

L'air intérieur, pourquoi sa qualité inquiète ?



« De l'eau, de l'air, de la lumière », Tableau 14 bis, Collection de tableaux muraux Armand Colin et Cie, Paris, 1900. © BNF.

Le « syndrome du bâtiment malsain » est connu de longue date et décrit à foison dans les livres et feuillets du XIX^e siècle (comme dans *Les Misérables* de Victor Hugo). En 1912, le bon docteur Beauvillard écrivait dans *Le Médecin des Pauvres* : « L'air étant nécessaire à l'homme, et le plus impérieux de ses besoins étant celui de respirer, il est de la plus haute importance de le renouveler chaque jour dans les appartements, en tenant les fenêtres ouvertes pendant quelques heures. » Il suivait en cela les intuitions et préconisations d'un pharmacien chimiste bavarois, Max Joseph von Pettenkofer (1818-1901), pionnier de l'hygiène (et de la théorie du miasme). C'est ce que le préambule de la Charte de l'environnement définira en 2004 comme le droit de « vivre dans un environnement équilibré et respectueux de la santé. »

Les méfaits de la pollution extérieure sont aujourd'hui bien connus grâce au site d'Airparif qui donne le taux de pollution au jour le jour [1]. La qualité de l'air intérieur (QAI), bien que suspectée de longue date pour ses effets sur la santé, compte tenu du fait que nous passons environ 80 % de notre temps dans des espaces clos, n'a fait l'objet d'une analyse et d'une prise en compte scientifiquement fondée que relativement récemment. Or la QAI est généralement plus mauvaise que la qualité de l'air extérieur (QAE)... Outre des transferts de polluants (il est bon de préciser qu'il ne s'agit pas de phénomènes d'équilibre intérieur-extérieur), l'ensemble de notre environnement et de nos activités à l'intérieur est générateur lui-même de composés organiques volatils (COV) indésirables, dont le ménage fait à grand renfort de produits d'entretien : un intérieur, pour être sain, ne doit rien sentir et surtout pas le « propre » !

Les campagnes de collecte des données

Ce n'est qu'en 2001 que les pouvoirs publics français ont créé l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI), piloté par

le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB). Un dispositif permanent de collecte de données sur les polluants présents dans les atmosphères intérieures de différents lieux de vie (logements, écoles, bureaux, transports...) a été mis en place avec pour objectifs : une meilleure connaissance des niveaux d'exposition des populations à la pollution de leur environnement intérieur, une identification des sources, et *in fine* leur élimination au mieux, leur réduction au moins. Les résultats pertinents ont été notamment publiés en 2016 au travers des conclusions des opérations de recherche Primequal [2].

Une étude de 2006 rendue publique par l'OQAI a, pour la première fois, permis de dresser un état des lieux à grande échelle en France soulignant la pollution existante à l'intérieur des bâtiments. Cette pollution continue s'explique par les produits et objets de notre quotidien qui émettent de nombreuses substances, mais aussi par nos activités et nos pratiques.

Des campagnes de mesure ont été menées ciblant des environnements spécifiques. Un premier état de la qualité de l'air intérieur des logements français a été dressé en 2006 (résultat d'une campagne nationale 2003-2005 mesurant plus de trente paramètres). Une seconde campagne sera lancée par l'OQAI en 2018-2019. Les écoles maternelles et élémentaires (2012-2016) et les immeubles de bureaux (2014-2017) ont été également analysés.

Les premiers résultats : identification des polluants

Les principaux polluants de l'air intérieur ont des origines variées – constituants du bâtiment, du mobilier (611 récemment détectés !), appareils de combustion (chaudière, poêle, chauffe-eau...), transfert de la pollution extérieure (air ambiant, sols contaminés) – et dépendent également des modes de vie – tabagisme, présence d'animaux domestiques, bricolage, peinture, produits d'entretiens, etc. (voir figure).

Des valeurs guides de qualité d'air intérieur (VQAI) ont pu être définies, fondées exclusivement sur des critères sanitaires, par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses). C'est ainsi que treize polluants chimiques, principalement des COV, ont été étudiés sur les dix années d'expertise écoulées [3].

Autres polluants à évoquer : les nanoparticules de dioxyde de titane, et plus généralement les nanoparticules. Déjà présentes dans l'alimentation, certains médicaments et cosmétiques, celles-ci sont omniprésentes dans les peintures et revêtements utilisés en extérieur, mais également à l'intérieur des bâtiments. Deux études concernant le devenir des nanoparticules utilisées comme additifs des peintures de façade faites de TiO₂ et d'argent se contredisent : celle du projet de recherche européen « NanoHouse » développée entre 2010 et 2013, qui se veut rassurante, et celle menée par l'INERIS et l'Université de Compiègne, qui a montré qu'il y avait un relargage des particules de TiO₂ dans l'air sous l'effet du soleil et de la pluie [4]. Des études sont donc encore à mener.

Mais la pollution de l'air intérieur ne se limite pas aux composés chimiques, fussent-ils sous une forme physique particulière. À la demande des ministères chargés de la santé et de

l'environnement, une étude a été menée sur les moisissures qui sont présentes dans 14 à 20 % des logements en France et sur la production associée de mycotoxines dans les bâtis [5]. Il existe par ailleurs des variations géographiques des espèces fongiques, associées notamment aux caractéristiques météorologiques et climatiques, qui peuvent avoir des influences au niveau local. Cette étude traite de leurs effets sur la santé et a défini des méthodes de mesure dans l'air intérieur, les poussières déposées au sol et les matériaux. Certains groupes de population sont particulièrement sensibles : les enfants dès leur naissance, les enfants et adultes asthmatiques, les individus prédisposés à développer plus facilement des allergies (sujets atopiques) ou présentant une hypersensibilité, ainsi que les patients immunodéprimés ou atteints de pathologies respiratoires chroniques. Sont également concernées les populations potentiellement surexposées du fait de caractéristiques socioéconomiques défavorables, comme la précarité énergétique ou une suroccupation du logement.

Une étude de l'INERIS de 2008 a confirmé la pollution de l'air intérieur par les pesticides [6]. L'étude a porté sur 31 composés actifs parmi lesquels des insecticides, herbicides ou fongicides sélectionnés en fonction de leur utilisation, de leur toxicité et de leur rémanence ; les analyses ont été menées sur plus de 130 enfants âgés de six et sept ans et répartis en Ile-de-France, habitants des pavillons et des appartements, avec ou sans jardins, propriétaires ou non d'animaux domestiques. De son côté, l'OMS a préconisé un certain nombre de mesures de précaution vis-à-vis de l'humidité et des moisissures dans un document datant de 2009 [7].

Outre les polluants évoqués ci-dessus, il faut rappeler que des sources de pollution d'origine locale peuvent émaner du sol et contaminer l'air intérieur. Un des plus classiques et des mieux étudiés est le radon (produit dans la chaîne de désintégration de l'uranium), présent en tout point du territoire et dont la concentration dans les bâtiments varie de quelques becquerels à plusieurs milliers de becquerels par m³ (Bq m⁻³), selon la composition géologique du sous-sol (potentiel radon). Il existe trois catégories de communes selon les teneurs en uranium des sols et sous-sols [8]. Un diagnostic radon dans les logements devrait être imposé dès 2019 pour informer de sa présence le futur acquéreur ou locataire d'un bien, comme c'est déjà le cas pour l'amiante.

Le cas de l'amiante – largement médiatisé à juste titre – à l'origine de cancers des voies respiratoires est particulier : il a été amplement utilisé comme isolant dans la construction, notamment pour ses propriétés ignifuges et l'atténuation des bruits environnants. On en trouve dans les zones amiantifères d'où il est extrait [9]. Toute intervention sur ces terrains est de ce fait susceptible d'émettre des fibres d'amiante dans l'air.

Dans le cadre de cette réflexion, le cas particulier du bâti construit parfois sur des sols anciennement empoisonnés par des résidus industriels et/ou des déchets enfouis illégalement ne sera pas examiné, dû à sa spécificité.

Épurer, filtrer, ventiler...

Les matériaux de construction, les produits de décoration et les meubles sont régulièrement cités comme des sources potentielles de pollution des environnements intérieurs du fait de leurs émissions en substances volatiles, voire semi-volatiles. Certains vêtements neufs sont également susceptibles d'émettre des composés toxiques (teinture, apprêts...) et il est recommandé de les laver avant de les porter.

Une procédure permettant de valoriser les matériaux de construction et produits de décoration « faiblement émissifs » sur la base d'essais normalisés des émissions de composés organiques volatils a été proposée, ce qui a conduit à l'étiquetage obligatoire depuis 2013 des produits vendus en France. Dans la continuité de ces travaux et dans un contexte d'élaboration de la réglementation applicable aux meubles, l'Anses a travaillé à l'identification puis à la sélection des substances chimiques prioritaires émises par les produits d'ameublement, qui pourraient à l'avenir également faire l'objet d'un étiquetage [10].

Les dispositifs pour épurer l'air intérieur, faut-il y croire ? Ces dernières années, le marché s'est développé avec la commercialisation d'équipements revendiquant des propriétés d'épuration de l'air intérieur sous forme d'appareils autonomes, ainsi que des matériaux de construction et de décoration mettant en avant des propriétés dépolluantes.

Les données scientifiques disponibles, analysées par l'Anses [11], ne permettent pas de démontrer l'efficacité et l'innocuité (en conditions réelles d'utilisation) de ces dispositifs fonctionnant sur les principes de la catalyse ou photocatalyse, du plasma, de l'ozonation ou de l'ionisation. Concernant les produits pulvérisables revendiquant une action biocide, on connaît mal les effets sanitaires liés à l'inhalation de COV, naturels ou de synthèse, émis par ces sprays.

La propriété photocatalytique de textiles lumineux originaux semble donner des résultats encourageants en matière d'oxydation de COV. Mais des recherches complémentaires sur l'émission de nanoparticules dans l'air par les matériaux photocatalytiques, notamment lors de leur vieillissement, sont également à conduire, ainsi que l'étude de leur innocuité. De plus, l'utilisation de dispositifs d'épuration peut mener



Sources principales de COV dans l'air intérieur (en vert : liées aux occupants et à leurs activités ; en rouge : liées aux produits d'ameublement, de construction et de décoration).
 1 : fumée de tabac ; 2 : appareils de chauffage et de combustion ; 3 : chauffage d'appoint ; 4 : cuisson des aliments ; 5 : ménage ; 6 : produits d'entretien ; 7 : bricolage ; 8 : produits de bricolage ; 9 : bougies, encens ; 10 : désodorisants, parfums d'intérieur ; 11 : produits cosmétiques (déodorants, vernis...) ; 12 : humidificateurs d'air ; 13 : humidité ; 14 : imprimantes, photocopieurs ; 15 : livres et magazines neufs ; 16 : insecticides, pesticides... ; 17 : vapeurs d'essence, gaz d'échappement ; 18 : revêtements de sols (parquet, sols PVC, linoléum...) ; 19 : revêtements muraux (peinture, papier peint, tissus tendus...) ; 20 : ameublement (meubles en bois brut, en contreplaqué, canapés en tissus...) ; 21 : matériaux de construction (granit...) ; 22 : produits de mise en œuvre et de finition (colles, cires, vernis à bois...) ; 23 : isolation endommagée. © La Lettre du Pneumologue, 2012, 5, p. 140-6.

à une dégradation de la qualité de l'air intérieur, certains d'entre eux pouvant former des composés potentiellement plus nocifs que les composés faisant l'objet du traitement. Quid de la ventilation ? Son contrôle apparaît de plus en plus pertinent dans un contexte de rénovation énergétique avec des bâtiments de plus en plus perméables à l'air, et un renouvellement d'air nécessairement mécanique. Un test d'étanchéité du réseau aéraulique, en plus du test d'infiltrométrie, est déjà exigé pour l'obtention du label BEPOS-Effinergie, et un tel test sera probablement généralisé pour les nouvelles constructions.

Il existe également une réflexion sur le sujet dans l'ancien. Ainsi, dans un rapport publié à l'automne 2016, l'Anses recommandait, sans effet jusqu'ici, aux pouvoirs publics la mise en place d'un « contrôle périodique de l'efficacité de la ventilation » qui vérifierait l'état des grilles, le fonctionnement, la valeur des débits. Ce contrôle pourrait se rajouter aux diagnostics de performance énergétique lors des transactions immobilières. La filtration est une autre voie possible. De manière intuitive, on peut penser qu'une double filtration des particules et des gaz améliore largement la qualité de l'air intérieur.

D'une manière générale, les traitements de l'air pollué sont basés sur des méthodes d'oxydation, cependant le flux, modeste mais complexe, n'a pas encore permis de trouver des solutions techniques vraiment satisfaisantes. La photocatalyse (UV + TiO₂) a été expérimentée [12]. L'usage d'un plasma non thermique (en présence ou non de catalyseur), qui n'est pas encore très développé, paraît prometteur.

L'impact de la pollution de l'air intérieur plaide pour une législation

S'il ne fait aucun doute que la qualité de l'air, intérieur ou extérieur, a des effets sur la santé et le bien-être, depuis la simple gêne (olfactive, somnolence, irritation des yeux et de la peau) jusqu'à l'apparition ou l'aggravation de pathologies aiguës ou chroniques (allergies respiratoires, asthme, cancer, intoxication mortelle ou invalidante, etc.), les solutions et les décisions tardent à voir le jour. Pourquoi ? Le coût et le manque de certitudes, mais pouvons-nous continuer à subir ?

Une étude exploratoire du coût socioéconomique de la pollution de l'air intérieur a été réalisée en juin 2014 par l'Anses en lien avec un professeur d'économie de l'Université Sorbonne Panthéon I et l'OQAI [13]. Il s'agit d'une première au niveau français (moins d'une dizaine au niveau international) s'appuyant sur l'exposition à six polluants majeurs. Le coût estimé de l'impact sanitaire (décès prématurés, prises en charge des soins, pertes de production, etc.) serait d'environ 19 milliards d'euros par an.

Du fait de son effet peut-être plus insidieux que celui de l'air extérieur, la qualité de l'air intérieur n'est devenue une préoccupation de santé publique que récemment. Alors qu'existent de nombreuses comparaisons de la qualité de l'air extérieur (entre capitales européennes, ou entre France et Chine ou Japon), les informations comparatives concernant celle de l'air intérieur sont rares et peu significatives.

L'expérience menée actuellement par la ville de Toronto (Canada) est à cet égard à méditer. Un maillage de capteurs (confié à Google) permet d'agrèger des données collectives et personnelles comme la consommation en eau, en électricité, le flux de piétons et la qualité de l'air [14].

Le temps perdu est en train d'être rattrapé, avec la parution en janvier 2018 de nouveaux décrets par les ministères de la

Santé et de l'Environnement portant sur un nouveau dispositif réglementaire de surveillance de la qualité de l'air dans les établissements recevant du public (ex : opération « Un bon air dans mon école ») [15].

Il apparaît que les conditions locales, notamment géologiques, mais également socioéconomiques, industrielles ou agricoles, ont une influence majeure sur cette qualité vis-à-vis de l'ensemble de la population, et particulièrement sur les populations les plus fragiles (personnes âgées et enfants en bas âge). L'exposition *in utero* constitue probablement, quoique insuffisamment documentée, un élément important agissant sur la croissance des nouveau-nés, l'espérance de vie en bonne santé, de même que le développement de l'intelligence et la capacité à se réaliser.

Il est important, et même urgent, que la prise de conscience dépasse l'individu et qu'une législation adaptée, et adaptable en fonction de l'évolution des connaissances, protège la population, qu'il s'agisse de notre propre production ou de nos importations : produits d'entretien, modes de fabrication de nos biens mobiliers, y compris décoration, tapis, moquettes. Un décret en Conseil d'État, en cours d'élaboration, doit préciser la liste des produits concernés par un étiquetage spécifique, avec mention qualitative et quantitative des substances polluantes ainsi que leur classe de risque.

Si on peut souhaiter que la ville s'adapte aux usages des citoyens et à leur environnement, une question éthique est cependant posée : jusqu'où la surveillance et la réglementation peuvent et doivent-elles aller ? Un lourd travail mais générateur *in fine* de multiples économies.

[1] <https://www.airparif.asso.fr/indices/resultats-jour-citeair#jour>

[2] www.primequal.fr

[3] Formaldéhyde (2007 et mise à jour 2018) – le plus préoccupant puisqu'il est utilisé par les industriels comme désinfectant, fixateur ou liant dans des résines –, monoxyde de carbone (2007), benzène (2008), naphthalène (2009), trichloroéthylène (2009), particules (2010), perchloroéthylène (2010), acide cyanhydrique (2011), dioxyde d'azote (2013), acroléine (2013), acétaldéhyde (2014), éthylbenzène (2016), toluène (en cours depuis 2017).

[4] Shandiyi N. *et al.*, Emission of titanium dioxide nanoparticles from building materials to the environment by wear and weather, *Environ. Sci. Technol.*, **2015**, 49, p. 2163.

[5] <https://www.anses.fr/en/system/files/AIR2014SA0016Ra.pdf>

[6] https://www.actu-environnement.com/ae/news/pesticides_air_interieur_ineris_5043.php4

[7] WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23785740>

[8] <https://www.data.gouv.fr/fr/reuses/irs-n-connaître-le-potentiel-radon-de-sa-commune>

[9] Cartographie de l'aléa amiante environnemental naturel et évaluation de l'exposition aux fibres asbestiformes dans le cadre de l'industrie extractive, BRGM, www.brgm.fr/projet/cartographie-alea-amiante-environnemental-naturel-evaluation-exposition-fibres-asbestiformes

[10] <https://www.anses.fr/fr/content/qualit%C3%A9-de-l%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-appui-de-l%E2%80%99anses-pour-la-mise-en-place-d%E2%80%99un-%C3%A9tiquetage-pour-les>

[11] <https://www.anses.fr/fr/content/%C3%A9purateurs-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-une-efficacit%C3%A9-encore-%C3%A0-d%C3%A9montrer>

[12] Tatibouet J.-M., Plasma non thermique et traitement de l'air, *Techniques de l'ingénieur*, **2013**.

[13] www.oqai.fr/userdata/documents/455_Cout_PAI_Synthese_longue_Juin_2014.pdf

[14] Mougeot M., Google invente avec prudence la cité du futur à Toronto, *Le Monde.fr*, 04/02/2018, https://www.lemonde.fr/economie/article/2018/02/04/google-invente-avec-prudence-la-cite-du-futur-a-toronto_5251663_3234.html

[15] Plan d'action sur la qualité de l'air intérieur, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/qualite-lair-interieur>

Rose Agnès JACQUES*,

ex-rédactrice en chef de *L'Actualité Chimique*, directrice de recherche honoraire du CNRS.

Claude MONNERET**,

président honoraire de l'Académie nationale de pharmacie, directeur de recherche émérite au CNRS.

* agnes.jacquesy@noos.fr

** claudemonneret@curie.fr