

QUALITE DE L'AIR INTERIEUR DANS LES GYMNASES : ETAT DES CONNAISSANCES

Corinne MANDIN

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur / Université Paris-Est, 84 Avenue Jean Jaurès, Champs-sur-Marne, 77447 Marne-La-Vallée Cedex 2.
Corinne.Mandin@cstb.fr

RESUME

Dans le cadre de son programme de travail sur les lieux de vie fréquentés par les enfants, l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) a réalisé un état des connaissances sur la qualité de l'air dans les gymnases. Il s'agissait de recenser les données disponibles afin de savoir si ces environnements pouvaient présenter des spécificités et éventuellement nécessiter des études dédiées. Cette revue bibliographique a montré qu'il existait très peu de données françaises à ce jour. D'après les deux études recensées, les bâtiments investigués ne semblent pas protecteurs vis-à-vis des polluants émis par le trafic routier. Dans les autres pays, les problématiques abordées sont la biocontamination, la pollution particulaire (liée à la remise en suspension du fait des activités intenses et/ou à l'utilisation de poudre d'oxyde de magnésium) et la contribution des émissions des matériaux en place : composés organiques volatils par les revêtements synthétiques, de plus en plus répandus, ou fibres d'amiante. Un certain nombre d'études traitent plus spécifiquement de la ventilation, sous l'angle de la modélisation numérique prédictive. Enfin, des démarches volontaires de gestion de la qualité de l'air intérieur dans les gymnases ont été identifiées dans quelques pays.

I- INTRODUCTION – OBJECTIF

Dans le cadre de son programme relatif aux lieux de vie fréquentés par les enfants, l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) a réalisé en 2006 en partenariat avec SEPIA-Santé, une étude visant à caractériser les budgets-espace-temps des enfants de 0 à 18 ans (Guillam et al., 2010). La population cible était constituée d'un échantillon représentatif des familles de France métropolitaine comprenant au moins un enfant de moins de 18 ans. Le recueil de données a été réalisé au moyen d'une enquête téléphonique : 2 780 ménages ont été interrogés entre le 20 novembre 2006 et le 9 mars 2007. Cette

étude a notamment montré que les salles de sport étaient les environnements les plus fréquentés par les moins de 18 ans, aussi bien en nombre d'enfants (52 %) qu'en temps passé en moyenne pour les enfants fréquentant ces espaces (entre 5 et 30 minutes par jour pour la majorité d'entre eux). Compte tenu du temps passé dans ces locaux, il est apparu nécessaire d'y documenter la qualité de l'air intérieur. Ainsi, une étude bibliographique relative à la qualité de l'air dans les gymnases a été réalisée afin de collecter les données disponibles et d'identifier les besoins d'études complémentaires.

II- METHODE

On entend par « gymnases » l'ensemble des salles omnisports couvertes publiques ou privées. Les piscines et patinoires ont été exclues du champ de l'étude du fait de problématiques spécifiques traitées par ailleurs par l'OQAI. De même, les salles de sport couvertes accueillant des compétitions automobiles ont été écartées, la pollution intérieure y étant principalement due aux effluents des véhicules.

Les articles de la littérature scientifique ont été collectés dans la base du réseau de veille scientifique RSEIN (Recherche Santé Environnement Intérieur) à la date d'avril 2011, complétée pour les années antérieures à 2001 par une interrogation des bases bibliographiques *Current Contents* et *PubMed*. Les mots-clés utilisés ont été « sport environment », « sport centre », « gymnasium », « gym room » et « arena ».

Les actes des conférences internationales de référence sur la qualité de l'air intérieur, *Indoor Air* et *Healthy Buildings*, ont été consultés (IA2002, HB2003, IA2005, HB2006, IA2008, HB2009 et IA2011).

S'agissant de la littérature grise (thèse, rapports d'instituts, etc.), les sites Internet de référence pour la qualité de l'air intérieur (monde entier) ont été consultés. De plus, une recherche avec les mots-clés mentionnés ci-avant via le moteur Google a été réalisée. Enfin, pour la France, les sites Internet des Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) ont tous été consultés.

III- RESULTATS

1- Données françaises

Seules deux études françaises réalisées spécifiquement dans des gymnases ont été répertoriées. Par ailleurs, une étude dans divers lieux publics a été conduite par l'AASQA Atmosphère Air Bourgogne Centre Nord en 2002-2003 (Atmosphère Air Bourgogne, 2003). Elle incluait une salle de gym ; elle n'est que brièvement

évoquée à la fin de ce paragraphe.

La première étude a été conduite en 1999 dans un gymnase de la ville de Notre Dame de Gravenchon (76) par l'AASQA locale, Air Normand (Air Normand, 2000). Cette ville étant en proximité d'une zone industrielle dense où des pics de concentrations de dioxyde de soufre (SO_2) sont souvent mesurés, l'étude avait pour objectif spécifique de décrire l'influence de la qualité de l'air extérieur sur l'air intérieur et de proposer une conduite à tenir en cas de pic de pollution extérieure.

La concentration de SO_2 a été mesurée du 4 février au 17 mars 1999 au moyen de trois analyseurs automatiques, deux dans le gymnase et un à l'extérieur, celle de l'ozone du 27 mai au 30 juin 1999 grâce à deux analyseurs automatiques (extérieur + intérieur). Lors de chacune de ces deux saisons de mesures, les paramètres d'ambiance, à savoir la concentration du dioxyde de carbone (CO_2) afin de permettre l'estimation du taux de renouvellement de l'air dans le gymnase, la température et l'humidité relative de l'air, ont été mesurées dans le gymnase.

Les principaux résultats sont les suivants :

- En février-mars, les teneurs intérieures en CO_2 durant la semaine¹ fluctuaient autour de 600 ppm le jour et 470 ppm la nuit. Le taux d'occupation quotidien était corrélé avec les concentrations intérieures en CO_2 . En mai-juin, du fait d'une occupation moindre du gymnase en fin d'année scolaire et de l'ouverture plus fréquente des portes et fenêtres, les niveaux de concentrations intérieures de CO_2 ne permettaient plus de distinguer avec précision les périodes d'occupation du bâtiment.
- Des pics de concentrations intérieures en SO_2 ont été mesurés ($202 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $280 \mu\text{g}/\text{m}^3$) lorsque des pics horaires extérieurs étaient observés (respectivement $892 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $1\ 656 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mesurés 15 à 45 minutes auparavant). Les concentrations moyennes intérieures pendant la campagne étaient respectivement de 18 et $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à 2,5 et 5 mètres de hauteur, et de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à l'extérieur. Le ratio des concentrations intérieures/extérieures moyen mesuré est de 0,46.
- A l'instar du cas du SO_2 , les pics de concentrations intérieures en **ozone** étaient différés et de plus faible amplitude que les maxima extérieurs observés. Les concentrations moyennes pendant la campagne étaient respectivement de 40 et $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à l'intérieur et en extérieur. Le ratio des concentrations intérieures/extérieures moyen mesuré est de 0,56, pouvant atteindre 0,8 lors des pics de pollution extérieure. Ces concentrations sont supérieures à celles habituellement mesurées dans les logements, du fait, selon les auteurs, d'un taux de renouvellement d'air plus élevé d'une part, et de la surface de réaction chimique (murs, surfaces...?) moindre au regard du volume du bâti, d'autre part.
- En février-mars, **le taux de renouvellement d'air (TRA)** était compris entre 0,44 et $3,1 \text{ vol. h}^{-1}$, avec une valeur moyenne de $1,2 \text{ vol. h}^{-1}$. Il se situait le plus fréquemment autour de $0,7\text{-}0,8 \text{ vol. h}^{-1}$ (en fin d'après-midi et en soirée) ou $1,1\text{-}1,2 \text{ vol. h}^{-1}$. En mai-juin, le TRA estimé était compris entre

$0,24$ et $1,7 \text{ vol. h}^{-1}$ (moyenne de $0,54 \text{ vol. h}^{-1}$). Il se situait le plus souvent autour de $0,3\text{-}0,4 \text{ vol. h}^{-1}$. Les hypothèses avancées par les auteurs pour expliquer ce taux plus faible en été qu'en hiver sont, d'une part, l'occupation moindre de la salle (donc une production de CO_2 plus faible) et d'autre part, le fait qu'en période hivernale, le chauffage augmente le tirage d'air par insufflation d'air chaud ce qui favorise l'augmentation du TRA.

Même si les résultats ne peuvent pas être extrapolés à tout gymnase du fait notamment de la situation dans une zone géographique particulière de forte densité industrielle, on retient néanmoins que **les pics de concentrations de SO_2 et d'ozone observés en extérieur se produisent également en intérieur avec un léger décalage dans le temps et une amplitude plus faible.**

La seconde étude a été menée dans 13 gymnases parisiens par le Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris (LHVP) entre juin 2002 et décembre 2003 (Le Moullec et al., 2004). Elle avait aussi pour objectif l'analyse des transferts vers l'intérieur des polluants traceurs de la pollution atmosphérique urbaine extérieure.

L'échantillon des 13 gymnases a été tiré au sort sur l'ensemble des 112 que compte la ville de Paris. D'après les auteurs, cette sélection est représentative de ce type d'établissements à Paris, au regard notamment de l'exposition du bâtiment à la pollution automobile (au voisinage de larges avenues, du périphérique, etc.). Chaque gymnase a été instrumenté sept jours consécutifs au maximum.

Les polluants mesurés (1 point extérieur dans certains cas et 1 ou 2 points intérieurs) étaient :

- Le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (monoxyde et dioxyde d'azote, NO et NO_2 respectivement), les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM ; benzène, toluène et xylènes) et les particules PM_{10} et/ou $\text{PM}_{2,5}$, choisis pour caractériser l'impact de la qualité de l'air extérieur, ces composés étant principalement émis, dans un tel contexte, par le trafic routier.
- Le dioxyde de carbone et les particules en suspension (PM_{10}) pour tracer la présence et les activités humaines.
- Les aldéhydes pour marquer la contribution des équipements et matériaux du bâtiment.
- L'ozone, uniquement dans six gymnases.

En outre, la température et l'humidité relative ont été mesurées en continu dans chaque gymnase.

Pour le monoxyde d'azote, les résultats montrent clairement l'impact de la qualité de l'air extérieur sur les concentrations intérieures. Dans les gymnases ayant fait l'objet d'une mesure en extérieur, un pic de concentration intérieure horaire est systématiquement observé 1 à 2 heures après le pic de concentration extérieure, les valeurs maximales atteintes en intérieur étant néanmoins plus faibles que les maxima extérieurs (ratio intérieur/extérieur compris entre 0,63 et

0,92). La contribution des émissions liées au trafic routier apparaît ainsi évidente : d'une part, les pics de concentrations extérieures corrélés aux pics de concentrations intérieures différés correspondent aux heures de pointe du trafic, et d'autre part, les gymnases les plus proches (10 mètres) d'une voie de circulation et les plus exposés à celle-ci (côté rue), sont ceux où les concentrations intérieures mesurées sont les plus élevées (que ce soient les médianes/moyennes ou les maxima/percentiles 98, sur un pas de temps horaire).

La qualité de l'air extérieur a également une influence directe sur les concentrations intérieures en **dioxyde d'azote**. Ces dernières se situent toutefois dans une gamme de concentrations plus restreinte que pour le NO. Elles sont ainsi globalement du même ordre de grandeur que les concentrations extérieures mesurées simultanément (ratio intérieur/extérieur compris entre 0,81 et 0,98) et les valeurs du fond urbain mesurées par AIRPARIF. La médiane des concentrations intérieures horaires mesurées est égale à 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. À titre de comparaison, même si les pas de temps des mesures sont différents, les concentrations en NO₂ mesurées en 2001 par capteur passif exposé 48 heures dans les logements de trois villes françaises métropolitaines dans le cadre de l'étude « Sentinelles de l'air » était de 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ toute saison confondue (Schadkowski et Malrieu, 2003).

Pour l'**ozone**, les concentrations intérieures horaires sont considérées faibles (de l'ordre de quelques $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ceci est classiquement observé dans les bâtiments. Les concentrations intérieures horaires en ozone suivent sensiblement celles de la mesure en extérieur et celles des stations parisiennes de fond urbain utilisées en référence, mais avec un fort abattement et un décalage de plusieurs heures.

Concernant le **monoxyde de carbone**, les concentrations intérieures horaires sont globalement du même ordre de grandeur que les concentrations mesurées parallèlement en extérieur par le LHVP (ratio intérieur/extérieur compris entre 0,98 et 1,1) ou par AIRPARIF aux stations de fond urbain. Dans certains gymnases, des concentrations horaires relativement élevées ont été ponctuellement mesurées, en lien avec la forte circulation automobile. Les valeurs guides de qualité de l'air intérieur proposées par l'Agence nationale de sécurité sanitaire pour des expositions de 1 heure et 8 heures, respectivement égales à 30 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 10 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ANSES, 2007), n'ont cependant jamais été dépassées dans les gymnases.

S'agissant des **PM₁₀ et PM_{2,5}**, les concentrations intérieures horaires sont globalement voisines des concentrations extérieures mesurées simultanément et des valeurs du fond urbain parisien. La médiane des concentrations intérieures horaires est égale à 22,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM₁₀ et 13,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{2,5}. À titre de comparaison, les concentrations en PM₁₀ et PM_{2,5} mesurées à l'occasion de la campagne nationale « logements » de l'OQAI de 2003 à 2005, représentatives des concentrations dans le parc de résidences principales de France métropolitaine, présentent respectivement une médiane égale à 31,3 et 19,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Kirchner et al., 2007).

Ainsi, il ne semble pas que pour les gymnases étudiés, il y ait une pollution particulaire spécifique.

Pour les **hydrocarbures aromatiques monocycliques** (HAM ; capteur passif exposé 6 jours), à l'exception d'un gymnase, les concentrations intérieures sont systématiquement supérieures à celles mesurées en extérieur, tout en étant sensiblement du même ordre de grandeur. Pour tous les gymnases, à l'exception d'un seul, le rapport des concentrations intérieures toluène/benzène est compris dans la gamme des valeurs prises par ce même ratio pour des concentrations directement influencées par les émissions automobiles. Les concentrations intérieures en HAM sembleraient ainsi principalement gouvernées par la pollution atmosphérique extérieure.

Enfin, pour les **aldéhydes** (capteur passif exposé 2 fois 3 jours), la différence entre les concentrations extérieures et intérieures est plus nette que pour les HAM, les teneurs intérieures étant plus élevées, ce qui confirme la présence de sources intérieures et la part contributive moindre de la pollution extérieure. Les concentrations intérieures moyennes restent néanmoins inférieures aux médianes des concentrations dans les logements français (Kirchner et al., 2007).

Par ailleurs, de l'étude des caractéristiques constructives des gymnases investigués, il en ressort que :

- Les **dimensions des bâtiments sont très variables** : aucun des gymnases n'est similaire aux autres en terme de dimension.
- Les **revêtements muraux sont très divers**, avec toutefois une prédominance pour des murs peints.
- **Deux types de sols semblent équiper les gymnases** : les parquets en bois et les sols synthétiques. Ceci est en accord avec les données des fabricants, qui effectivement proposent ces deux types de sols sportifs, sachant par ailleurs, que les sols synthétiques recouvrent en réalité des natures très diverses.
- **Tous les gymnases, à l'exception d'un seul, sont équipés d'une ventilation mécanique.**

On retient de cette étude que la qualité de l'air intérieur dans les gymnases semble principalement **dépendante de la qualité de l'air extérieur, pour les substances étudiées et à quelques exceptions près**. L'utilisation de magnésie (poudre d'oxyde de magnésium) lors des séances d'escalade a une influence directe sur les concentrations intérieures en PM₁₀ (mais pas sur les PM_{2,5}). Les sources intérieures (COV et aldéhydes) existent néanmoins, mais au regard du rapport surfaces émettrices/volume du bâtiment, les émissions associées sembleraient moins contributives aux niveaux intérieurs qu'elles peuvent l'être dans les logements, les écoles et les bureaux. Le LHVP considère que **la ventilation de la grande majorité des gymnases étudiés semble satisfaisante et adaptée à la fréquentation**, même si, pour le CO₂, des dépassements du niveau de 1 000 ppm sont observés. Les auteurs concluent que les gymnases, de façon générale, offrent une protection efficace contre l'ozone. En revanche, pour les NO_x, le CO et les PM_{2,5}, les concentrations intérieures mesurées sont globalement du même ordre de grandeur que celles en extérieur aux stations

de fond AIRPARIF, montrant que **les bâtiments investigués ne sont pas protecteurs vis-à-vis de ces composés.**

Pour terminer, même s'il ne s'agit pas d'une campagne de mesures dans des gymnases, on peut mentionner, à titre d'information complémentaire, **les mesures réalisées dans une salle de gym par Atmosf'Air Bourgogne en juillet 2002 et mars 2003**, au moyen de capteurs passifs exposés une semaine (Atmosf'Air Bourgogne, 2003). Dans cette salle de gym et à chaque saison, une première mesure a été réalisée dans la salle de fitness et une seconde dans celle de musculation. Les concentrations mesurées en COV et aldéhydes sont plus faibles que celles mesurées par le LHVP dans des gymnases. Les concentrations intérieures en COV sont du même ordre de grandeur que les concentrations atmosphériques mesurées à l'extérieur du bâtiment.

Au bilan, de l'examen des études françaises disponibles, on retient que **les études conduites sont relativement anciennes et ont toutes concerné un faible échantillon de gymnases et de salles.**

2- Données disponibles dans les autres pays

Si le domaine de la qualité de l'air intérieur suscite des travaux de recherche depuis les années 1970 et fait l'objet de publications de plus en plus nombreuses dans la littérature scientifique internationale, il s'avère cependant que **les gymnases et infrastructures sportives sont très peu étudiés en proportion des autres environnements intérieurs.** Pour chacune des requêtes avec les différents mots-clés retenus, peu de références sont obtenues. En outre, elles concernent le plus souvent les piscines et les patinoires qui ont été exclues de cette revue bibliographique, car elles font l'objet de travaux spécifiques de l'OQAI.

Les études publiées s'intéressent, pour la plupart, spécifiquement aux problématiques de ventilation et de confort thermique dans les grands volumes que sont les gymnases (El-Wahab *et al.*, 2003). Par exemple, au Japon, dans un super-dôme récemment construit, différentes stratégies de conditionnement d'air ont été étudiées de façon à garantir le confort des sportifs et des spectateurs (Nishioka *et al.*, 2000). Des campagnes de mesure ont été conduites à trois différentes saisons ; elles ont concerné uniquement la température, l'humidité relative et les vitesses de l'air (caractérisation des profils verticaux et horizontaux selon un maillage fin). De la même façon, l'optimisation de la climatisation d'un gymnase de 2 500 m² au Japon a fait l'objet de campagne de mesures de la température et de l'humidité relative (Sasaki *et al.*, 2005). Des outils numériques de prédiction de la circulation des masses d'air sont également très souvent utilisés en complément (codes 3D de type CFD, *Computational Fluid Dynamics*) (Ma *et al.*, 2002).

Trois problématiques relatives à la qualité de l'air intérieur dans les gymnases sont abordées dans les articles : la biocontamination, la pollution particulaire et les émissions des matériaux en place.

Afin d'étudier la contamination microbienne des gymnases, l'air intérieur de 11 gymnases de la ville italienne de Pavie a été

prélevé pour permettre la mesure de **la flore fongique totale et de la flore bactérienne totale, ainsi que l'identification des espèces fongiques en présence** (Dacarro *et al.*, 2003). L'étude a duré quasiment une année (de décembre à octobre). Pour chaque gymnase, une campagne de mesures a eu lieu en période de chauffe entre décembre et mars, puis une seconde campagne a été menée entre avril et octobre. Les auteurs montrent que l'aérobiocontamination des gymnases est systématiquement supérieure à celle observée dans l'air extérieur, les niveaux de contamination intérieure restant par ailleurs relativement faibles. La flore fongique est la plus importante entre avril et octobre lorsque le système de chauffage central est à l'arrêt. Les niveaux les plus faibles de contamination fongique sont observés dans les bâtiments neufs équipés d'un système de ventilation performant. À l'inverse, c'est dans cette dernière configuration de ventilation « poussée » que la contamination bactérienne est plus importante, ce qui fait dire aux auteurs que cette contamination pourrait être attribuable au mauvais entretien des équipements de ventilation.

La thématique la plus abordée est celle de la **pollution particulaire.** Les concentrations en PM₁₀ sont directement liées à la remise en suspension des poussières déposées au sol, elle-même associée aux mouvements et piétinements particulièrement intenses dans ces bâtiments. Braniš *et al.* (2011a,b) ont montré une corrélation entre le nombre de sportifs et les concentrations intérieures en PM_{2,5-10}. L'analyse chimique de ces particules a confirmé qu'il s'agissait de particules terrigènes remises en suspension, puisque les principaux minéraux présents étaient le silicium, l'aluminium, l'oxygène et le calcium. Dans certains gymnases, un autre facteur contributeur à la pollution particulaire est l'utilisation de magnésie. Weinbruch *et al.* (2008) ont mesuré ponctuellement dans des halls d'escalade des concentrations en PM₁₀ dépassant le mg/m³ et en PM_{2,5} atteignant 500 µg/m³. L'utilisation de magnésie ne semblait en revanche pas générer de particules ultrafines.

Certaines études se sont plus particulièrement intéressées au **rôle des procédures de nettoyage sur les teneurs intérieures en particules en suspension et en allergènes** (fréquence, matière du support du produit nettoyant, agent nettoyant...). Dans un gymnase d'une école suédoise (Smedge, 2002), trois méthodes de nettoyage ont été testées chacune pendant 2 à 4 semaines : lavage une fois par jour avec un linge en coton humide, lavage une fois par jour avec un linge en coton et fibres synthétiques imprégné d'huile de colza, et lavage après chaque cours avec ce même dernier linge. Parallèlement, les concentrations intérieures en PM₁₀ sont mesurées en continu, tandis que les concentrations en allergènes de chat et de chien sont déterminées à partir de l'aspiration (par aspirateur) d'une surface de 30 m² dans le gymnase pendant 4 minutes. L'auteur montre que c'est plus la fréquence du nettoyage que le type de nettoyage, qui a une influence significative sur la diminution des teneurs en particules et allergènes. Une autre étude a été conduite dans un gymnase américain (Turner *et al.*, 2002). Les mesures n'ont ciblé que les PM₁₀ et ont été réalisées dans deux salles du gymnase, l'une avec des dalles de vinyle au sol et l'autre équipée d'une fibre textile vinyle. Il

est apparu que c'est plus le type d'appareil de nettoyage (des dispositifs mécaniques ont été testés) qui influence les teneurs intérieures en PM_{10} , que la nature du revêtement de sol.

Par ailleurs, l'impact des **revêtements** est également examiné plus spécifiquement. Aux États-Unis, dans les années 60-80, des **sols synthétiques en polyuréthane** ont été installés dans un grand nombre de gymnases. Or, il s'avère que le mercure utilisé comme catalyseur lors de la fabrication de ces sols peut *in fine* être présent à une concentration de 0,1-0,2 % en masse dans ces sols et être émis dans l'air des bâtiments (Beaulieu et al., 2008). Jones et al. (2011) ont réalisé des tests en chambre d'essai confirmant les émissions de mercure à un taux de l'ordre de $3 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$.

Une autre problématique est celle des **revêtements synthétiques fabriqués à partir de granulats élastomères vierges ou issus de pneus usagers**. Utilisés aussi bien pour des terrains extérieurs qu'en intérieur, ces sols pourraient émettre des COV et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) par évaporation ou suite aux frottements exercés par les chaussures des sportifs. Des mesures conduites dans trois gymnases en Norvège confirmeraient la contribution de ces sols à la pollution de l'air intérieur, le profil des COV montrant une signature des granulats élastomères (NILU, 2006a). Des HAP, phtalates, benzothiazoles et amines aromatiques ont également été mesurés dans les particules en suspension. Toutefois, une évaluation des risques sanitaires réalisée par le même institut conclut qu'en l'état actuel des connaissances, les expositions à ces substances dans les gymnases ne sont pas susceptibles de présenter des risques pour la santé (NILU, 2006 b). Le risque d'allergie au latex par contact cutané ne peut cependant être exclu. Les études sur le sujet méritent d'être poursuivies.

Enfin, dans le contexte très spécifique du Canada (la commercialisation d'amiante reste autorisée), les ministères de l'éducation et de la santé du Québec ont initié en mars 1998 une démarche préventive d'identification des sources d'émission de **fibres d'amiante** dans les écoles, dans un échantillon représentatif de locaux dont les matériaux floqués étaient dégradés (IRSST, 2000). Un total de 77 échantillons a été prélevé pendant l'occupation et les activités normales des occupants, dans l'air ambiant de 17 bâtiments scolaires. 7 gymnases ont été concernés (14 prélèvements). Parmi l'ensemble des locaux, il ressort que ce sont dans les gymnases où se déroulent des activités avec lancer de ballon que les concentrations en fibres d'amiante sont les plus élevées, atteignant jusqu'à 8 fois le critère de gestion du ministère de la santé³. Les chocs des ballons sur les matériaux favorisent en effet l'émission de fibres dans l'air.

D'autres études ont été recensées, mais leurs résultats ne sont pas développés dans cet article. Certaines rapportent des mesures de concentrations intérieures de divers composés chimiques dans des salles de sport (NO_x , CO, PM_{10} , COV et aldéhydes) (Lee et al., 1999 ; El-Hougeiri and El-Fadel, 2002 ; Hinwood et al., 2006). Il ne s'agit toutefois pas d'études

spécifiquement dédiées à ce type d'infrastructures ; elles sont intégrées à de plus larges campagnes de mesures de la qualité de l'air dans des micro-environnements variés. La dénomination des locaux investigués ne permet pas toujours de pouvoir identifier précisément le type de bâtiment. Par exemple, beaucoup d'études évoquent des sport centers, sans que ne soit précisé s'il s'agit plutôt d'un gymnase de grand volume ou d'une petite salle de gym, de type salle de fitness. En conséquence, en l'absence de données précises relatives au type de bâtiment et aux activités qui s'y tiennent, les résultats ne sont pas présentés. Enfin, Sofuoglu et al. (2010) ont recherché la présence de muscs dans l'air d'une salle de fitness. Ces composés proviennent entre autres des cosmétiques et parfums ; ils ne constituent pas une source spécifique aux salles de sport.

3- Mesures de gestion de la qualité de l'air intérieur existantes

En comparaison d'autres environnements intérieurs, peu de lignes directrices relatives à la qualité de l'air intérieur dans les gymnases ont été proposées. Un guide de gestion très détaillé a été élaboré en Australie en 1997 (Immig and Rish, 1997). En Chine, depuis 2003 (et à l'époque en vue des jeux olympiques de 2008 à Pékin), le Code pour l'environnement intérieur des salles de sport (Ma et al., 2005, 2006) propose des valeurs guides pour la température (pour l'hiver et l'été), l'humidité relative (pour l'hiver et l'été), la vitesse de l'air (pour l'hiver et l'été), la concentration en CO_2 et le débit de ventilation. Des valeurs sont également recommandées pour la température, l'humidité relative, la vitesse de l'air, le débit d'air par personne et l'éclairage (sans distinction de saison) en Italie, Espagne et Portugal (SPORTE2, 2011).

IV- CONCLUSION

De cette revue bibliographique, on retient que les travaux scientifiques dédiés à la qualité de l'air intérieur dans les gymnases sont peu nombreux. Seules deux études ont été recensées en France, avec pour objectif d'étudier l'impact de la pollution extérieure. Les travaux conduits dans les autres pays mettent en avant les problématiques de la pollution particulaire et des émissions des revêtements synthétiques. Etant donné le volume de ces espaces, les concentrations intérieures ne sont pas nécessairement élevées malgré les sources en présence. Cependant, compte tenu de la fréquentation importante de ces lieux, dans lesquels les débits respiratoires sont plus importants du fait des activités pratiquées, il convient de poursuivre l'acquisition de connaissances, en particulier sur les émissions des revêtements techniques qui peuvent être introduits.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, soutenu par les ministères en charge de l'environnement, de la construction et de la santé, ainsi que par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), l'Agence nationale de sécurité sanitaire (ANSES), l'Agence nationale de l'habitat (ANAH) et le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB).

BIBLIOGRAPHIE

Air Normand (2000). Qualité de l'air intérieur, Gymnase de Notre Dame de Gravenchon, Rapport d'étude n° E 00_9, Campagne du 04/02 au 17/03/1999 et du 27/05 au 30/06/1999

ANSES (2007). Avis relatif à la proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur pour le monoxyde de carbone, juillet 2007, 73 p. <http://www.anses.fr>

Atmos'Air Bourgogne (2003). Qualité de l'air intérieur : mesures, analyses, recherches sur l'origine et la toxicité des polluants, Atmos'Air Bourgogne Centre-Nord

Beaulieu H.J., Beaulieu S., Brown C. (2008). Phenyl mercuric acetate (PMA): mercury-bearing flexible gymnasium floors in schools-evaluation of hazards and controlled abatement, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5(6), 360-366

Braniš M., Šafránek J. (2011a). Characterization of coarse particulate matter in school gyms, *Environmental Research*, 111(4), 485-491

Braniš M., Šafránek J., Hytychová A. (2011b). Indoor and outdoor sources of size-resolved mass concentration of particulate matter in a school gym-implications for exposure of exercising children, *Environmental Science and Pollution Research*, 18(4), 598-609

Dacarro C., Picco A.M. et al. (2003). Determination of aerial microbiological contamination in scholastic sports environments, *Journal of Applied Microbiology*, 95, 904-912

El-Hougeiri N., El-Fadel M. (2002). IAQ characterization in urban areas: indoor to outdoor correlation, *Proceedings Indoor Air 2002*

El-Wahab A., El-Kadi M.A. et al. (2003). Architectural designs and thermal performances of school sports-halls, *Applied Energy*, 76(1-3), 289-303

Guillam M-T., Thomas N. et al. (2010). Children's indoor leisure activities in France: time budget data for indoor air risk assessment, *Human and Ecological Risk Assessment*, 16(5), 977-988

Hinwood A.L., Berko H.N. et al. (2006). Volatile organic compounds

in selected micro-environments, *Chemosphere*, 63(3), 421-429

Immig J., Rish S. (1997). Indoor Air Quality Guidelines for Sydney Olympic Facilities, 56 p.

IRSST (2000). Evaluation de la concentration de fibres d'amiante émises dans l'air ambiant de bâtiments scolaires, Institut de recherche Robert-Sauvé en Santé Travail. <http://www.irsst.qc.ca>

Jones S., Liu Z., Little J.C. (2011). Mercury emissions from polyurethane flooring in gymnasiums, *Proceedings Indoor Air 2011*

Kirchner S., Arènes J-F. et al. (2007). État de la qualité de l'air dans les logements français, *Environnement, Risques & Santé*, 6(4), 259-269

Lee S.C., Chan L.Y. et al. (1999). Indoor and outdoor air quality investigation at 14 public places in Hong Kong, *Environment International*, 25(4), 443-450

Le Moullec Y., Dusséaux M., Thibault G. (2004). Connaissance de l'exposition des citoyens à la pollution atmosphérique dans les établissements de loisir : gymnases. Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris, Mairie de Paris

Ma X., Li X., Dou C. (2002). Isothermal airflow in a gymnasium studied by numerical and full-scale experimental methods, *Proceedings Indoor Air 2002*

Ma X., Cao Y. (2005). A new national design code for indoor air environment of sports buildings, *Proceedings Indoor Air 2005*

Ma X., Jian Y., Cao Y. (2006). A new national design code for indoor air environment of sports buildings, *Facilities*, 24(11/12), 458-464

NILU (2006a). Measurement of air pollution in indoor artificial turf halls, Norwegian Institute for Air Research, Report NILU OR 03/2006, 39 p.

NILU (2006b). Artificial turf pitches-an assessment of the health risks for football players, Norwegian Institute for Air Research, 34 p.

Nishioka T., Ohtaka K. et al. (2000). Measurement and evaluation of the indoor thermal environment in a large domed stadium, *Energy and Buildings*, 32(2), 217-223

Sasaki T., Takabayashi S., Nagadoi M. (2005). The characteristics of indoor environment in a gymnasium with an air conditioner using well-water, *Proceedings Indoor Air 2005*

Schadkowski C., Malrieu V. (2003). Les « Sentinelles de l'air », Étude de l'exposition individuelle aux NOx, CO et BTEX dans les agglomérations de Lille et de Dunkerque, Bilan de deux campagnes de mesures

Smedge G. (2002). Cleaning methods in relation to particles and allergen at school, *Proceedings Indoor Air 2002*

Sofuoglu A., Kiyomet N. et al. (2010). Polycyclic and nitro musks in indoor air: a primary school classroom and a women's sport center, *Indoor Air*, 20(6), 515-522

SPORTE2 (2011). Project SportE2 - Intelligent Management System to integrate and control energy generation, consumption and exchange for European Sport and Recreation Buildings, FP7 ICT-EEB Grant Agreement 260124, Deliverable 1.1: Performance Criteria and Requirements, 115 p.

Turner W.A., Caulfield S.C. et al. (2002). Real-time measurement of (PM10) dust levels in a carpeted and non-carpeted school gym room, *Proceedings Indoor Air 2002*

Weinbruch S., Dirsch T. et al. (2008). Dust exposure in indoor climbing halls, *Journal of Environmental Monitoring*, 10(5), 648-654

NOTES

⁽¹⁾ D'après le planning d'utilisation du gymnase, ce dernier est utilisé tous les jours de la semaine de 9h00 à 22h00 environ.

⁽²⁾ L'ozone est en effet un composé très réactif ; il réagit avec les surfaces des environnements intérieurs.

⁽³⁾ Critère de gestion fixé à 0,01 fibre d'amiante visible par microscopie électronique à transmission par mL d'air