.5 suivantes sont évoquées (en bleu les études mentionnant des concentrations en PM2.5 intérieures plus élevées que celles extérieures) :

- les sources de particules en lien avec la fonction même du bâtiment ou de la salle : occupation du bâtiment/mouvements - phénomène de resuspension (26, 28, 30, 47), salle de gym – utilisation de magnésie (30), cuisine (33, 40, 48, 49), imprimante laser - impression (31, 32), véhicule-été (47), école-été (46), restaurant (35), salon de coiffure (35), cabinet dentaire (35)
- les sources de particules en lien avec la structure du bâtiment : type/taux de ventilation (22, 28, 30, 50), filtration de l'air (42, 43, 51, 52), type de combustible pour chauffer/cuisiner – combustible solide/carburant de biomasse (tourbe)/charbon/gaz (22, 41, 48, 53, 54)/huile/charbon (55), maison mitoyenne (50), état du domicile (50)
- les sources de particules en lien avec les personnes utilisant le bâtiment : fumée de cigarette (37, 50, 52, 55, 56), muscs – fragrances/détergents/savons (57), utilisation de désodorisants (37)

Lorsque la concentration extérieure de PM2.5 était mesurée concomitamment, celle-ci était similaire (47, 55) ou plus élevée (28, 40, 43, 45, 46, 58, 64) que la concentration de PM2.5 intérieure dans la plupart des environnements décrits, ce qui évoque plutôt des sources de PM2.5 externes au bâtiment.

PM1 :

L'OMS n'ayant pas proposé de directives spécifiques concernant les PM1 et les PM1 étant comprises dans les PM2.5, les concentrations de PM1 mesurées dans les différentes études seront commentées en regard des directives OMS pour les PM2.5.

Plus des deux tiers des études ayant mesuré les concentrations de PM1 décrivent des concentrations de PM1 supérieures aux directives de l'OMS en matière d'exposition chronique aux PM2.5 ($<10\mu\text{g}/\text{m}^3$) à l'exception de deux études effectuées en EMS (28, 58) et dortoir (58) et d'une étude en salles de gymnastique (30) sans utilisation de magnésie sous forme solide.

Sources

Parmi toutes les études sur les PM1, les sources de PM1 suivantes sont évoquées :

- les sources de particules en lien avec la fonction même du bâtiment ou de la salle : occupation du bâtiment/mouvements - phénomène de resuspension (28), cuisine (33), soins dentaires (34), imprimante - impression (32)
- les sources de particules en lien avec la structure du bâtiment : type/taux de ventilation (28, 22, 30), type de combustible pour chauffer/cuisiner – combustible solide (22), filtration de l'air (23)
- les sources de particules en lien avec les personnes utilisant le bâtiment : nettoyage (33), bougies (32)

Lorsque la concentration extérieure de PM1 était mesurée concomitamment, celle-ci était plus élevée que la concentration de PM1 intérieure (excepté 28-EMS-chambre), ce qui évoque plutôt des sources de PM1 externes au bâtiment.

PM0.1 :

Les concentrations moyennes de PM0.1 mesurées dans les différentes études vont de 2300 à 57600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

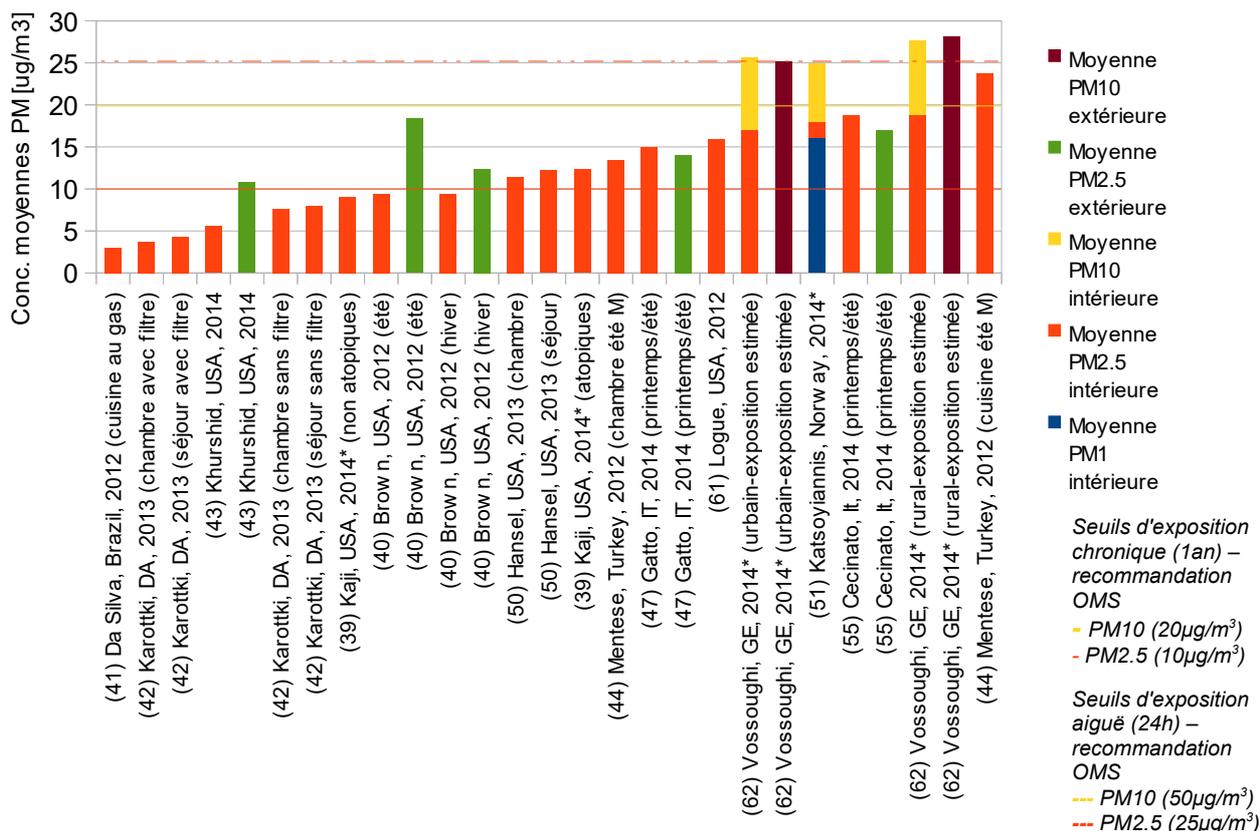
Les sources de PM0.1 évoquées sont en lien avec la fonction même du bâtiment ou de la salle : patinoire – surfaceuse (en particulier si ancienne) (59), occupation du bâtiment/mouvements - phénomène de resuspension (60, 25), cabinet dentaire en particulier durant les soins (34, 35), imprimante - impression (31), restaurant (35), salon de coiffure (35)

Note pour les graphiques :

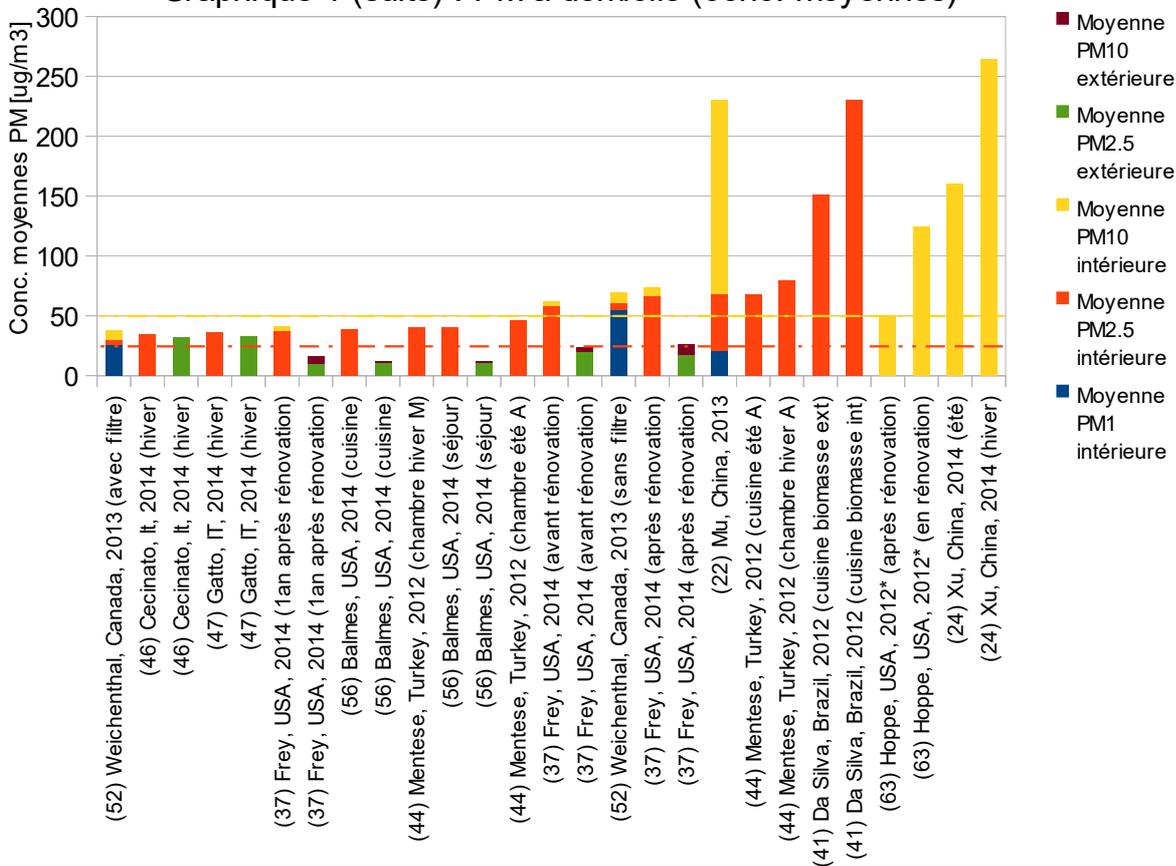
-les références marquées d'une astérisque désignent des valeurs médianes de concentrations de particules et non les moyennes (celles-ci n'étant pas mentionnées dans l'article)

-les références marquées d'une double astérisque désignent des valeurs calculées ou estimées sur des graphiques, les valeurs brutes n'étant pas disponibles

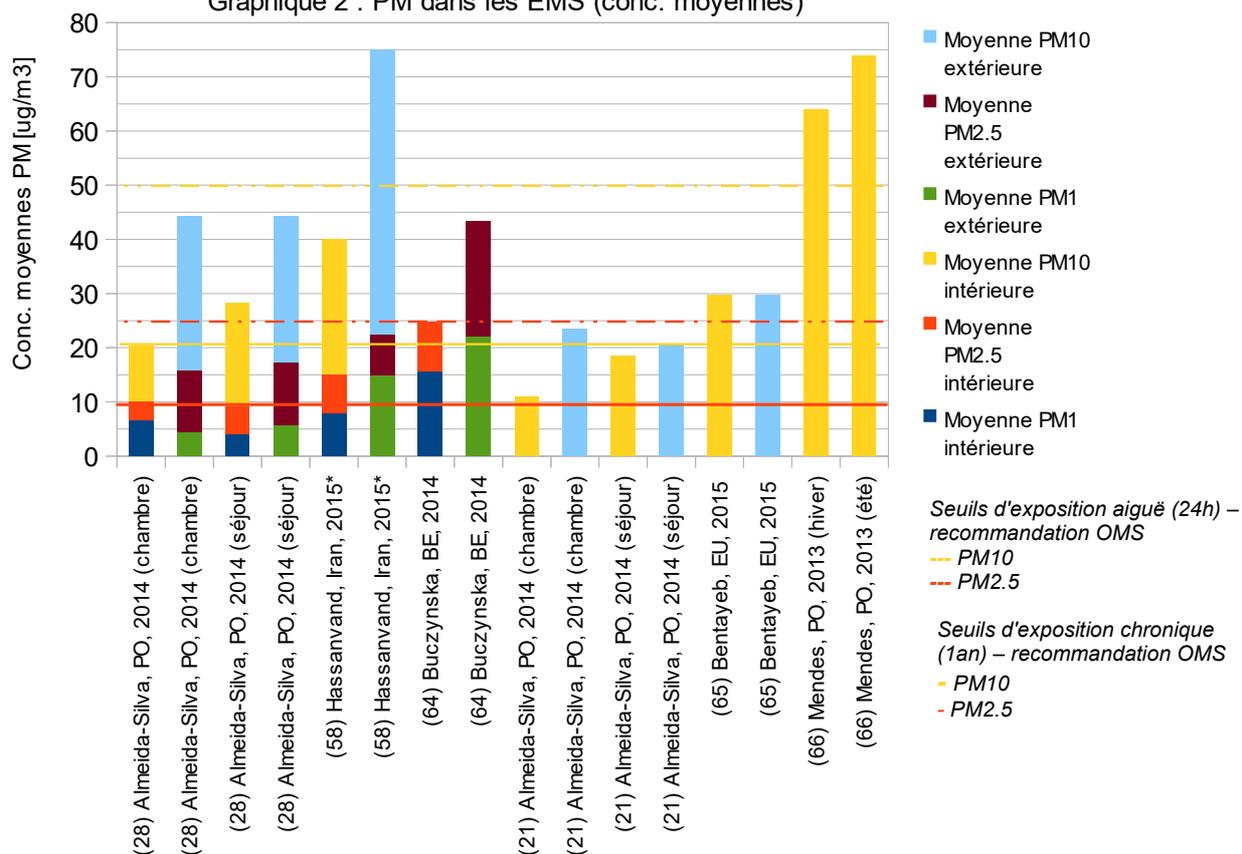
Graphique 1 : PM à domicile (conc. moyennes)



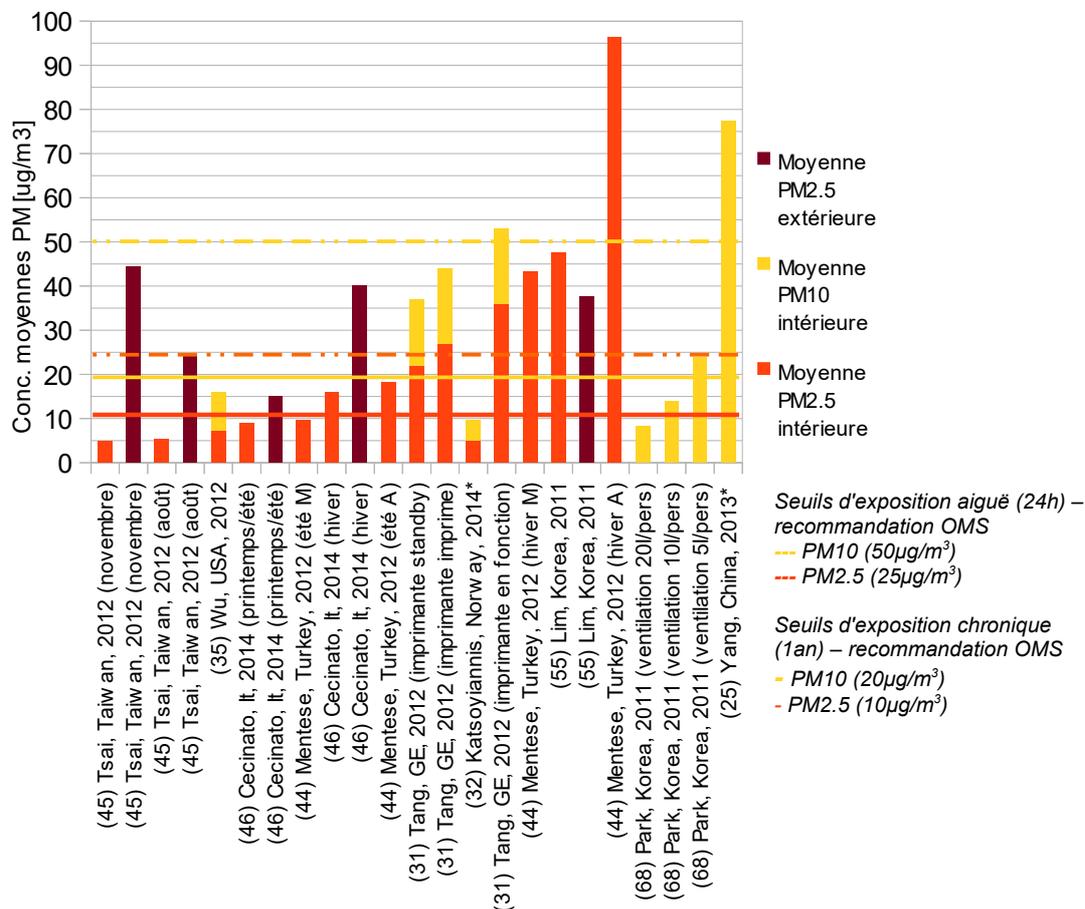
Graphique 1 (suite) : PM à domicile (conc. moyennes)



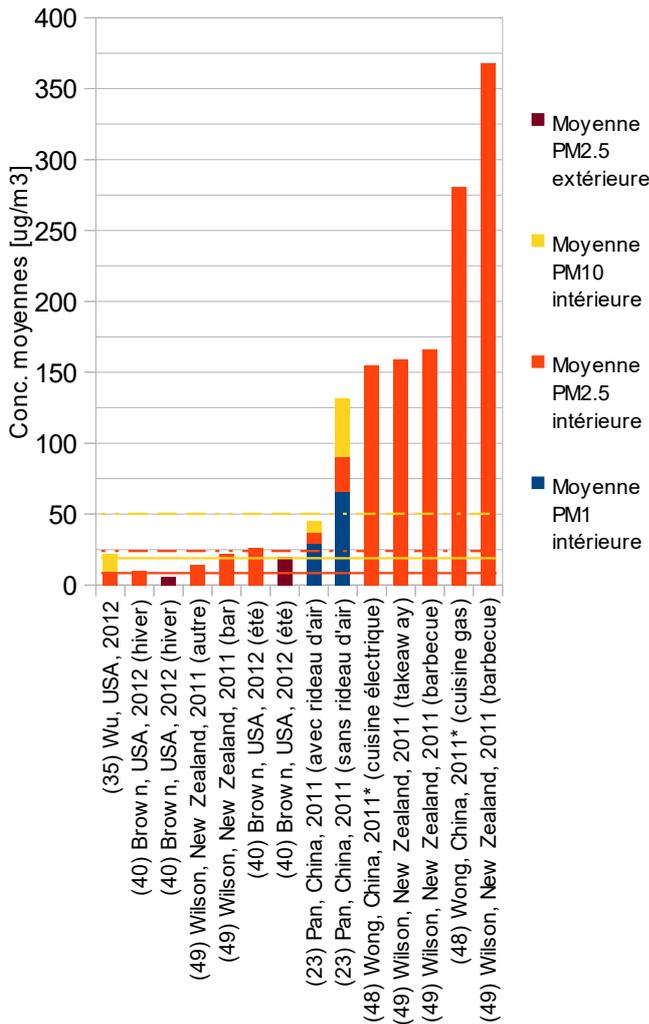
Graphique 2 : PM dans les EMS (conc. moyennes)



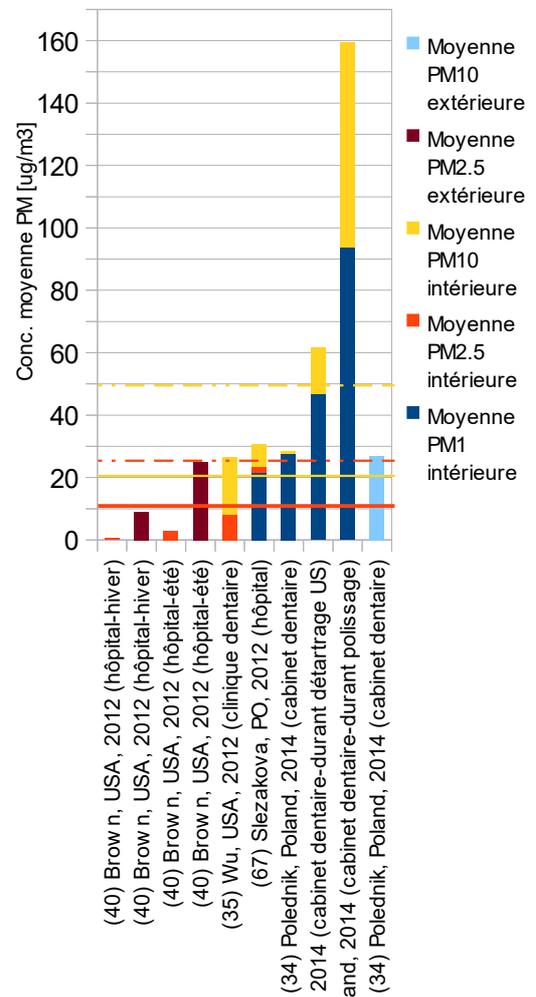
Graphique 3 : PM dans les bureaux (conc. moyennes)



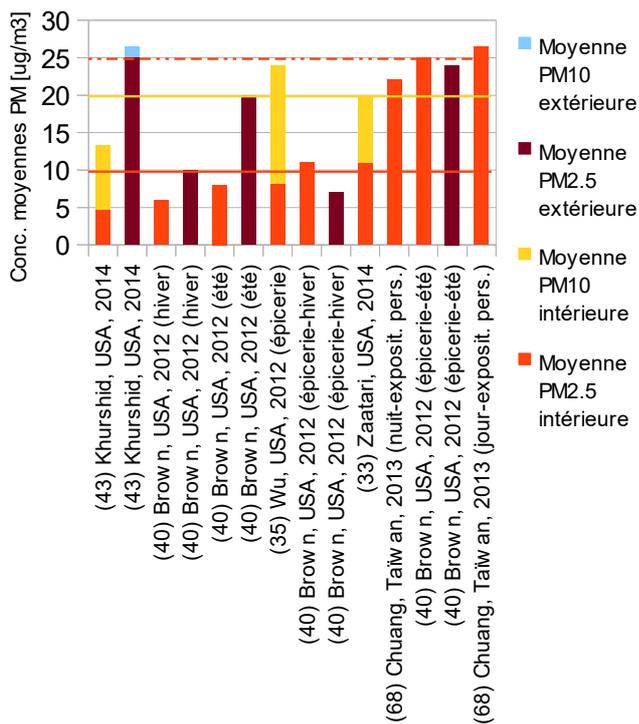
Graphique 4 : PM dans les restaurants (conc. moyennes)



Graphique 5 : PM dans les hôpitaux/cliniques (conc. moyennes)



Graphique 6 : PM dans les commerces (conc. moyennes)



Du point de vue des effets sur la santé respiratoire, les PM ont été associées (*note : en bleu italique, les concentrations moyennes/médianes minimales dans l'air intérieur associées (lorsque celles-ci étaient disponibles) et les spécificités de la population incriminée*)

- aux symptômes suivants :
 - PM10 : dyspnée/toux (*pers. de >65ans - 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (65), toux (*popul. avec eczéma - 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (69), respiration sifflante (*78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (63), enrrouement/gorge sèche/rhinite (*popul. avec eczéma - 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (69)
 - PM2.5 : symptômes non précisés (*pers. de >40ans avec BPCO - 12.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (*pers. de <55ans avec asthme et rhinite - 9.5-11.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (50, 56), dyspnée/toux/respiration sifflante (*pers. atopiques de >40ans avec BPCO - 12.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (*151.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (39, 41), sputum (*pers. atopiques de >40ans avec BPCO - 12.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (39)
 - PM0.1/PM1 : respiration sifflante (*pers. de >65ans - 11'000pt/cm³*) (65)
- aux signes suivants :
 - PM10 : FEV1 et PEFr diminué (*69.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (52), LTB4 (*femmes de 74ans - 26.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (62), altération des fonctions macrophagiques (70)
 - PM2.5 : FEV1 diminué (*61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (*femmes avec asthme et rhinite - 11.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (41, 52, 53, 56), obstruction des voies aériennes – FEV1/FVC diminué (*151.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (41, 53), FVC diminué (*543.2counts/min*) (53), PEFr diminué (*61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (52, 53), LTB4/dérivésNO/TNF α (*femmes de 74ans - 17.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (62)
 - PM0.1/PM1 : FEV1 et PEFr diminué (*54.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (52), obstruction des voies aériennes – FEV1/FVC diminué (*pers. de >65ans - 11'000pt/cm³*) (65)
- aux pathologies suivantes :
 - PM10 : infections des voies respiratoires supérieures (*2000pt/L*) (51), allergies (*78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (63)
 - PM2.5 : risque cancérigène calculé augmenté (71), bronchite chronique (*15.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (61)
 - PM0.1/PM1 : cancer du poumon (*femmes non-fumeuses - 60-80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$*) (22)

Lorsque les concentrations en PM associées aux effets sur la santé respiratoire sont mentionnées, celles-ci sont supérieures aux recommandations de l'OMS (cf annexe 3) à l'exception de deux études ciblant des population potentiellement plus vulnérables (56, 69).

Une étude fait état de symptômes plus importants chez les personnes de plus de 80 ans comparées aux personnes de plus de 65 ans, les deux populations étant exposées à des concentrations en particules dans l'air intérieur similaires (65).

Une étude associe l'exposition aux PM10 à plusieurs symptômes respiratoires (69 - voir ci-dessus) chez des personnes souffrant d'eczéma, malgré une concentration intérieure moyenne de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, inférieure à la directive de l'OMS en matière d'exposition chronique.

Une étude associe l'exposition aux PM2.5 à une augmentation de symptômes respiratoires (56) chez des personnes de moins de 55 ans souffrant d'asthme et de rhinite, pour des concentrations intérieures moyennes de 9.5-11.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, à la limite de la directive de l'OMS en matière d'exposition chronique.

Gaz

Dioxyde d'azote

Exposition aiguë (1h) :

La recherche de littérature a mis en évidence trois articles faisant état d'une exposition aiguë au dioxyde d'azote sous la forme de « case report » (72,73,74).

Les principaux symptômes d'intoxication au NO₂ retrouvés dans les trois cas étaient : toux, hémoptysie, dyspnée et douleur thoracique.

Dans les trois cas, l'environnement incriminé était une patinoire couverte et la source productrice de NO₂ la surfaceuse utilisée pour lisser la glace. De plus, deux des trois patinoires avaient une ventilation insuffisante (73,74).

Dans les deux études où des concentrations de NO₂ ont été mesurées (73,74), celles-ci étaient largement supérieures aux directives de l'OMS (<200µg/m³).

Exposition chronique (1an) :

Quatre études ont regardé l'exposition chronique au NO₂ et ses effets au domicile de populations potentiellement plus vulnérables (>40ans (50,39), >65ans (65) et >68ans (62), souffrant de BPCO (50,39) et atopiques (39)).

Malgré des concentrations moyennes inférieures aux directives de l'OMS (<40µg/m³), une concentration de NO₂ plus élevée a été associée à une dyspnée augmentée chez les personnes âgées (65 : valeurs supérieures à la médiane estimée sur graph : 19µg/m³) et les patients BPCO (50 : augmentation de 20ppb=38.8µg/m³ de NO₂) et à un risque augmenté de toux chez les personnes âgées (65 : valeurs supérieures à la médiane estimée sur graph : 19µg/m³) et les patients BPCO atopiques (39 : augmentation de 20ppb=38.8µg/m³ de NO₂). De même, une concentration plus élevée de NO₂ a été corrélée à une présence augmentée de marqueurs inflammatoires (Leucotriènes B4, TNFa et dérivés de NO) dans le sputum et le condensat d'air expiré de femmes âgées (62 : augmentation de 9.42 µg/m³ de NO₂). Au niveau de la fonction respiratoire, une concentration plus élevée de NO₂ a été associée à un rapport de Tiffenau (FEV1/FVC) inférieur à 70% et à une diminution du eNO (65).

Enfin, deux études ont évalué l'exposition au NO₂ dans des lieux publics spécifiques : restaurants, cafés et magasins.

Dans les trois types d'environnements testés, les moyennes des concentrations de NO₂ sont supérieures aux directives de l'OMS pour l'exposition chronique (<40µg/m³). Les lieux concernés se situant en Asie (Chine et Corée), les résultats mettent en avant une fois de plus le niveau de pollution plus important de ces pays comparés à l'Europe et aux États-Unis (8).

Les restaurants possédant des installations fonctionnant au gaz (cuisinières, réchauds) ont montré une concentration en NO₂ moyenne nettement plus élevée que les autres (48,75), allant jusqu'à quasiment 2x celles des restaurants possédant des cuisinières électriques (48). Les employés des restaurants avec cuisinières à gaz ont montré des fonctions pulmonaires diminuées avec un FEV1 et un FVC plus petits (48).

Monoxyde de carbone

Les sources évoquées dans les différents articles sont

- les sources de CO en lien avec la fonction même du bâtiment ou de la salle : surfaceuse (59) - fonctionnant au carburant fossile (72)/à l'essence (76)/au carburant organique (76), cuisine (32)
- les sources de CO en lien avec la structure du bâtiment : combustion de gaz - chauffage (66)/cuisine (48)

Du point de vue des effets sur la santé, le CO a été associé aux symptômes suivants : vertiges (76), fatigue (76), céphalées (76) pour une concentration de CO dans l'air intérieur supérieure à 116 ppm (=143mg/m³), largement supérieure aux valeurs guides de l'OMS (15min : <100mg/m³, 1h : <35mg/m³, 24h : <7mg/m³).

Dioxyde de carbone

Les sources évoquées dans les différents articles sont

- les sources de CO₂ en lien avec la fonction même du bâtiment ou de la salle : taux d'occupation de la salle (77)
- les sources de CO₂ en lien avec la structure du bâtiment : ventilation (78)

Du point de vue des effets sur la santé respiratoire, le CO₂ a été associé aux symptômes suivants : dyspnée (65), toux (65) chez des personnes de plus de 65 ans avec un effet plus prononcé sur les personnes de plus de 80 ans. Ces symptômes ont été observés pour des concentrations intérieures de CO₂ ne dépassant pas les 1000 ppm (valeur d'exposition limite recommandée par l'agence américaine de protection de l'environnement (EPA)) et pour des concentrations en CO₂ intérieures supérieures à la médiane dont la valeur n'est malheureusement pas citée dans l'article.

Radon

L'exposition au radon a été corrélée à l'incidence du cancer du poumon, le risque dépendant principalement de l'exposition dans les dernières 5-19 années (79). Jusqu'à 20% de la mortalité due au cancer du poumon a été avancée comme ayant un lien avec l'exposition au radon dans certaines régions (80). Certaines mutations génétiques pourraient, associées à l'exposition au radon, potentialiser le risque de cancer (81).

Concernant les sources évoquées, une concentration en radon plus élevée a été mesurée dans les étages inférieurs du bâtiment (82). Deux des trois études mentionnant des concentrations intérieures moyennes font état de concentrations supérieures à la directive de l'OMS de ne pas dépasser les 100Bq/m³ (voir tableau 2 ci-dessous).

(79) Tomasek, Czech, 2012 (domicile)	448
(80) Veloso, PO, 2012 (domicile)	83.1
(82) Alkan, Turkey, 2014 (université)	161

Composés organiques volatils (COV)

Exposition aux COV totaux

Les concentrations moyennes de COV totales lorsqu'elles étaient mesurées étaient supérieures aux directives OMS proposées (<200µg/m³) dans des environnements intérieurs très variés (domicile (32, 44-hiver), EMS (28), gym (32), laboratoire (32, 83), salle de bain (32), salle de séminaire (83), bibliothèque (83), avion (84), jardin d'enfant/école (44)). De ce fait, il n'a pas été possible de mettre en évidence un lien entre un usage particulier d'un environnement bâti et une plus grande concentration en COV (cf. Graphiques 7-8). Il en est de même concernant les pays dans lesquels ont été effectuées les différentes études avec néanmoins une étude turque faisant état de concentrations intérieures dépassant les 1000µg/m³, ce qui constitue un écart conséquent par rapport aux autres études.

Composition des COV

Lorsque l'on considère les principales sous-catégories de COV (hydrocarbures halogénés, aldéhydes, terpènes, hydrocarbures aromatiques), on remarque que les terpènes représentent une part importante des COV totaux, particulièrement au domicile et dans la salle de bain. Néanmoins,

une seule étude permet de faire cette constatation, les autres n'ayant pas effectué de mesure de l'ensemble des principales sous-catégories de COV. Il est à noter qu'il n'existe aucune valeur de référence concernant la concentration seuil de terpènes à ne pas dépasser dans l'air intérieur.

Toutes les études ayant mesuré la concentration de formaldéhyde (28, 65, 66, 78, 85-87), de naphthalène (32, 86), de trichloroéthylène (78, 85, 86), et de tetrachloroéthylène (78, 84-86) se situent en dessous de la directive OMS (formaldéhyde $100\mu\text{g}/\text{m}^3$, naphthalène $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, trichloroéthylène $23\mu\text{g}/\text{m}^3$, tetrachloroéthylène $250\mu\text{g}/\text{m}^3$) à l'exception d'une étude effectuée en Chine (87-domicile-cuisine).

La plupart des études ayant mesuré la concentration de benzène (32, 44, 78, 85, 86, 88) se trouvent au-dessus de la directive OMS ($1.7\mu\text{g}/\text{m}^3$) à l'exception de deux études (44-travail/domicile-été, 86-commerces).

Concernant les autres polluants faisant partie des COV, l'OMS ne donne pas de valeur de référence. Cependant, si l'on considère les valeurs proposées par l'index européen (89), l'acétaldéhyde ($200\mu\text{g}/\text{m}^3$) (78, 85, 86), les xylènes (aigu : $20\text{mg}/\text{m}^3$, chronique : $200\mu\text{g}/\text{m}^3$) (32, 44, 78, 85, 86, 88), le toluène (aigu : $15\text{mg}/\text{m}^3$, chronique : $300\mu\text{g}/\text{m}^3$) (32, 44, 78, 85, 86, 88) et le styrène (aigu : $2000\mu\text{g}/\text{m}^3$, chronique : $250\mu\text{g}/\text{m}^3$) (78, 85, 86, 88) sont largement inférieurs aux valeurs proposées. Il en est de même concernant la valeur de référence proposée par l'OSHA (Occupational Safety and Health Administration) pour le 1,4-dichlorobenzène ($450\text{mg}/\text{m}^3$).

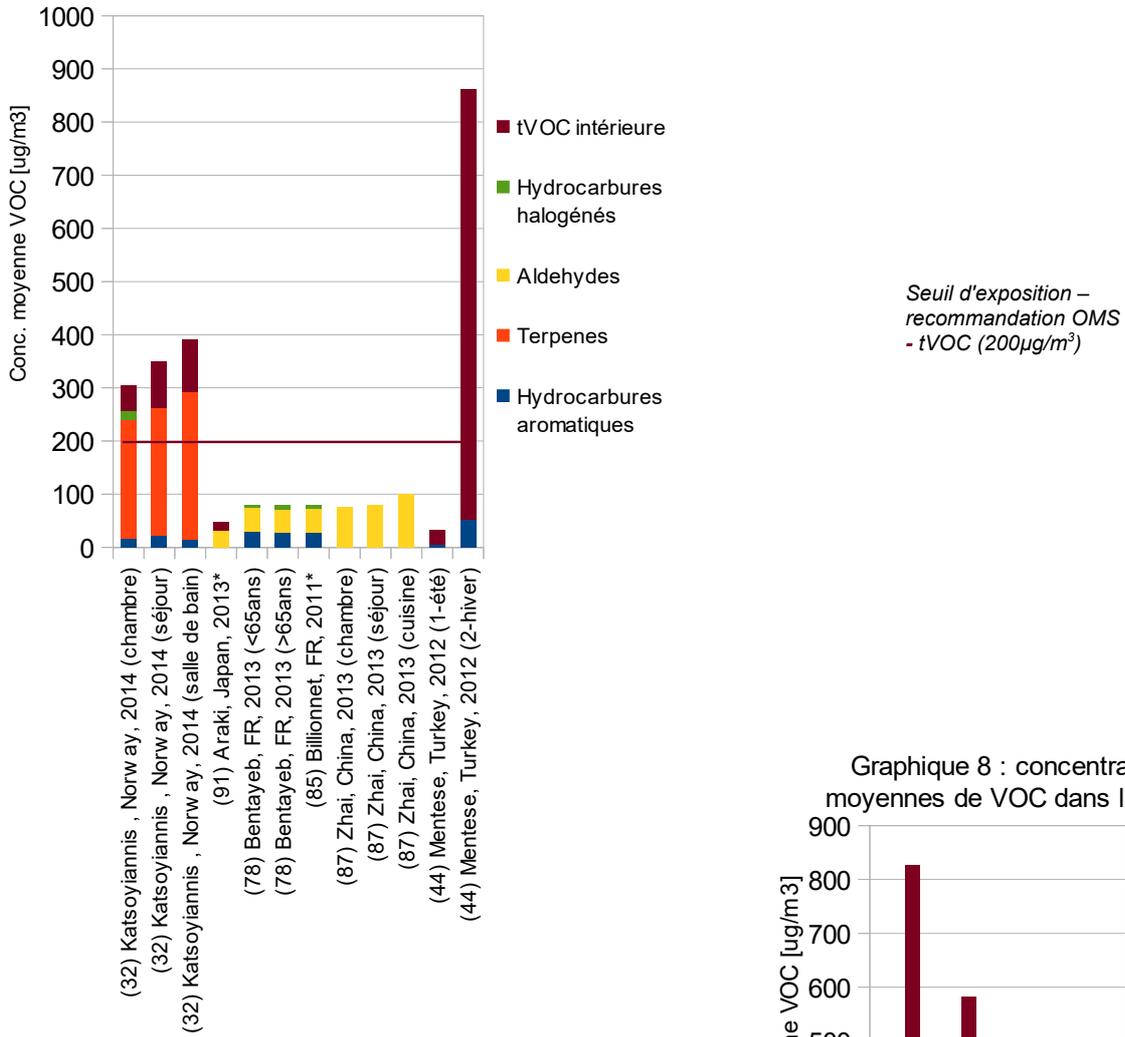
Les sources évoquées dans les différents articles sont

- les sources de COV en lien avec la fonction même du bâtiment ou de la salle : mobilier (66, 28), dissection - éthanol (83),
- les sources de COV en lien avec la structure du bâtiment : matériel de construction (66) – à base de bois (32, 37), ventilation (88), peintures (28) - murs et plafonds (32), adhésifs/colle/vernis (28)
- les sources de COV en lien avec les personnes utilisant le bâtiment : produits de nettoyage (28, 32, 44, 66, 88, 90), produits cosmétiques (32, 66), désodorisant (32, 37), insecticide (37), combustion (32) – bougies/encens (37) - gaz (48) - vapeurs de cuisson (37), boules anti-mites (32), vinyle (28, 32)

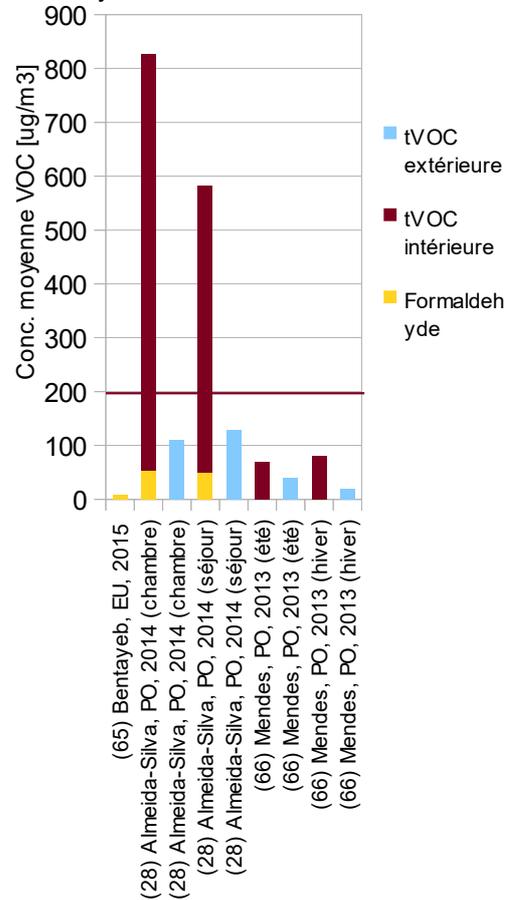
Du point de vue des effets sur la santé respiratoire, une étude associe indirectement les COV à des effets sur la santé respiratoire (voir tableau 3 ci-dessous). Les concentrations correspondantes dans l'air intérieur ont malheureusement été données en [ppb] et non en [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], ne permettant pas de les comparer aux valeurs guides de l'OMS.

<i>Tableau 3 : détails de l'étude associant indirectement les VOC et la santé respiratoire</i>	
(48) Wong, China, 2011	<p><i>Caractéristiques de la population étudiée : cuisiniers, ~40ans de moyenne d'âge, ~87% d'hommes</i></p> <p>La concentration en tVOC médiane était plus élevée dans les cuisines fonctionnant au gaz par rapport à celles fonctionnant à l'électricité, mais de façon non significative (p=0.056)</p> <p>-cuisines fonctionnant au gaz : 402 ppb -cuisines fonctionnant à l'électricité : 226 ppb.</p> <p>Les cuisiniers travaillant dans les cuisines fonctionnant au gaz ont rapporté plus de</p> <p>-glaires (OR=2.70, 95% CI 1.01-7.23) -toux, respiration sifflante, odynophagie (valeurs non significatives) que les cuisiniers travaillant dans les cuisines fonctionnant à l'électricité</p> <p>De même, ils ont montré un FEV1 diminué (p=0.017) et un FVC diminué (p=0.038, valeur non-significative)</p>

Graphique 7 :
Concentrations moyennes de VOC au domicile



Graphique 8 : concentrations moyennes de VOC dans les EMS



Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

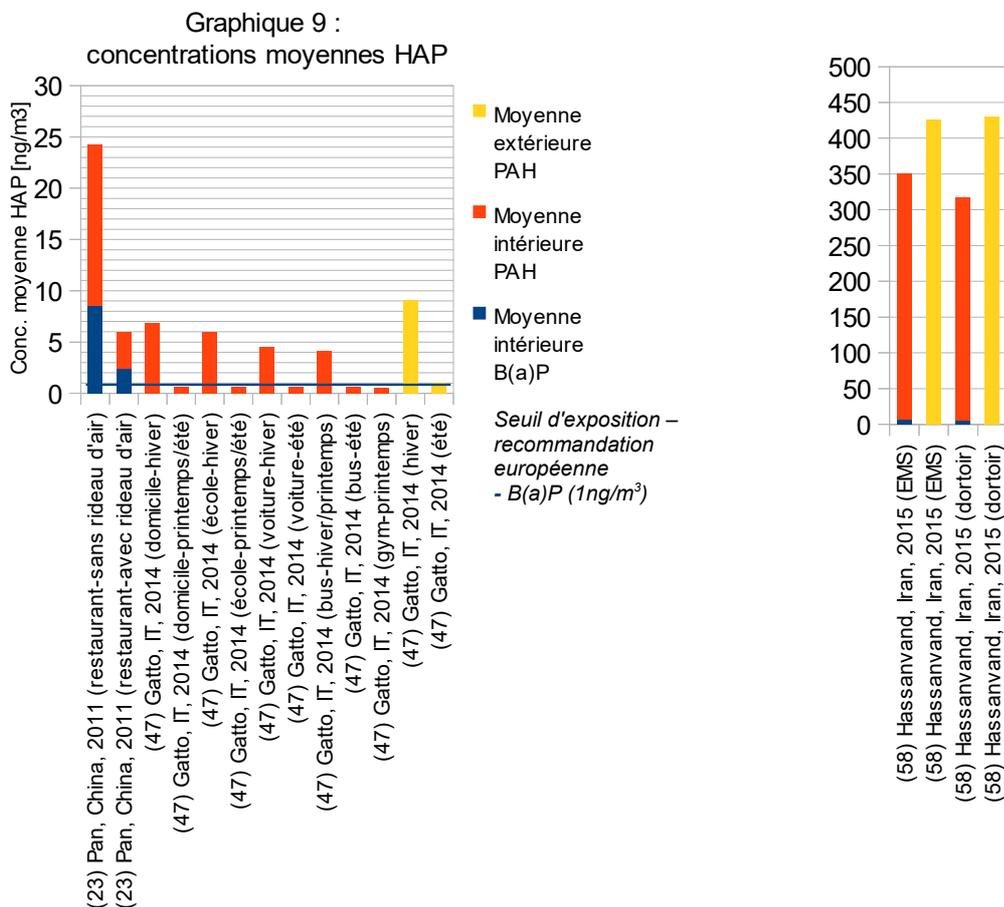
Trois études ont examiné la concentration de HAP dans des milieux intérieurs, dont deux (23, 58) ont mesuré la concentration de B(a)P (cf. Graphique 9) qui s'est révélée supérieure à la valeur cible mentionnée précédemment dans l'introduction ($<1\text{ng/m}^3$). La troisième étude (47), malgré le fait que la concentration en B(a)P n'ait pas été mesurée, fait état de concentrations en HAP inférieures à 1ng/m^3 en été.

Une étude (58) a étudié les HAP liés aux PM et trouve 83-88% des HAP liés aux PM_{2.5}, avec un taux de HAP carcinogène 2 fois plus élevé que dans les PM₁₀.

La concentration de HAP dans la poussière déposée a été corrélée à l'âge du domicile (93).

Les sources de HAP évoquées dans les différents articles sont les phénomènes de combustion (58), plus précisément du charbon bitumineux (94) tels que le trafic, en particulier des véhicules diesel (47), le chauffage (58) et la fumée de cigarette (47, 93).

Du point de vue des effets sur la santé, les HAP ont été associés à un risque cancérigène (93-in vitro). Malheureusement, les concentrations de HAP associées ne sont pas mentionnées dans l'article.



Polychlorobiphényles (PCB)

Les sources évoquées dans les quatre articles sont les masses d'étanchéité des joints durablement élastiques (95), les peintures (96) et plus globalement les matériaux de construction (96). Deux études ont mesuré la concentration de PCB dans l'air intérieur (95, 97) et font état de concentrations similaires (8-14ng/m³). Deux études ont mesuré la concentration de PCB dans la poussière dans les filtres du système d'aération (98, 96). Une étude (97) montre une association entre la concentration de PCB dans l'air intérieur et celle dans le sérum, en particulier pour les PCB 28 et 105 avec comme facteur important la durée d'exposition.

Retardateurs de flamme – Organophosphorés, PBDE, ...

Les sources évoquées dans les différents articles sont

- les sources de retardateurs de flamme en lien avec la fonction même du bâtiment ou de la salle : matériel électronique (99, 95, 100) - téléviseur (101), canapé (101),
- les sources de retardateurs de flamme en lien avec la structure du bâtiment : tapis (101, 95, 102), ventilation (103, 100), construction/aménagement récent – meubles/peinture neufs (25, 95, 104, 105, 102)
- les sources de retardateurs de flamme en lien avec les personnes utilisant le bâtiment : habits et chaussures d'extérieur (102)

Du point de vue des effets sur la santé respiratoire, la présence de retardateurs de flamme dans la poussière intérieure a été associée à la rhinite allergique (106-phthalates, 91-retardateurs de flamme phosphorés) et à l'asthme (106-phthalates, 91-retardateurs de flamme phosphorés) avec un effet plus prononcé chez les jeunes de moins de 15 ans par rapport aux autres tranches d'âges.

Plus précisément parmi les retardateurs de flamme phosphorés, la présence de tributylphosphate dans la poussière intérieure a été associée à l'asthme et à la rhinite allergique pour des concentrations médianes dans la poussière intérieure de 1.03 et 1.15 µg/g.

Plus précisément parmi les phthalates, le Di-iso-butyl phthalate et le Di-n-butyl phthalate dans la poussière intérieure ont été associés à l'asthme pour des concentrations supérieures à 5.5 et 51.2 µg/g respectivement. La présence de Di-méthyl phthalate dans la poussière intérieure a été associée à la rhinite allergique.

Pesticides/détergents

Les sources évoquées dans les différents articles sont

- les sources de pesticides/détergents en lien avec la fonction même du bâtiment ou de la salle : piscine (107-109), avion (110, 111)
- les sources de pesticides/détergents en lien avec les personnes utilisant le bâtiment : nettoyage (112, 113, 90)

Du point de vue des effets sur la santé respiratoire, les détergents/pesticides ont été associés (voir détails dans le tableau 4 ci-dessous)

- aux symptômes suivants :
 - toux (112, 109), dyspnée (112, 110)
- aux signes suivants :
 - angioedème (110), expectorations (109), maux de gorge (109), expiration prolongée (110), ↑ IL-6/8 (107), lésions du parenchyme pulmonaire (112)
- aux pathologies suivantes :
 - choc anaphylactique (110)

Étude	Molécule en cause	Effets sur la santé
(107) Schmalz et al., 2011	Trichloramine <i>Exposition in vitro</i>	À des concentrations supérieures à : -10mg/m ³ : augmentation de l'IL-8 -20mg/m ³ : augmentation de l'IL-6
(109) Chu et al., 2013	Trichloramine <i>valeur recommandée par l'OMS : <0.5mg/m³</i>	Toux, expectorations, maux de gorge pour des concentrations moyennes calculées de 0.0407mg/m ³
(110) Vanden Driessche et al., 2010	insecticide contenant un pyréthrianoïde, le D-phénothrine	Dyspnée, angioedème, expirium prolongé <i>aucune concentration dans l'air n'a été mesurée</i>
(112) Hong et al., 2014	Produit désinfectant pour humidificateur contenant notamment du polyhexaméthylène guanidine (113)	Dyspnée, toux, lésions du parenchyme pulmonaire <i>aucune concentration dans l'air n'a été mesurée</i>

Microbiote

Bactéries

Treize articles (63, 66, 77, 114-123) ont étudié la flore bactérienne de différents milieux intérieurs (domicile, EMS, dortoir, école/université, bibliothèque). Parmi les études ayant mesuré la concentration moyenne de CFU/m³ dans l'air ambiant, celles effectuées en EMS font état de concentrations intérieures moyennes globalement inférieures à la directive de l'OMS datant de 2010 (<500CFU/m³) à l'exception d'une ((66) Mendes – EMS-cabinet médical-hiver). Les concentrations intérieures dans les EMS se sont toutes révélées supérieures aux concentrations extérieures (66, 77, 114) (cf. Graphique 10-11).

Les sources évoquées dans les différents articles sont

- les sources de bactéries en lien avec la fonction même du bâtiment ou de la salle : salle à manger/séjour (66, 77), cantine (116), mouvements/occupation de la salle (66, 77, 116, 117, 121)
- les sources de bactéries en lien avec la structure du bâtiment : inondations (63), infiltrations (77), condensation (77), joints des fenêtres (77)
- les sources de bactéries en lien avec les personnes utilisant le bâtiment : chauffage (77), ventilation (77, 121), filtration (117)

Du point de vue des effets sur la santé respiratoire, une seule étude a corrélié, mais indirectement seulement, les bactéries à des effets sur la santé respiratoire (63) pour des concentrations moyennes dans l'air intérieur supérieures à la directive de l'OMS (voir détails dans le tableau 5 ci-dessous).

Tableau 5 : détails de l'étude corrélant indirectement la présence de bactéries à des effets sur la santé respiratoire

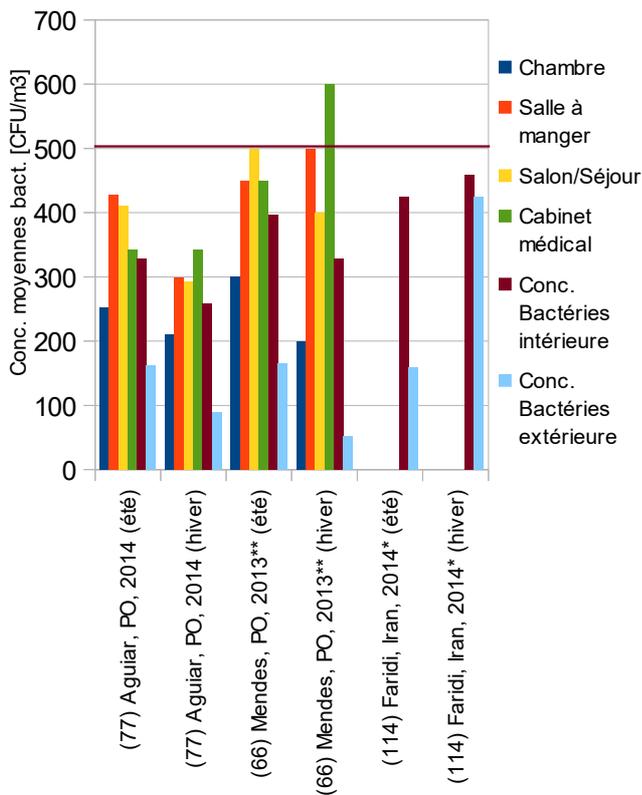
(63) Hoppe et al.,
USA, 2013

73 domiciles ayant
subit une inondation
-24 en rénovation
-49 après rénovation

-plus d'allergies (aOR=3.08, CI 1.05-9.02)
-respiration sifflante plus souvent rapportée (aOR=3.77, CI 2.06-6.92)
-plus de prescriptions médicamenteuses pour des problèmes respiratoires (aOR=1.38, CI 1.01-1.88)
chez les habitants après inondation

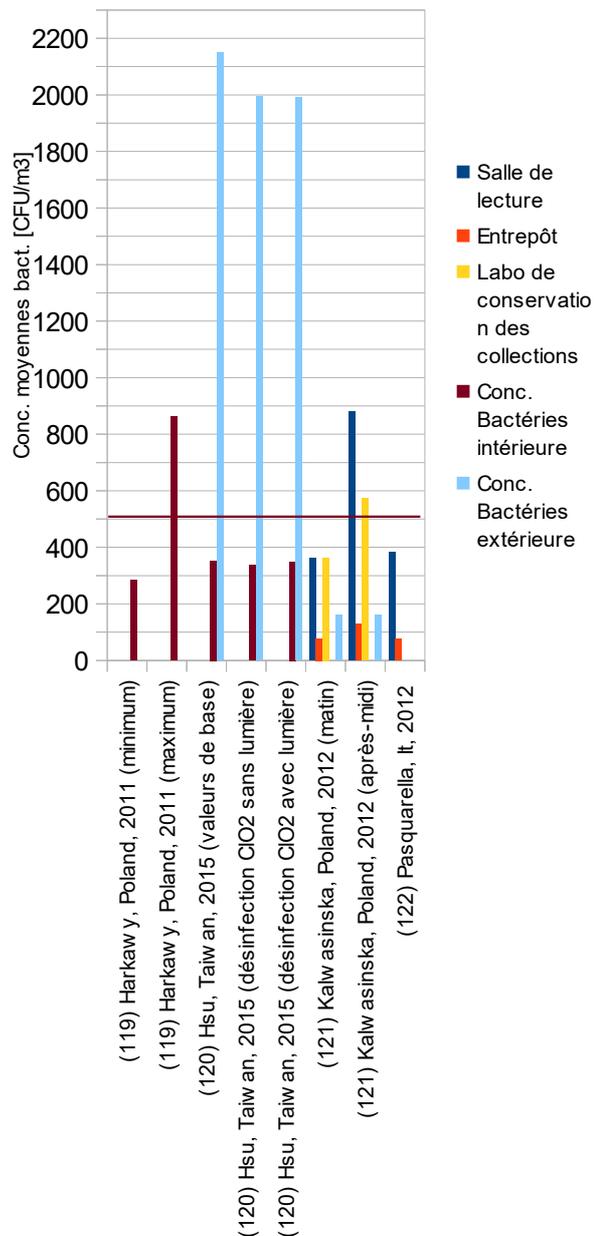
Concentration en bactéries dans l'air ambiant supérieure dans les domiciles en rénovation par rapport à ceux après rénovation
Moyennes géométriques bactéries en CFU/m³
-domiciles en rénovation : 1100
-domiciles après rénovation : 710

Graphique 10 : concentrations moyennes de bactéries dans les EMS



Seuil d'exposition – recommandation OMS
- bactéries (500CFU/m³)

Graphique 11 : concentrations moyennes de bactéries dans les bibliothèques



Moisissures/Champignons

Trente-deux études (62, 63, 66, 124, 85, 92, 77, 114, 117-122, 113, 125-141) ont étudié les champignons dans des milieux intérieurs variés (domicile, EMS, dortoir, travail, hôpital, école, garderie, bibliothèque, avion). Parmi celles ayant mesuré les concentrations intérieures moyennes, la moitié se situent au-dessus de la directive de l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) de 1999 ($<200\text{CFU}/\text{m}^3$) (cf. Graphique 12). L'OMS, dans son rapport de 2009, n'édicte volontairement pas de directive concernant les concentrations considérant la relation entre la présence de champignons, l'exposition à ceux-ci et les effets sur la santé comme non-quantifiables précisément. Dans les EMS, on remarque des concentrations globalement plus importantes en été qu'en hiver (66, 77). Les concentrations les plus élevées retrouvées dans les différentes pièces de l'EMS sont dans la salle à manger et le cabinet médical en été (66, 77) (cf. Graphique 13).

Les sources évoquées dans les différents articles sont :

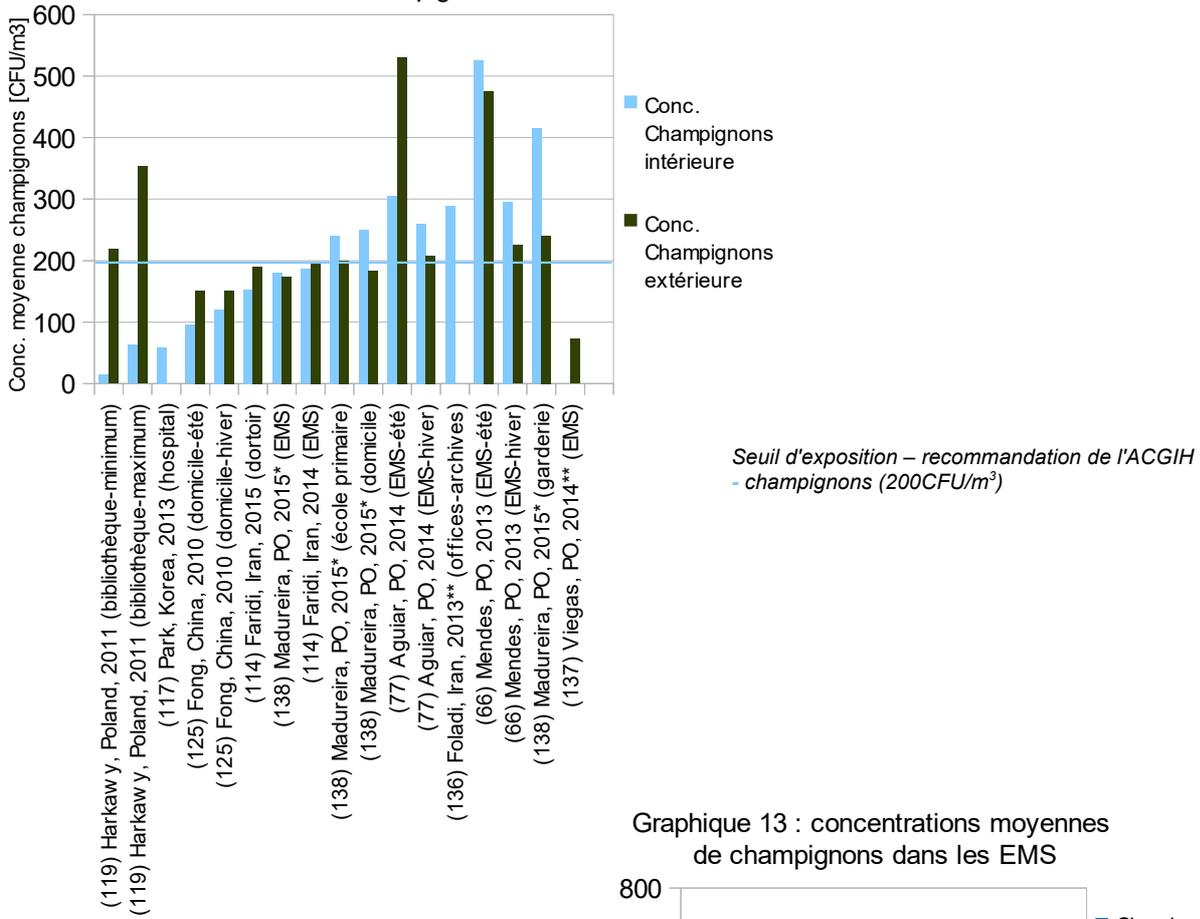
- les sources de champignons en lien avec la fonction même du bâtiment ou de la salle : occupation de la salle (77, 137, 140, 141)
- les sources de champignons en lien avec la structure du bâtiment : dégâts d'eau/inondations/humidité (63, 130, 133, 77, 138, 117), ensoleillement/ T° (77, 138, 117), revêtement du toit/configuration des fenêtres/isolation (77, 119)
- les sources de champignons en lien avec les personnes utilisant le bâtiment : ventilation (128, 134), nettoyage (137)

Du point de vue des effets sur la santé respiratoire, la présence de moisissures dans les milieux intérieurs a été associée à l'asthme (130-133) en particulier chez les hommes (128), à la bronchite chronique (132), à la rhinite (134), à plus de respiration sifflante (128, 134) et d'oppression thoracique (128). Le report d'odeur de moisissure a été associé à une diminution des fonctions respiratoires en particulier chez les hommes (129) et à plus de respiration sifflante chez des étudiants (134).

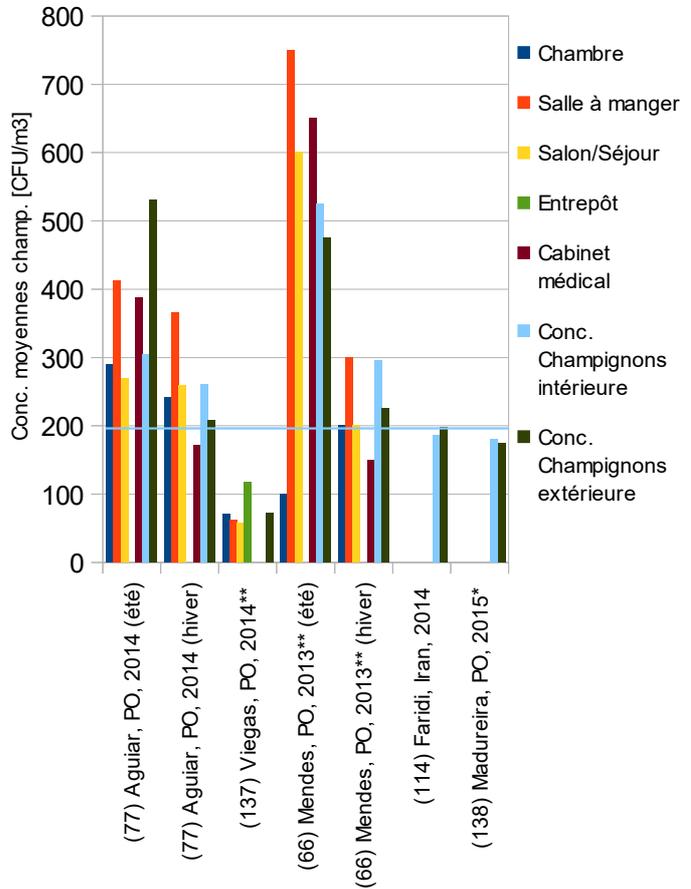
La présence de moisissures dans les milieux intérieurs a également été associée, mais indirectement, à plus d'allergies et de respiration sifflante (63).

Malheureusement, aucune valeur de concentration des moisissures dans l'air intérieur n'a été mesurée dans les études associant les moisissures à la santé respiratoire ; ce qui ne permet pas de les comparer au seuil de concentration recommandé par l'ACGIH.

Graphique 12 : concentrations moyennes de champignons



Graphique 13 : concentrations moyennes de champignons dans les EMS



Ventilation et filtration

Plusieurs études ont mis en évidence une association entre le type ou le taux de ventilation de l'environnement intérieur et certains effets sur la santé respiratoire :

- La présence d'un système d'air conditionné à cycle réversible au domicile, s'alimentant en air extérieur, a été associée à moins d'asthme chez les habitants (128).
- L'absence de ventilateur dans la cuisine, un nombre moindre de fenêtres, ainsi qu'une ouverture moins fréquente des fenêtres au domicile ont été associés à un risque plus élevé de cancer du poumon chez des femmes non-fumeuses (22). De même, une mauvaise ventilation de la cuisine du domicile a été associée à un risque plus élevé de cancer du poumon chez des femmes adultes (142).
- La mise en place d'une ventilation dans la cuisine au domicile a été associée une diminution du risque de BPCO et une diminution moins importante des fonctions pulmonaires chez les habitants (143).
- En hiver, un taux de renouvellement d'air bas ($<0.7\text{L/h}$) dans les dortoirs a été associé à plus de respiration sifflante et de toux sèche chez des étudiants. En hiver, les pièces possédant des fenêtres dont le cadre était en bois présentaient un taux de renouvellement d'air significativement plus élevé que celles possédant des fenêtres dont le cadre était en polychlorure de vinyle (134).
- La présence de certains composés organiques volatils (n-décane, toluène et trichloréthylène) en cas de mauvaise ventilation ($<0.57\text{L/h}$) au domicile de personnes de >65 ans a été associée à plus de dyspnée (78).

Combustion – Chauffage/cuisinière/...

Plusieurs études ont mis en évidence un lien direct entre l'utilisation de certains combustibles et la santé respiratoire des personnes exposées.

- Un effet synergique a été montré entre l'exposition à la fumée de cigarette et celle à la fumée d'encens à domicile avec une augmentation du risque de cancer du poumon (144). L'exposition à la fumée de tabac à domicile a été associée à des symptômes tels que respiration sifflante et oppression thoracique, ainsi qu'à l'asthme (128). De plus, celle-ci est liée à un risque augmenté d'avoir un cancer du poumon (22,145) ou une tuberculose active (146)
- L'utilisation de biomasse comme combustible à domicile a été associée à des symptômes respiratoires (toux, respiration sifflante, dyspnée) (41, 147), une diminution des fonctions pulmonaires (41) et une atteinte du parenchyme pulmonaire (147).
- L'utilisation de charbon comme combustible à domicile a été associée à un risque augmenté d'avoir une tuberculose active (146), une diminution des fonctions pulmonaires (53) et une modification de la flore respiratoire qui pourrait être plus propice au développement d'un cancer du poumon (148), de plus certaines mutations retrouvées dans plusieurs cancers des poumons pourraient être en lien avec son exposition (149). Lorsque l'utilisation de charbon comme combustible était accompagnée d'une mauvaise ventilation, celle-ci a été associée à un risque augmenté de cancer du poumon (142,22).
- L'utilisation de bois comme combustible a montré un lien avec des signes limités d'inflammation des voies aériennes lors d'exposition aiguë (150), ainsi qu'un risque augmenté d'avoir une tuberculose active (146).
- L'utilisation de gaz comme combustible a été associée à des symptômes respiratoires tels que toux, dyspnée et respiration sifflante et une diminution des fonctions pulmonaires (151).

Discussion

Matière particulaire (PM)

La revue de littérature n'a pas permis de mettre en évidence un environnement spécifique dépassant systématiquement les concentrations de références données par l'OMS, néanmoins il est intéressant de noter que les concentrations en particules les plus élevées mesurées étaient dans les cuisines, que celles-ci se trouvent à domicile ou au restaurant, dans des salles de gymnastique (associées à l'utilisation de magnésie), dans des environnements en rénovation ou dans des pays situés plus bas dans le classement d'indice de développement humain comme la Chine, la Turquie ou le Brésil.

Une des limites de ce travail est que la composition des particules n'y est malheureusement pas abordée en détail ; la caractérisation des particules représentant un point important dans la compréhension et l'évaluation du risque qu'elles représentent pour la santé. Les HAP, plus précisément ceux classés comme cancérogènes ont, par exemple, été identifiés comme principalement liés aux PM_{2.5}. Ainsi, une exposition chronique aux PM₁ ayant été associée à un risque plus élevé de cancer du poumon, il aurait été intéressant de connaître leur composition afin de déterminer de potentiels composants cancérogènes.

La revue de littérature a permis de mettre en évidence plusieurs sources conséquentes de particules dans des milieux intérieurs spécifiques comme la cuisine, l'utilisation de blocs de magnésie dans les salles de gymnastique, le polissage des dents et les imprimantes laser. Afin de diminuer au maximum l'impact de ces sources sur la qualité de l'air intérieur, la magnésie solide peut être remplacée par de la magnésie liquide et une meilleure ventilation ainsi qu'un système de rideaux d'air autour du plan de cuisson peuvent être installés dans les cuisines. Concernant le polissage des dents dans les cabinets dentaire, on pourrait imaginer un système de ventilation spécial permettant un renouvellement d'air plus important lors des soins. Concernant les imprimantes laser, celles-ci pourraient être placées dans une pièce séparée afin de diminuer l'exposition des personnes.

De plus, des populations plus vulnérables à l'exposition aux particules sur le plan de la santé respiratoire ont été mises en évidence : les personnes âgées et les adultes atopiques. Afin de prévenir au mieux les effets néfastes des particules sur leur santé respiratoire, une attention particulière pourrait être accordée à l'aménagement de leur lieu de vie principal que sont l'EMS et le domicile.

Dioxyde d'azote (NO₂)

Concernant l'exposition aiguë au NO₂, un environnement particulièrement à risque a été identifié : les patinoires couvertes avec comme source principale la surfaceuse utilisée. Afin de diminuer au maximum l'impact de cette source sur la santé respiratoire des personnes exposées, les surfaceuses peuvent être révisées plus fréquemment et, si le budget le permet, être remplacées par des surfaceuses neuves ou fonctionnant à l'électricité. Les personnes à plus haut risque d'exposition comme les hockeyeurs professionnels et les équipes d'entretien des patinoires couvertes pourraient être formées à reconnaître rapidement les symptômes liés à une intoxication au NO₂ afin de pouvoir y remédier plus rapidement. De même, un système de surveillance de la qualité de l'air dans les patinoires couvertes pourrait être installé afin de détecter immédiatement une augmentation de concentration de NO₂ dans l'air intérieur. Les moteurs dont sont équipés les surfaceuses se retrouvent également dans d'autres types de machines industrielles qui seraient potentiellement des sources tout aussi importantes de NO₂ dans d'autres milieux intérieurs et mériteraient donc que l'on s'y intéresse plus particulièrement.

Concernant le NO₂ dans les autres environnements intérieurs, la combustion du gaz a été identifiée comme source conséquente de NO₂ dans l'air intérieur. Afin de limiter la production de NO₂ dans les milieux intérieurs, les installations fonctionnant au gaz pourraient être remplacées par des installations électriques.

Des populations plus vulnérables à l'exposition chronique au NO₂ ont été mises en évidence : les personnes âgées, les adultes atopique et ceux souffrant de BPCO. Ces populations montraient des effets sur la santé respiratoire d'une exposition chronique au NO₂ à des concentrations inférieures aux directives de l'OMS. Les directives devraient donc être adaptées à ces populations à risque. Néanmoins, des études supplémentaires sont nécessaires afin de s'assurer de la nécessité de les adapter et, si oui, comment.

Des contrôles réguliers du bon fonctionnement de la ventilation devraient également être effectués dans les environnements à risque (patinoires couvertes, cuisines, ...) afin de minimiser le risque d'accumulation du NO₂ dans l'air intérieur.

Composés organiques volatils (COV)

La revue de littérature a mis en évidence une source importante de COV dans l'air intérieur : l'utilisation de produits de nettoyage. Le fait de limiter au maximum l'utilisation de ces produits ou de les diluer permettrait de prévenir une exposition trop importante aux COV. Une législation concernant les COV contenus dans différents produits détergents, cosmétiques et d'aménagement intérieur tels que peintures, colles, vernis et produits de traitement du bois pourrait également être mise en place ; cependant il faudrait d'avantage d'études concernant l'impact des COV sur la santé afin de déterminer les concentrations maximales tolérées des différentes sous-catégories de COV dans ces produits. Du fait des sources de COV évoquées ci-dessus, certaines populations sont plus à risque d'une exposition aux COV dans l'air intérieur telles que coiffeurs, esthéticiens, peintres, menuisiers, femmes au foyer et femmes de ménages.

Polychlorobiphényles (PCB)

Une attention particulière devrait être portée à certains types de PCB présents dans les matériaux de construction, joints et peintures afin de diminuer le risque d'exposition aux PCB dans l'air intérieur car la volatilité ainsi que l'absorption par voies aériennes des PCB semblent dépendre du type de PCB. Néanmoins, il faudrait plus d'études afin de définir quels types de PCB sont plus volatils et s'absorbent plus facilement par voies aériennes. Il faudrait également plus d'études concernant les effets sur la santé de l'absorption par voies aériennes, les PCB étant connus principalement pour leur absorption digestive et leurs effets de perturbateurs endocriniens. Parmi les populations à plus haut risque d'exposition, on peut citer les plombiers, les peintres et les maçons.

Retardateurs de flamme (FR) - organophosphorés (OP), PBDE, ...

Des sources différentes dans les environnements intérieurs ont été identifiées suivant le type de retardateurs de flamme : les circuits électriques étant source de PBDE et les meubles/tapis/équipements d'extérieur sources de PFC. La recherche de littérature n'a pas permis de mettre en évidence les effets sur la santé respiratoire de ces deux types de retardateurs de flamme. De plus amples recherches sont donc nécessaires concernant les effets sur la santé des PBDE et des PFC. Afin de limiter la diffusion des PBDE dans l'air intérieur, nous pouvons isoler le matériel électronique, limitant ainsi son contact direct avec l'air de la pièce dans laquelle évoluent les gens. Lorsque cela est impossible, nous pouvons nous assurer d'un renouvellement d'air adapté à proximité. En se basant sur les sources spécifiques de RF mises en évidence dans ce travail,

certaines professions à plus haut risque d'exposition en découlent comme électricien, peintres, vendeurs dans des magasins d'électronique ou d'aménagement intérieur.

Concernant les retardateurs de flamme phosphorés et les phtalates, ceux-ci ont été identifiés comme allergènes, mais leurs sources dans les environnements intérieurs non pas pu être définies dans ce travail et nécessiteraient davantage d'études. Il faudrait tenir particulièrement compte des jeunes de moins de 15ans ; ceux-ci s'étant montrés plus vulnérables sur le plan de la santé respiratoire que les adultes à l'exposition aux RF phosphorés et aux phtalates.

Microbiote

La revue de littérature a permis de mettre en évidence l'humidité comme source importante de moisissures dans l'environnement intérieur. Afin de limiter au maximum l'installation et la prolifération des moisissures dans l'environnement intérieur, il est important de repérer rapidement les problèmes d'humidité relatifs au bâtiment comme les infiltrations d'eau et la condensation. Deux études ont mis en évidence une sensibilité accrue des hommes à la présence de moisissure dans l'environnement intérieur, concernant la santé respiratoire, comparés aux femmes. Cependant, des études supplémentaires doivent être entreprises afin de déterminer si le sexe en est effectivement la cause ou s'il y a un facteur de biais camouflé.

Concernant la présence de bactéries dans l'air intérieur, le taux de fréquentation de l'environnement intérieur représente une source importante. Néanmoins, aucune étude traitée dans cette revue de littérature n'a lié directement le taux de bactéries présentes dans l'air intérieur à des effets sur la santé respiratoire.

Une des limites de ce travail est que les différentes espèces de bactéries et champignons trouvés dans les différents milieux intérieurs n'y est malheureusement pas abordée en détail ; la caractérisation des bactéries et champignons représentant un point important dans la compréhension et l'évaluation du risque qu'ils représentent pour la santé. Des espèces spécifiques à certains environnements bâtis n'ont donc pas pu être mises en évidence. De plus, aucune étude ayant étudié le lien entre les bactéries ou champignons et la santé respiratoire n'a spécifié les espèces en cause, ne permettant pas d'identifier des espèces particulièrement pathogènes du point de vue de la santé respiratoire. Des études supplémentaires concernant le microbiote présent dans les environnements intérieurs et ces effets sur la santé respiratoire sont donc nécessaires.

Discussion commune

De façon générale, une grande partie des études traitées ici font état de concentrations intérieures supérieures aux directives de l'OMS, en particulier concernant l'exposition au long terme, ce qui montre que des améliorations de l'aménagement intérieur doivent encore être faites afin de diminuer au maximum l'incidence de la pollution intérieure sur la santé.

Les résultats obtenus sont à relativiser en raison de nombreux facteurs de biais possibles tels que ceux cités ci-dessous

- rares sont les études ayant mesuré simultanément un large panel de polluants différents ce qui peut fausser l'interprétation d'un lien de cause à effet entre un polluant et un effet sur la santé respiratoire. Réciproquement, une exposition à un large panel de polluants différents rend difficile à spécifier les relations de cause à effet entre un certain polluant et un effet sur la santé respiratoire.
- lorsqu'une concentration en particule était mesurée simultanément à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment étudié, le fait que la concentration intérieure soit plus basse que celle extérieure ne prouve pas l'absence de source intérieure de particules, la composition des

- particules pouvant être différente
- les différentes études ont été effectuées dans des environnements, à des époques de l'année, pendant des durées et utilisant des techniques de prélèvement et d'analyse différents, rendant la comparaison entre elles difficile.
- les effets de la pollution sur la santé respiratoire cités dans les résultats correspondent aux relations significatives trouvées dans les différentes études. Les résultats non-significatifs ne sont pas mentionnés, ce qui constitue une des limites de ce travail. Plus particulièrement, le nombre d'étude ayant recherché une même association entre un polluant et la santé respiratoire n'est pas mentionné ; seules les études ayant trouvé cette même association comme significative sont mentionnées. Ceci peut fausser l'interprétation des résultats, ne permettant pas de pondérer les résultats significatifs par les résultats non-significatifs.
- concernant les deux points relevés ci-dessus, une étude de type méta-analyse permettrait de prendre en compte plus de facteurs de biais méthodologiques, ainsi que de rassembler des résultats non-significatifs similaires afin d'en augmenter la puissance statistique.

Parmi les effets sur la santé respiratoire spécifiques associés à certains polluants, il y a notamment :

- le radon et certains HAP associés à un risque cancérigène, l'exposition au radon étant la deuxième cause la plus importante de cancer du poumon dans les pays industrialisés après la cigarette
- les insecticides pyréthroïdes, les retardateurs de flamme et les champignons associés à des allergies
- les PM, le NO₂ et le trichloramine associés à une augmentation de marqueurs inflammatoires au niveau du système respiratoire

Prévention

Pour rendre minimales les concentrations de polluants dans l'air intérieur, nous pouvons agir sur trois axes :

1. prévention primaire – évincer/diminuer la source de polluants
 - remplacer les installations fonctionnant au combustible (cuisinières, chauffages) par des installations électriques
 - limiter l'utilisation des produits vaporisés
2. prévention secondaire - empêcher l'accumulation des polluants et isoler les sources de polluants
 - s'assurer d'une ventilation efficace couplée à une filtration de l'air et, dans les cuisines, à un système de rideau d'air placé devant le plan de cuisson et permettant de canaliser l'air en direction de la bouche d'aération. Une ventilation adéquate est un des leviers facilement utilisable afin d'améliorer la qualité de l'air intérieur et semble diminuer les concentrations de différentes sortes de polluants tels que les particules, les gaz (NO₂, CO₂, CO), les COV, les retardateurs de flamme et les micro-organismes.
3. prévention tertiaire - former les professionnels de la santé ainsi que les populations à plus haut risque d'exposition

Conclusion

Plusieurs types de sources de pollution spécifiques à certains environnements intérieurs ont été identifiés :

- les sources de polluants pour lesquels il existe des valeurs cibles, mais les sources sont d'assez grande importance pour amener les environnements intérieurs à les dépasser, comme :
 - la magnésie solide dans les salles de gymnastique
 - les resurfaçuses dans les patinoires couvertes
- les sources de polluants pour lesquels il n'existe pas encore de valeur cible de référence, comme :
 - les retardateurs de flamme bromés
 - certaines sous-catégories de COV comme les terpènes

Les directives OMS semblent suffire, lorsqu'elles sont respectées, à prévenir les effets néfastes de la pollution de l'air intérieur sur la santé respiratoire concernant les PM, le NO₂ et les bactéries. Néanmoins, ces directives nécessiteraient une adaptation spécifiques aux populations adultes à risque telles que les personnes âgées ou celles souffrant de pathologies respiratoires, notamment concernant le NO₂ et les PM. Ces directives nécessiteraient également une adaptation spécifique aux populations plus exposées à certains polluants intérieurs comme le personnel des piscines exposé au trichloramine. Pour les autres polluants de l'air intérieur bénéficiant de valeurs guides dans l'air intérieur, les études mentionnant des effets sur la santé respiratoire n'évoquaient malheureusement pas la concentration corrélée du polluant.

De plus, plusieurs polluants (comme les PM₁ et PM_{0.1}, PCB, retardateurs de flamme, ...) de l'air intérieur n'ont pas de concentration cible préconisée, malgré des effets démontrés sur la santé respiratoire.