

DU CONSTAT À L'ACTION : COMMENT GARANTIR UN AIR DE QUALITÉ DANS UN BÂTIMENT

Sabine Fauquez

Présidente du Pôle de compétence
Air de Veolia et Présidente
Directrice Générale d'OFIS

Frédéric Bouvier

Directeur du Pôle de compétence Air
de Veolia



Les équipes de Recherche & Innovation de Veolia étudient des solutions dédiées à des problématiques spécifiques de la qualité de l'air en partenariat avec des organismes de recherche et institutions de renom

Sabine Fauquez est Présidente du Pôle de compétence Air de Veolia et Présidente Directrice Générale d'OFIS, le bureau d'ingénierie sanitaire de Veolia. Elle a auparavant été Directrice Générale Adjointe d'Endetec, la filiale dédiée aux solutions de *monitoring* environnemental, après avoir exercé pendant plus de dix ans plusieurs fonctions de direction au sein de Veolia Eau. Sabine Fauquez est titulaire d'un Doctorat en Chimie Analytique de l'Université Pierre et Marie Curie - ESPCI et d'un certificat de Management Général du Centre de Perfectionnement des Affaires.

Frédéric Bouvier a rejoint le groupe Veolia pour prendre la direction du Pôle de compétence Air en 2018, et est devenu Directeur Général Adjoint d'OFIS. De 2015 à 2018, il a été Directeur Général de l'association Airparif¹, et a lancé l'Airlab, accélérateur de solutions innovantes pour la qualité de l'air. Auparavant, il a dirigé l'observatoire régional Atmo Rhône-Alpes et le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air. Frédéric Bouvier a suivi une formation d'ingénieur chimiste associée à un master en management et administration des entreprises.

1 Association pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique de l'Île-de-France.

Du fait de son impact sanitaire majeur, la pollution de l'air est devenue au fil des années un sujet fortement médiatisé et la quasi-totalité des messages portant sur la qualité de l'air sont aujourd'hui alarmistes, voire fatalistes. Pour sortir d'une logique anxiogène et résoudre une grande partie de la problématique, il est nécessaire d'apporter des solutions fiables et durables avec un engagement de résultat, à l'instar de ce qui est réalisé dans le traitement des autres pollutions difficiles (celles de l'eau, des déchets dangereux, des sols...). Il en va de même pour la pollution de l'air à l'intérieur des bâtiments, qui est un enjeu majeur de santé publique puisque nous passons plus de 80 % de notre temps dans des espaces fermés. Cette volonté s'inscrit dans la logique d'« *exposome*² », qui oriente les politiques publiques afin de réduire l'exposition des personnes au quotidien et tout au long de leur vie. Elle répond à une demande sociétale forte, qui privilégie une logique de protection individuelle.

Pour Veolia, garantir un air de qualité dans un bâtiment exige une démarche reposant sur trois approches complémentaires. En premier lieu, il s'agit de poser un diagnostic et d'explicitier les phénomènes de pollution en identifiant la nature de cette pollution permanente et invisible et en évaluant son niveau. C'est le service « *AIR Control* ». Puis il faut traiter cette pollution en mettant en œuvre les techniques adaptées au mode de remédiation nécessaire selon le type de bâtiment. C'est le service « *AIR Performance* ». Enfin, et compte-tenu de l'impact des comportements individuels sur la qualité de l'air, il est essentiel d'associer les différentes parties prenantes pour obtenir des résultats pérennes. C'est le service « *AIR Human* ».

Établissements scolaires, immeubles de bureaux, hôpitaux et résidences de santé, centres commerciaux, hôtels... tous ces lieux de vie sont concernés et devront proposer un air de qualité à leurs occupants. De nouvelles solutions, qui s'appuient sur l'optimisation des installations de traitement de l'air issue du savoir-faire développé pour les blocs opératoires ou les salles blanches ainsi que sur les nouvelles technologies de mesure en continu (permises par le développement de microcapteurs) sont maintenant disponibles. La généralisation de ces solutions s'appuiera sur un double levier. D'un côté, la recherche et développement pour mettre sur le marché des techniques encore plus innovantes couplant qualité de l'air et efficacité énergétique à un coût optimisé. De l'autre, un renforcement de la réglementation pour inciter à une obligation de résultats afin de garantir une bonne qualité de l'air, à l'image des décisions récentes de certains pays.

2 L'exposome est un terme nouveau qui désigne l'intégration de l'ensemble des expositions nocives environnementales, comportementales et professionnelles auquel est soumis un individu tout au long de son existence : ce concept d'exposome permet d'identifier et d'évaluer les risques potentiels pour la santé, pour mieux les prévenir sur le plan individuel et diminuer les dépenses sanitaires sur le plan collectif.

INTRODUCTION

Le monde entier fait face à l'accélération d'une nouvelle pollution, celle de l'air. Elle est devenue le principal risque environnemental mondial et un enjeu de santé publique majeur. Des efforts notables ont été faits pour lutter contre la pollution de l'air mais la tendance reste majoritairement à une aggravation du phénomène et les résultats de ces politiques apparaissent insuffisants. Quelques exemples récents illustrent l'inquiétude des populations qui refusent dorénavant de vivre dans des villes polluées : à New Delhi, des manifestations publiques ont eu lieu fin 2016 contre la lenteur d'intervention du gouvernement face à un nuage de fumée toxique qui a enveloppé la ville pendant une semaine ; en Chine, on compte plus de 500 mobilisations quotidiennes contre la pollution depuis 2015 ; à Bruxelles, des familles ont manifesté pour réclamer davantage d'actions pour réduire la pollution de l'air...

De façon concrète, des solutions existent pour prendre en charge la gestion intégrée complète de la qualité de l'air intérieur des bâtiments des secteurs public et privé

Les autorités commencent à agir à tous les niveaux. À l'échelle internationale, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) élabore actuellement une nouvelle feuille de route visant à renforcer l'action de lutte contre la pollution de l'air et ses causes³. À l'échelle supranationale, des contentieux sont engagés par la Commission Européenne vis-à-vis des pays en infraction pour non-respect des directives sur l'air ambiant. À l'échelle nationale, les réglementations se durcissent. Citons l'exemple de la Chine, où la manipulation des données sur la qualité de l'air est dorénavant pénalisée. De leur côté, les municipalités et les industriels tendent vers une économie plus propre, plus sobre et moins carbonée avec une volonté d'assurer un développement des villes et des industries qui soit compatible avec la préservation de l'environnement.

Veolia développe une expertise permettant d'assurer le bien-être et la santé des citoyens. Sur la qualité de l'air, le savoir-faire existe depuis de nombreuses années, qu'il s'agisse d'éliminer les odeurs des stations d'épuration, de traiter des fumées et de capter des composés organiques volatils issus des activités industrielles, de garantir un air pur dans les salles blanches et blocs opératoires des hôpitaux, ou encore de mener des diagnostics et des audits de qualité de l'air.

Mais il faut aller plus loin. Deux macro-leviers d'action sont à considérer. Le premier porte sur l'éradication des sources émettrices de pollution, avec la réduction en amont des émissions et le développement des métiers de la mesure et de la modélisation de l'air (pour en évaluer les effets). Le second concerne la protection des citoyens dans les lieux de vie, via la promotion de systèmes de ventilation et de filtration, la dépollution de l'air intérieur et la mise en cohérence des réglementations thermiques avec les normes sanitaires.

QUELLES SOLUTIONS POUR AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR ?

En matière de qualité de l'air intérieur, les exigences sont croissantes. C'est notamment le cas en Europe. Sur le plan technique, le renforcement de l'imperméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments, corrélé à l'engagement de réduire par deux les consommations énergétiques finales à horizon 2050⁴, implique dorénavant un pilotage précis et performant des installations de ventilation pour maintenir un air intérieur de bonne qualité et éviter les phénomènes de « syndrome du bâtiment malsain »⁵.

Les exigences augmentent également sur le plan sociétal. Les enjeux relatifs à la qualité de l'air occupent une place croissante dans les préoccupations des citoyens et des pouvoirs publics,

comme en témoigne l'étude « La qualité de l'air intérieur » réalisée par le cabinet Elabe en 2019⁶.

Depuis plusieurs années, les équipes de Recherche & Innovation de Veolia étudient et apportent des solutions à trois questions :

- Comment protéger les salariés potentiellement exposés à l'inhalation de polluants atmosphériques ?
- Comment optimiser le pilotage des installations en intégrant la qualité de l'air intérieur et l'efficacité énergétique ?
- Comment apporter des solutions dédiées à des problématiques spécifiques à la qualité de l'air ?

En partenariat avec des organismes de recherche et institutions de renom en France (Ineris, Anses, Inserm...), plusieurs outils ont été mis au point pour réduire l'exposition aux substances chimiques de nos salariés et de nos clients dans les bureaux, hôpitaux et sites industriels. À l'international (Université de Laval au Québec, Hong Kong University of Science and Technology...), des méthodes ont été définies pour concilier efficacité énergétique et qualité de l'air intérieur (avec ces aspects chimiques, biologiques ou particuliers) tant lors de la conception que de l'exploitation des équipements de ventilation et de traitement de l'air. Des innovations à l'attention des opérationnels ont également vu le jour, notamment pour la maintenance prévisionnelle des centrales de traitement d'air. Enfin, des études d'efficacité de revêtement antibactérien ont permis d'améliorer les installations existantes, tandis que des outils de surveillance et de modélisation des émissions dans l'air (y compris en termes de nuisance olfactive) ont intégré les solutions de supervision des réseaux d'eau et des équipements associés proposées par Veolia.

3 Voir l'article de Maria Neira « La transition énergétique pour une meilleure qualité de l'air : un enjeu de santé publique ».

4 Conformément à la loi 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte

5 Voir l'article de Fabien Squinazi : « Maîtriser la qualité de l'air intérieur pour préserver la santé de ses occupants ».

6 « La qualité de l'air intérieur », étude Elabe pour Veolia réalisée en France, Belgique et dans l'agglomération de Shanghaï, juin 2019. Voir l'article correspondant à cette étude dans cette même revue.

DES SOLUTIONS EXISTENT AINSI POUR UNE GESTION INTÉGRÉE COMPLÈTE (CONCEPTION, INSTALLATION, PILOTAGE ET EXPLOITATION) DE LA QUALITÉ DE L'AIR À L'INTÉRIEUR DES BÂTIMENTS, EN SYNERGIE AVEC LES SERVICES ÉNERGÉTIQUES

Ces recherches se traduisent de façon opérationnelle de la manière suivante : le premier axe d'intervention consiste à équiper les bâtiments de capteurs de mesure en continu de la qualité de l'air. L'essor des objets connectés concerne de nombreux domaines environnementaux et la qualité de l'air n'y fait pas exception. On constate ainsi que de plus en plus de capteurs équipent les villes, les bâtiments, les véhicules ou les individus. Se pose cependant la question de savoir ce que valent ces équipements et pour quels usages ils sont le plus adaptés. En l'absence de normes, il est indispensable de faire appel à un organisme expert indépendant pouvant juger de leur fiabilité, d'autant plus que ces équipements serviront au pilotage des centrales de traitement de l'air. Pour cette qualification, nous avons fait appel à l'*Airlab*⁷ qui a réalisé des tests en laboratoire. Nous avons ensuite validé les meilleurs capteurs « *in situ* » dans le cadre de notre partenariat avec le promoteur immobilier Icade et dans les locaux du siège de Veolia, l'immeuble « le V » à Aubervilliers. Les capteurs qualifiés doivent répondre à des critères de coût, de portabilité, d'ergonomie, d'exactitude pour le pilotage de la ventilation ou du recyclage de l'air intérieur et mesurer différents paramètres tels que le taux d'hygrométrie, de CO₂, de particules fines et de composés organiques volatils.

Le second axe concerne la remédiation, avec des solutions de traitement de l'air. L'*Open Innovation* de Veolia a permis d'identifier des pistes de réponse variées, qui vont de systèmes à intégrer dans une centrale de traitement de l'air existante à des boîtiers autonomes devant être disposés dans une pièce pour un traitement local. La sélection d'appareils performants s'effectue au travers de tests pour garantir l'efficacité des systèmes à déployer, tant sur les plans technique, que sanitaire. En effet, comme pour la fiabilité des appareils de mesure, certains rapports⁸ soulignent que les technologies déployées sont souvent mal maîtrisées, avec une efficacité revendiquée peu justifiée. Certains épurateurs mal conçus peuvent même aller jusqu'à dégrader la qualité de l'air intérieur en générant de nouveaux polluants. Des solutions innovantes de ventilation qui permettent d'apporter un air filtré dans les pièces de vie d'un bâtiment, avec des modalités de déploiement simplifiées et compétitives, ont également été identifiées et testées. Ces solutions proposent une approche « inversée » (insufflation d'un air filtré dans les pièces de vie) par rapport au

La généralisation du monitoring dans les bâtiments va permettre de disposer d'une multitude de données sur l'air intérieur et de développer des nouvelles connaissances pour guider les futures règles de conception et d'exploitation des bâtiments

traitement d'extraction « simple flux » habituel, permettant ainsi un traitement préalable de l'air extérieur, ce qui est impossible à réaliser en extraction « simple flux ». Elles offrent une alternative efficace et peu onéreuse pour des bâtiments de moyenne taille sans centrale de traitement d'air (petits établissements scolaires par exemple). Ces solutions sont également intéressantes pour les territoires concernés par des enjeux de gaz radon.

La mise en place de tels traitements implique de relever simultanément deux défis, d'une part celui d'améliorer la qualité de l'air de manière significative et pérenne, d'autre part celui de maîtriser les consommations énergétiques liées au poste de ventilation. En effet, la problématique de gestion énergétique est intimement liée à celle de la qualité de l'air. La plupart des projets de performance énergétique actuels ont pour conséquence un renforcement de l'isolation et une diminution du renouvellement de l'air dans les bâtiments, ce qui engendre des risques de confinement et de concentration des polluants dans les espaces intérieurs. C'est pourquoi il est crucial de disposer de la double compétence Air / Énergie pour mettre en œuvre des projets, neufs ou de réhabilitation, permettant de répondre aux enjeux environnementaux et sanitaires des bâtiments.

CANADA, MONTRÉAL - UN AIR SAIN POUR L'HÔPITAL CHUM

Le Centre Hospitalier de l'Université de Montréal, au Canada, est né en 1996 de la fusion de trois établissements. Dans le cadre d'un contrat de performance énergétique, Veolia a été retenu pour accompagner le projet de migration de cet ensemble, dit « CHUM », vers un site unique en 2016. Les questions relatives à la qualité de l'air intérieur ont fait partie intégrante de cette mission, avec des volets de *design*, d'assistance, d'opération et de gestion des risques.

Un travail a été mené en particulier sur les systèmes de récupération de chaleur par échange rotatif (roues thermiques) des centrales de traitement d'air de l'établissement. Intéressants pour leur grande efficacité en matière d'économie d'énergie, ces systèmes peuvent présenter un risque de mélange d'air neuf et d'air rejeté, ce qui questionne leur usage dans des établissements sensibles tels que les hôpitaux. L'étude a permis d'élaborer des recommandations en termes de maintenance préventive et corrective pour prévenir ce risque. Les efforts portent désormais sur les moyens à mettre en place afin d'évaluer en continu le risque microbiologique au niveau de ces systèmes.

⁷ L'*Airlab* est la plateforme d'innovation pour la qualité de l'air initiée par l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air Airparif et dont Veolia est membre fondateur. Voir l'article de Karine Léger : « Surveiller, Informer, Comprendre, Innover : le rôle d'Airparif, association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air ».

⁸ Rapport 2017 de l'ANSES « Identification et analyse des différentes techniques d'épuration de l'air intérieur émergentes ».

FRANCE - UN ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL AMÉLIORÉ POUR LA SOCIÉTÉ GÉNÉRALE

La société OFIS, filiale de Veolia spécialisée en audit de la qualité de l'air intérieur, accompagne depuis plus de dix années le groupe bancaire Société Générale dans l'amélioration de l'environnement de travail de ses salariés. La Société Générale lui a confié le suivi de

la qualité de l'air intérieur de son siège historique et de ses agences parisiennes (30 sites). Grâce au plan d'action mis en œuvre, la Société Générale a pu se conformer aux meilleurs standards de qualité d'air et offrir à ses clients et collaborateurs un confort optimisé.

GARANTIR LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR EST-IL UN PARI IMPOSSIBLE ?

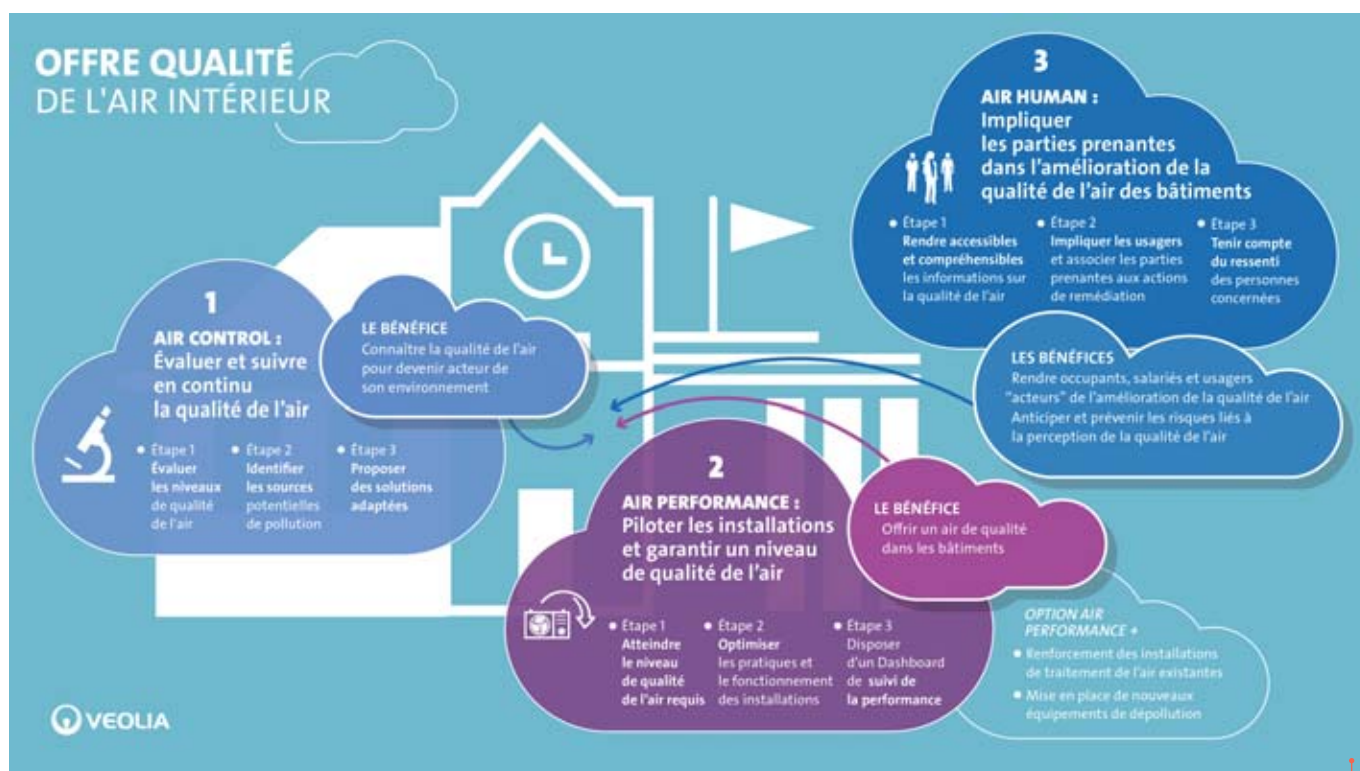
Maîtriser l'exposition aux polluants dans les espaces clos nécessite un engagement sur la qualité de l'air intérieur à respecter. Notre ambition est d'accompagner les gestionnaires de bâtiments pour garantir un air sain, en lien avec une gestion optimisée de l'énergie, afin de procurer plus de bien-être et un meilleur confort aux occupants.

Pour Veolia, garantir un air de qualité repose sur une démarche comportant trois services complémentaires :

- « *AIR Control* » qui couvre le champ de la connaissance, du *monitoring* et de l'audit. Ce service permet d'établir un état des

lieux et de proposer un plan d'actions pour améliorer la qualité de l'air ;

- « *AIR Performance* » qui intègre la gestion d'installations techniques avec une garantie de niveau de qualité de l'air à respecter. Il peut se décliner en « *AIR Performance Plus* », dès lors que des investissements matériels sont nécessaires pour atteindre les objectifs de qualité de l'air souhaités ;
- « *AIR Human* » qui implique les occupants dans l'atteinte des objectifs. Ces derniers deviennent acteurs des solutions et leurs avis sont pris en compte dans les critères de performance.



Graphique 1 - Les trois services « Air Quality Solutions » de Veolia

L'IMPACT D'UNE MAUVAISE QUALITÉ DE L'AIR ÉTANT PLUS IMPORTANT CHEZ LES PERSONNES SENSIBLES ET NOTAMMENT LES ENFANTS⁹, IL CONVIENT D'AGIR EN PRIORITÉ SUR LES ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES

Préserver un air de qualité dans les salles de classes est indispensable pour un meilleur apprentissage et une amélioration de la concentration des enfants. Dans ce contexte, et pour

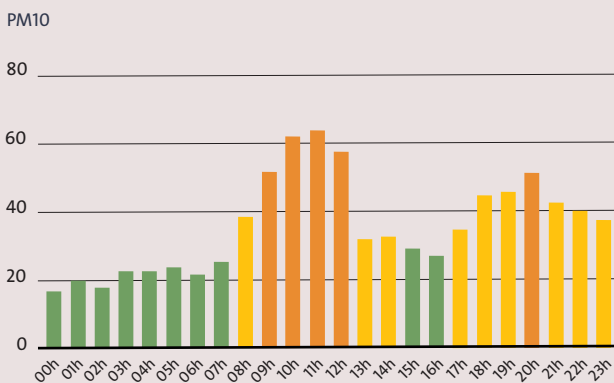
la première fois en France, deux écoles d'une commune en région parisienne (voir encadré) ont été équipées de la nouvelle solution de Veolia (*monitoring*, traitement et sensibilisation) : depuis la rentrée 2019, près de 600 élèves et professeurs respirent ainsi chaque jour un air dont la qualité est garantie (respect des seuils recommandés par l'Organisation Mondiale de la Santé). Les fréquents dépassements de concentration de particules¹⁰, de taux de Composés Organiques Volatils présents dans l'air, ou du niveau de confinement que l'on détecte habituellement dans la majorité des établissements scolaires ne sont plus observés.

9 Un adulte inspire 16 fois par minute contre 40 inspirations minute pour les enfants qui sont donc les populations les plus exposées/sensibles, d'autant qu'un enfant construit son système respiratoire au début de sa vie.

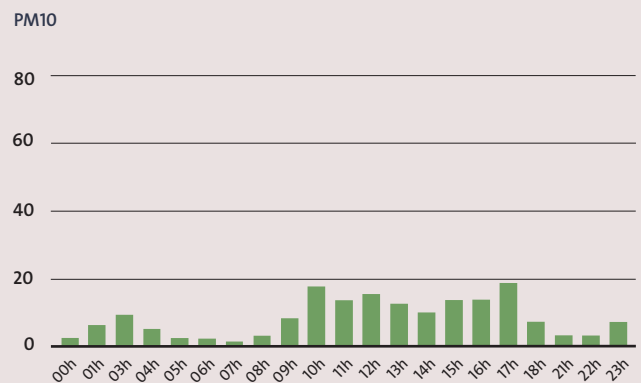
10 Sur 300 écoles françaises représentatives des écoles en France, 93 % des classes présentent des concentrations en particules fines (PM_{2,5}) supérieures à la valeur guide de l'OMS - Étude 2013-2017 de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur.

Mesure des concentrations en particules avant et après la mise en œuvre de *Air Performance*

17/09/2019 00 h 00 au 17/09/2019 23 h 59



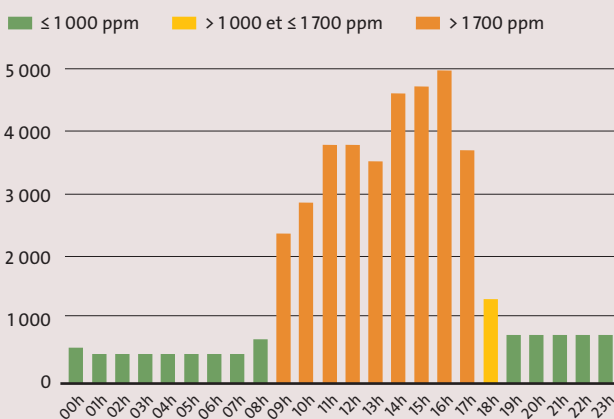
04/11/2019 00 h 00 au 04/11/2019 23 h 59



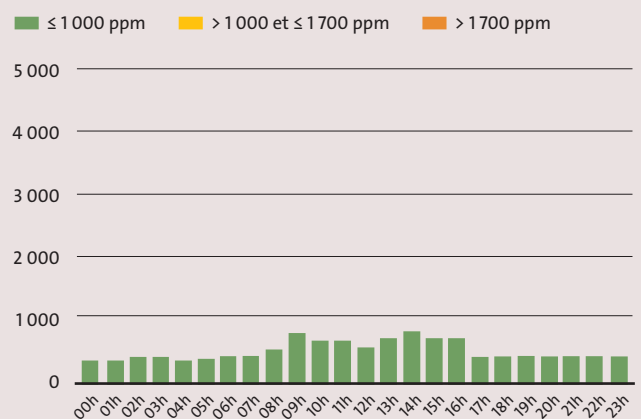
Graphique 2

Mesure des concentrations en CO₂ avant et après la mise en œuvre de *Air Performance*

08/10/2019 00 h 00 au 08/10/2019 23 h 59



19/11/2019 00 h 00 au 19/11/2019 23 h 59



Graphique 3

Cette problématique majeure se retrouve dans de nombreux autres pays, comme l'illustre l'article des équipes de la République Tchèque présenté en exemple du présent article.



Centrale de traitement d'air double flux semi-centralisée, école élémentaire La Fontaine (Le Raincy), classe n°3 - © Jade Lachery

FRANCE, LE RAINCY : LA QUALITÉ DE L'AIR GARANTIE DANS DES ÉCOLES

À l'occasion de la Journée Nationale de la Qualité de l'Air en France le 18 septembre 2019, la commune du Raincy, qui compte 14 000 habitants en région parisienne, a annoncé le lancement d'une opération visant à assurer une qualité de l'air optimale pour ses écoles.

Pour Jean-Michel Genestier, Maire de la ville du Raincy, il était « primordial de mieux connaître la qualité de l'air grâce aux capteurs installés dans les classes pour garantir un bon air aux 569 écoliers des écoles concernées ».

L'opération, menée dans deux écoles élémentaires depuis la conception jusqu'à la réalisation, démontre concrètement les trois niveaux de services (AIR Control, AIR Performance, AIR Human) proposés par Veolia.

Après avoir effectué un audit des bâtiments (pour identifier les éventuelles sources polluantes présentes dans les classes), des capteurs sélectionnés pour leur fiabilité ont été installés dans chaque classe dans l'objectif de suivre en continu la qualité de l'air intérieur en mesurant plusieurs paramètres, dont le CO₂ et les particules fines. L'objectif consistait à identifier les seuils allant au-delà de la réglementation en vigueur.

Afin de garantir la qualité de l'air respiré par les enfants, des solutions de filtration et de renouvellement d'air ont également été déployées. Elles sont pilotées de façon à pouvoir maintenir les différents paramètres de qualité de l'air en

deçà des valeurs seuils tout en optimisant les consommations énergétiques (le débit de ventilation est régulé en fonction des concentrations mesurées en temps réel dans chaque classe).

Dans mon école, c'est le Bon'AIR !

Parce que la garantie de la qualité de l'air ne se limite pas seulement à un projet d'ordre technique, les experts délivrent conseils et bonnes pratiques à l'aide d'outils pédagogiques, afin de rendre les élèves acteurs de la qualité de l'air qu'ils respirent à l'école mais aussi chez eux.

Enfin, en réponse à la demande d'information émise par les élus et les citoyens sur la qualité de l'air respiré par les écoliers, un tableau de bord « qualité de l'air intérieur » synthétisant les différents niveaux de qualité d'air au sein de chaque classe a été élaboré. Des données sont partagées avec les enseignants et les parents d'élèves, afin que tous soient informés et sensibilisés en toute transparence sur l'évolution positive de la qualité de l'air.

La solution déployée dans le cas des écoles de la ville du Raincy est transposable aux autres écoles de France qui, pour 93 % d'entre elles, ont aujourd'hui des concentrations élevées en particules fines (supérieures aux recommandations de l'OMS) et pour 41 % un indice de confinement en CO₂ très élevé ou extrême.

LES BÂTIMENTS AUSSI PEUVENT ÊTRE MALADES : LE CAS DES ÉCOLES EN RÉPUBLIQUE TCHÈQUE

Pendant des années, les bâtiments ont été rénovés pour être mieux isolés, par exemple en remplaçant les châssis de fenêtres en bois par des produits en PVC. Pour réaliser des économies de chauffage, nous avons créé un autre problème : celui de la qualité de l'air dans les bâtiments très étanches. Cette situation concerne plus de 60 % des écoles en République tchèque.

PROBLÈMES DE VENTILATION

Le Fonds d'État pour l'environnement accorde des subventions pour l'isolation des écoles. « Nous avons soutenu 1200 écoles et jardins d'enfants à hauteur de six milliards de couronnes¹⁴ », explique le porte-parole du Fonds, précisant que les projets les plus récents incluent la climatisation.

Toutefois, les directeurs d'école se plaignent maintenant du fait que les économies d'énergie réalisées sont inférieures aux coûts induits par la mauvaise qualité de l'air intérieur dans les bâtiments trop étanches, car il est alors nécessaire de ventiler et de climatiser régulièrement.

« Le problème est aigu, surtout pendant les mois d'hiver où l'on ne peut pas ouvrir les fenêtres aussi souvent pour ventiler. Dans les salles de classe, les enfants assis près des fenêtres ont très vite froid et il faut refermer avant que les autres enfants reçoivent une bouffée d'air frais », explique le directeur d'une école de grand effectif à Prague.

LES EFFETS NÉGATIFS D'UNE FORTE CONCENTRATION DE CO₂

Les concentrations élevées de dioxyde de carbone affectent à la fois les étudiants et les enseignants : fatigue et baisse de concentration sont constatées.

Le dioxyde de carbone, un gaz incolore et inodore, est un composant naturel de l'air ambiant.

Les organismes vivants le produisent comme un métabolite de la respiration cellulaire.

En concentrations plus élevées (>1000 ppm), il affecte la santé humaine, entraînant des maux de tête, de la fatigue et une baisse de l'attention.

La concentration de CO₂ peut atteindre environ 1500 ppm dans une salle de classe pendant une leçon, simplement à cause de la respiration des élèves et des enseignants. Après 90 minutes, elle peut s'élever à 2700 ppm. La fatigue et le manque d'attention deviennent des obstacles à l'enseignement et à l'apprentissage.

« Notre école a fait l'objet d'une rénovation il y a quelques années : nous avons amélioré l'isolation et remplacé les fenêtres. Depuis, l'air des salles de

classe se dégrade beaucoup plus rapidement et nous devons aérer plus souvent. Les enfants sont fatigués et somnolents. Certains enseignants se plaignent aussi d'une plus grande fatigue », poursuit le directeur de l'école.

Avec des fenêtres fermées dans les salles de classe pleines, les enfants sont plus souvent malades. En effet, les infections se transmettent plus facilement dans des environnements où le renouvellement de l'air est insuffisant. Comme il peut y avoir jusqu'à trente enfants dans une salle de classe, le risque d'infection est assez élevé. « Avec le temps, nous avons réalisé que la fatigue n'était pas le principal problème. Nous ne l'avons pas tout de suite remarqué, mais le taux de maladie chez les élèves et les enseignants a augmenté de manière significative. »

DIFFICILE DE TROUVER DES SOLUTIONS

La pollution de la qualité de l'air intérieur est difficile à déceler par nos simples sens. C'est pourquoi les bâtiments récents sont équipés de capteurs qui mesurent la qualité de l'environnement intérieur. Les capteurs mesurent la température de l'air, l'humidité et le taux de concentration du CO₂. En fonction des résultats, des actions sont entreprises pour aérer, notamment en utilisant un système automatique de contrôle du renouvellement de l'air.

Il s'avère que le fait d'aérer manuellement, même régulièrement, ne suffit pas à maintenir de faibles niveaux de concentration en CO₂ dans certains bâtiments. Les systèmes de ventilation automatique sont actuellement la seule solution vraiment efficace pour faire baisser de façon durable les concentrations de CO₂ sans intervention des utilisateurs.

« Après avoir installé les détecteurs, nous avons constaté que même le fait d'ouvrir régulièrement la fenêtre ne suffisait pas. Certains disent que les fenêtres sont trop étroites, explique l'un des enseignants. Nous nous penchons actuellement sur ce problème. Il semblerait que l'installation d'un système de ventilation active soit la meilleure solution. Nous étudions actuellement des propositions en vue d'équiper les salles de classe. »

Les pertes thermiques dues à la ventilation peuvent être réduites grâce à la récupération. La ventilation contrôlée assure un apport constant d'air frais et l'extraction de l'air intérieur détérioré, quelles que soient les conditions ambiantes et sans nécessiter l'intervention de l'utilisateur. La possibilité de respirer un air sain est à ce prix.

¹⁴ Près de 240 millions d'euros.

DES SYSTÈMES INTELLIGENTS POUR UN AIR INTÉRIEUR DE QUALITÉ

Interview de Martin Lang, directeur exécutif de LG Systems

La qualité de l'air dans les habitations et les écoles est un sujet de premier plan aujourd'hui. Quelles sont les conséquences d'une mauvaise qualité de l'air intérieur ? Quelles sont les solutions ? Nous avons interrogé Martin Lang, de LG Systems Czech Republic, qui fait partie du Groupe Veolia.

La dégradation de la qualité de l'air est un sujet récurrent. Que se passe-t-il ?

Martin Lang : Autrefois, les bâtiments étaient naturellement ventilés : la maçonnerie était poreuse et les fenêtres et portes n'étaient pas étanches. À la fin des années 1990, des travaux d'isolation à grande échelle ont été menés en République tchèque, soutenus par des subventions. Les procédés de construction ont été considérablement modifiés et la fabrication des fenêtres a connu de grands progrès. Aujourd'hui, presque tous les bâtiments en République tchèque sont isolés et équipés de nouvelles fenêtres. Il n'y a plus d'échange d'air naturel : en hiver, la condensation se forme sur les fenêtres et les moisissures commencent à se développer. L'humidité n'est pas le seul problème. Il y a aussi une forte concentration de dioxyde de carbone à l'intérieur : l'air devient étouffant et nous manquons d'oxygène.

C'est un problème majeur dans les bâtiments collectifs, comme les écoles, les hôpitaux, les cinémas ou les théâtres. Dans les nouveaux projets de construction, on résout ce problème en utilisant des systèmes de récupération de chaleur, mais les bâtiments anciens n'en ont pas.

Quels sont les effets d'un niveau élevé de CO₂ ?

M. L. : La baisse de l'immunité : dans les bâtiments scolaires isolés, le taux de maladie est deux fois plus élevé qu'auparavant. De plus, s'il n'y a pas assez d'oxygène, le corps essaie de maintenir ses fonctions de base, au détriment de l'activité cérébrale. Il en résulte de la fatigue, de la somnolence et un rendement scolaire plus faible, ce qui est particulièrement problématique pour les écoles.

Des études montrent que si une salle de classe est brièvement aérée, au bout de dix minutes les niveaux de CO₂ sont de nouveau trop élevés... On ne peut pas régler ce problème en laissant les fenêtres ouvertes en permanence : trop de pertes de chaleur et parfois trop de bruit, ce qui complique l'enseignement.

Quelle est la proportion d'écoles affectées ?

M. L. : La majorité des écoles tchèques est affectée. Ces écoles ont été isolées sans système de récupération de chaleur.

Qu'en est-il des autres pays ?

M. L. : La situation est un peu la même. Dans les années 1990, toute l'Europe a commencé à parler de réchauffement climatique et les mouvements écologiques ont pris de l'ampleur. Cela a révolutionné la construction, favorisant les bâtiments à faible consommation d'énergie. Aujourd'hui, les autres pays sont confrontés aux mêmes problèmes que nous : beaucoup de bâtiments isolés il y a longtemps n'ont pas été équipés de système de récupération de chaleur.

Quelle solution ?

M. L. : Notre entreprise a développé un système intelligent pour optimiser le fonctionnement des habitations. Au cœur du système de contrôle se trouve un microordinateur qui reçoit des informations de la part de capteurs, enregistrant entre autres la qualité de l'air, les niveaux de CO₂ et l'humidité. Si les limites sont dépassées, le système prévient l'utilisateur

pour qu'il aère. Le système peut aussi déterminer si l'utilisateur prend une douche, auquel cas l'humidité est normale, ou s'il fait humide à plus long terme et qu'il faut aérer. Les fenêtres intelligentes à récupération de chaleur améliorent aussi considérablement la qualité de l'air intérieur. En revanche, les fenêtres doivent généralement être ouvertes et fermées manuellement. L'ouverture et la fermeture automatiques sont possibles, mais elles ne sont pas toujours souhaitables pour les utilisateurs. Si la famille regarde la télévision, il n'est pas forcément agréable que la fenêtre s'ouvre dans cette pièce, ce qui peut causer des dérangements, comme des courants d'air ou du bruit.

Votre système a-t-il d'autres fonctionnalités ?

M. L. : Notre système signifie que toute la maison est intelligente et que les utilisateurs peuvent accéder à toutes les ouvertures depuis leur ordinateur ou leur téléphone portable. Le système peut contrôler les thermostats du chauffage central, afin de trouver la température la plus confortable. Le chauffage peut aussi être allumé à distance si les utilisateurs rentrent de weekend, par exemple. Le système peut allumer et éteindre les lumières et les prises, en utilisant les installations existantes, sans qu'il soit nécessaire de démonter ou remplacer les interrupteurs. Si vous partez en vacances, notre système intelligent peut simuler les mouvements dans votre maison en allumant et en éteignant les lumières et en ouvrant et fermant les stores, et il peut couper la majorité des circuits électriques pour éviter un accident. Nous prévoyons d'ajouter un réfrigérateur ou un garde-manger intelligent capable de faire des commandes alimentaires.

Notre système intelligent vous permet également de vérifier en ligne votre consommation d'eau, d'énergie et de chaleur. Il indique votre consommation en unités standard et en couronnes (monnaie locale de la République tchèque), affiche le montant prévisionnel de votre facture annuelle et souligne également les éventuelles anomalies. Les utilisateurs peuvent ainsi vérifier à tout moment si leurs mensualités sont suffisantes, plutôt que de s'inquiéter en fin d'année de recevoir des factures de chauffage, d'eau et d'électricité trop élevées.

Pouvez-vous en dire plus sur les fenêtres intelligentes ?

M. L. : Nous proposons actuellement une fenêtre intelligente composée d'un store intelligent et d'un récupérateur de chaleur intégré au cadre. Elle est particulièrement adaptée aux habitations et toutes les fenêtres n'ont pas besoin d'être équipées d'un récupérateur : le nombre d'unités dépend de la taille de la pièce à ventiler.

Avez-vous d'autres projets ?

M. L. : Nous travaillons d'arrache-pied à la prochaine révolution dans le domaine des fenêtres intelligentes. Nous voulons les équiper de pompes à chaleur pour faciliter le refroidissement et le chauffage. Pour cela, nous utilisons une fenêtre à double vitrage classique et y installons un troisième volet, avec un store intelligent intégré et un récupérateur de chaleur. Il y a des aérations sur les bords du cadre et des espaces vides d'une quinzaine de centimètres de long dans les murs. Notre fenêtre intelligente unique permet d'optimiser la qualité de l'air intérieur sans avoir à ouvrir ou à fermer, simplement en ajustant ces ouvertures et ces poches d'air. Elle trouve son application dans les appartements, les maisons, les écoles, les jardins d'enfants, les établissements médicaux, les immeubles de bureaux et autres locaux.



MÊME DANS UN BÂTIMENT NEUF INTÉGRANT DES CRITÈRES DE PRÉSERVATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR, UN AIR SAIN RESTE UN ENJEU POUR L'EXPLOITANT

Pour notre nouveau siège, l'immeuble « le V », notre objectif est d'atteindre l'excellence sanitaire et environnementale. À ce titre, assurer une bonne qualité de l'air intérieur à tous les usagers du bâtiment a été l'un des enjeux majeurs identifiés dès la phase de construction. La réalisation du bâtiment a répondu aux exigences des certifications HQE® *Excellent* et BREEAM® *Very Good*, intégrant des cibles ambitieuses pour la préservation de la qualité de l'air intérieur. Le choix de matériaux adaptés pour limiter les émissions en composés chimiques, la sélection de systèmes de traitement d'air performants et l'implantation de plus de cent capteurs de mesure du CO₂ ont contribué au bon classement du bâtiment. Aujourd'hui, en complément des audits de qualité de l'air annuels, le bâtiment est couvert par

le service « *AIR Performance* » et la qualité de l'air est pilotée avec une garantie de résultat. Cette nouvelle exigence met en évidence des variations qui n'étaient jusqu'à présent pas visibles et qui pouvaient affecter notablement le confort des occupants. A titre d'exemple, les modifications de l'usage des locaux (construction d'une nouvelle cloison, modification d'un *open-space*, etc.) pouvaient avoir des conséquences sur la qualité de l'air qui étaient mal compensées en l'absence d'ajustement du système de ventilation. De la même façon, l'ajout d'un *monitoring* en continu (près de 40 capteurs supplémentaires ont été installés dans l'immeuble pour mesurer en continu les particules fines, le CO₂ et les composés organiques volatils), permet de mieux comprendre la variation des différents paramètres de qualité de l'air et d'adapter en conséquence le pilotage des centrales de traitement de l'air.

Cette approche est déployée ailleurs dans le monde, comme l'illustre l'exemple de nos collègues en Chine.

VEOLIA EN CHINE

En Chine, les entreprises qui sont en mesure de proposer des solutions complètes de suivi (ex. : suivi en ligne de plusieurs paramètres de qualité de l'air avec suffisamment de précision et la possibilité d'exploiter et traiter les données de façon adéquate) devront présenter un avantage concurrentiel à l'avenir.

Anticipant l'accroissement des besoins dans le domaine de la qualité de l'air intérieur (QAI) et des ventes d'offres de services énergétiques aux bâtiments, Veolia a décidé de renforcer son portefeuille de services en Chine.

Pour montrer sa légitimité à opérer en Chine, Veolia est devenu le principal actionnaire de DasLinkin, une société locale spécialisée dans les services d'électricité. Ce partenariat permettra de développer le réseau et la présence géographique de Veolia ainsi que son expertise technique dans les services d'électricité haute tension et basse tension.

Linkin by Veolia a développé un projet pilote de qualité de l'air intérieur pour l'un de nos contrats phares, la concession d'eau de Shanghai Pudong :

- L'équipe a commencé par réaliser un audit de la qualité de l'air intérieur dans l'immeuble de bureaux et a installé 11 capteurs dans différentes zones du bâtiment¹¹ afin de suivre cinq indicateurs via une plateforme de surveillance. En fonction de la température, du niveau d'humidité et de la concentration de CO₂, de PM_{2,5} et de COV, la plateforme fournit automatiquement des directives aux utilisateurs finaux.
- Dans le même temps, des actions proactives ont été menées pour améliorer la qualité de l'air. Par exemple, l'équipe locale a permis une mise à niveau de l'unité de traitement d'air pour améliorer les niveaux de PM_{2,5} et de COV. Des filtres à air mobiles intelligents ont également été installés. Ceux-ci peuvent se déplacer automatiquement dans les bureaux en fonction des besoins en matière de qualité de l'air.
- Enfin, la consommation d'électricité a été intégrée à la plateforme de suivi, afin de trouver des moyens de réduire la consommation d'énergie.

Dans le prolongement de ce projet, l'ambition est de permettre l'analyse et la remédiation de la pollution de l'air.

¹¹ Ex. Dans le hall d'accueil, la salle de réunion, la salle de contrôle, les openspaces, l'office et aux abords du bâtiment

La double action consistant à révéler le niveau de qualité de l'air intérieur par la mesure en continu tout en proposant dans le même temps des solutions pour l'améliorer et la préserver, permet d'accompagner les gestionnaires qui, auparavant hésitants vis-à-vis de cette problématique complexe et anxiogène, pouvaient être tentés de la minimiser. C'est la raison pour laquelle la démarche débute le plus souvent par le service « AIR Control ». Diagnostics initiaux et *monitoring* en continu permettent de disposer d'une vision détaillée et dynamique de l'état d'un bâtiment, créant ainsi une « empreinte de la qualité de l'air intérieur ». Dès lors, il devient plus aisé d'apporter des solutions adaptées aux problèmes rencontrés.

Ce type de solution s'adapte à une grande diversité de bâtiments : hôtels, hôpitaux, gymnases, centres commerciaux, piscines, etc. Nos travaux se poursuivent pour être en mesure de traiter des pollutions spécifiques et complexes au sein d'atmosphères particulières, comme par exemple les espaces souterrains (métros par exemple).

Le développement du marché devrait aboutir à ce que les prix des équipements de mesure et de traitement deviennent encore plus compétitifs, avec des volumes suffisants pour accélérer une démocratisation du traitement de la qualité de l'air intérieur pour la santé de tous. Comme l'a récemment publié l'Urban Lab¹² de la Ville de Paris suite à un programme d'expérimentations dédiées à la qualité de l'air, l'outil réglementaire sera un levier efficace pour soutenir le développement de ces solutions. L'exemple très récent de la Belgique¹³, qui a basculé d'une démarche de moyens à une obligation de résultats et de garantie de la qualité de l'air intérieur, ouvre la voie à des réglementations plus contraignantes et plus protectrices de la santé des populations.

CONCLUSION

L'air est un bien commun et une ressource vitale pour chacun d'entre nous (nous en respirons 15 000 litres chaque jour). Dès aujourd'hui, il est possible de garantir un air intérieur de qualité dans les bâtiments et ainsi réduire l'impact sanitaire majeur de l'air pollué. Les principaux défis pour les prochaines années concernent la capacité à déployer largement et rapidement les solutions développées et à optimiser le coût du mètre cube d'air traité. Au-delà, la généralisation du *monitoring* dans les bâtiments va permettre de disposer d'une multitude de données sur l'air intérieur et de développer des nouvelles connaissances pour guider les futures règles de conception et d'exploitation des bâtiments.

¹² Laboratoire d'expérimentation urbaine de Paris&Co.

¹³ Arrêté royal du 2 mai 2019 modifiant le code du bien-être au travail en matière de qualité de l'air intérieur dans les locaux de travail