



En partenariat avec



ATMOS'FAIR 2018 : FOCUS SUR LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR

Fabien Squinazi, Médecin biologiste

« Mieux connaître le parc de bâtiments pour améliorer leur qualité d'usage, émettre des recommandations et guider les acteurs du bâtiment dans leur démarche d'amélioration de la qualité de l'air », telles sont les missions de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur présentées dans un exposé introductif par Andrée Buchmann, présidente du Conseil de surveillance. Le congrès Atmos'FAir des 19 et 20 juin 2018 a permis d'approfondir les connaissances sur la qualité de l'air intérieur que nous développerons sous quatre rubriques : exposition aux polluants dans les environnements intérieurs, appareils et matériaux dits « dépolluants », monitoring de la qualité de l'air, sites et sols pollués.

Etudes d'exposition aux polluants intérieurs

Dans les espaces de commerce et de stockage, où sont entreposés des produits manufacturés neufs ayant un fort pouvoir émissif, l'exposition des salariés est peu étudiée. Tel est l'objectif du projet ESQUISSE mené par l'INRS avec la collaboration du CSTB et de l'IMT Lille-Douai qui cible des commerces de produits différents : meubles, livres, accessoires automobiles, maroquinerie, produits de bricolage, revêtements de sol, textiles, vente dématérialisée, articles de sport et électroménager. Plusieurs supports sont mis en œuvre de façon à pouvoir identifier et quantifier 9 aldéhydes et une douzaine de composés organiques volatils. Cet outil a permis de montrer l'influence de la saisonnalité et de la ventilation et d'orienter vers des solutions de prévention, comme les stratégies de ventilation et l'agencement des lieux (Laurence Robert – INRS, *Exposition des salariés et qualité de l'air intérieur dans les espaces de stockage*).

Dans les immeubles de bureaux, l'exposition des salariés fait l'objet d'un retour d'expérience de plus de 10 ans des diagnostics réalisés par la société OFIS-VEOLIA, portant principalement sur l'évaluation des systèmes de ventilation et le contrôle de paramètres physiques, chimiques et microbiologiques. Sur près de 400 sites audités annuellement, plus de 80% nécessitent des actions correctives. Les problèmes rencontrés sont liés au confinement des locaux (centrales de traitement d'air sous-dimensionnées ou délivrant un pourcentage d'air recyclé trop élevé, non-respect du débit d'air neuf minimal de 25 m³ par heure et par occupant), à l'empoussièrément (non-adaptation des filtres à la pollution de l'air extérieur, fréquence de remplacement non optimale) et à la pollution chimique intérieure (bâtiments neufs ou rénovés, proximité de sources de pollution extérieure – station-service, pressing). En complément de ces diagnostics ponctuels, un suivi en continu de l'évolution d'indicateurs clés de la qualité de l'air permet d'obtenir des informations sur l'exploitation du bâtiment en lien avec la gestion de la ventilation et les émissions liées aux matériaux, mobilier, activités des occupants et avec la pollution extérieure (*Jean-Charles Ponelle – OFIS-SEURECA, Retours d'expériences sur la qualité de l'air dans les immeubles de bureaux : audit de la qualité de l'air et monitoring en continu*).

L'aérosol d'un produit de tabac chauffé (IQOS) est composé à 90% d'eau et de glycérine, avec une réduction de 90% des substances toxiques de la fumée de tabac et l'absence de particules carbonées. L'exposition passive à cet aérosol a été étudiée dans un restaurant japonais (Philip Morris International R&D) en mesurant à la fois les biomarqueurs urinaires et les marqueurs atmosphériques de la fumée de tabac environnementale. Il a été observé que les personnes exposées passivement n'ont pas d'augmentation à l'exposition à la nicotine, ni aux nitrosamines spécifiques du tabac. En outre, l'utilisation du produit de tabac chauffé n'impacte pas négativement la qualité de l'air intérieur, mesurée par les indicateurs suivants : nicotine, nitrosamines, PM₁ et PM_{2,5}. Une augmentation significative d'acétaldéhyde a été notée durant les sessions de non exposition et d'exposition au produit de tabac chauffé, dépassant la valeur guide OMS de 48 µg/m³. Cette augmentation a été fortement corrélée à la consommation de boissons alcoolisées (*Catherine Goujon Ginglinger – Philip Morris Products, Evaluation de la qualité de l'air et exposition passive lors de l'utilisation de produits chauffés en environnement réel – restaurant -*).

L'exposition des voyageurs et du personnel à bord des trains, notamment lors de trajets sur des lignes à grande vitesse, reste encore peu connue. Quatre journées d'essais, réalisées à bord de rames à deux niveaux de générations différentes, montre des concentrations relativement faibles de PM₁₀ (13 – 37 µg/m³) et PM_{2,5} (4 – 13 µg/m³) dans l'air intérieur des TGV, tous trajets et matériel roulant confondus. Pour les 18 composés organiques volatils recherchés, seuls le toluène, l'éthylbenzène et l'acétate de butyle ont été détectés sur un seul trajet à des concentrations de 12,5 ; 6,7 ; et 50,1 µg/m³. L'acétaldéhyde a été mesuré lors de deux trajets à des concentrations comprises entre 4 et 8 µg/m³. Le limonène a été détecté lors de trois trajets, le plus souvent en 2^{nde} classe, avec des concentrations variant entre 7,3 et 25,2 µg/m³. Le formaldéhyde a été systématiquement détecté lors de chaque trajet, à des concentrations comprises entre 3 et 10 µg/m³. En parallèle, des essais relatifs au confort olfactif dans les sanitaires ont été menés sur deux journées en technicentre. Ils montrent que les sanitaires chimiques, même après vidange et nettoyage, ont une odeur de fond légèrement plus intense et moins neutre que les sanitaires à eau claire. Des transferts d'odeurs entre les sanitaires et les espaces voyageurs sont détectés au niveau des premiers passagers. Ces résultats vont permettre d'envisager des solutions d'amélioration de la qualité de l'air et du confort olfactif à

bord du matériel roulant (*Heidi Carrilho et Fayes Ghazzi – SNCF, Agence d'essai ferroviaire, Qualité de l'air intérieur et performance olfactive à bord de trains à grande vitesse*).

Trois écoles de la ville de Lille, de caractéristiques bâtiment différentes et d'un environnement local spécifique pour chacune (proximité trafic, proximité industrielle et fonds urbain) ont été instrumentées de microcapteurs connectés, adaptés pour des mesures de qualité d'air et de bruit. Les mesures ont été réalisées sur 9 mois, au cours de campagnes de 3 à 4 semaines sur deux périodes de chauffe et hors chauffe. Les relevés à l'intérieur des classes concernent les composés organiques volatils totaux, le formaldéhyde, les particules PM_{2,5} et PM₁₀, l'ozone, le dioxyde d'azote, le dioxyde de carbone, des paramètres de confort (température et humidité relative) et des paramètres acoustiques. Les relevés à l'extérieur des classes concernent les particules PM_{2,5} et PM₁₀, l'ozone, le dioxyde d'azote, les conditions météorologiques (direction et force du vent, température et humidité relative) et les paramètres acoustiques. En outre, un diagnostic a été réalisé sur chaque bâtiment et un questionnaire sur les conditions d'occupation des salles de classe a été déployé auprès des enseignants. Les premiers résultats des mesures dans les classes révèlent des températures très élevées, supérieures à 26°C, pendant la période estivale pour les classes de deux écoles, un renouvellement d'air insuffisant dans les classes pendant la période hivernale, des concentrations assez marquées de formaldéhyde dans les classes pour deux écoles en période estivale par rapport aux mesures hivernales. Le niveau acoustique de fond dans les salles de classe est de 32 dB (plus de 60 dB avec le trafic automobile) et la présence des élèves fait augmenter ce niveau de 25 dB. Les analyses des nombreuses données obtenues lors de ce projet permettront, outre les nombreuses corrélations à étudier, de proposer des indicateurs de coexposition air-bruit (*Emmanuel Roux- Cerema, Direction Nord Picardie, Etude de la coexposition air-bruit dans les écoles de la ville de Lille*).

Le projet ESSENTIEL vise à caractériser l'impact de l'utilisation d'huiles essentielles, présentes dans des produits ménagers, sur la qualité de l'air intérieur à travers leur émission et leur devenir, notamment leurs interactions avec le bâti et les éléments de décoration. La première phase du projet consiste à étudier d'une part la composition en terpènes de 7 produits ménagers dont 6 sont certifiés par un éco-label européen et d'autre part la fraction volatilisable des Composés Organiques Volatils Terpéniques (TerCOV) à 40°C dans des micro-cellules d'exposition sous balayage d'air. Vingt-huit terpènes, à des concentrations massiques très contrastées, ont été détectés dans les produits à l'état liquide, avec l'identification dans tous les produits de limonène, linalol et d' α -terpinéol ; en revanche, seulement 22 de ces composés ont été volatilisés à 40°C et détectés dans les échantillons gazeux. Toutefois, la concentration massique en terpènes dans les produits ménagers étudiés n'est pas forcément associée au mode de diffusion ou à la catégorie de produit considérée. Il n'y a pas non plus de corrélation directe entre la composition en terpènes d'un produit et la fraction volatilisable (et donc son potentiel d'émission). On peut supposer le rôle de la matrice de formulation du produit mais aussi de la volatilité des composés terpéniques. Un nombre restreint de ces produits ménagers sera mis en œuvre dans des chambres de 1 et 40 m³ selon des scénarii réalistes afin de caractériser précisément les émissions liées à l'utilisation de produits ménagers à base d'huiles essentielles (*Shadia Angulo – IMT Lille Douai, L'utilisation des huiles essentielles dans les produits d'entretien pour la maison : quel impact sur la qualité de l'air intérieur ?*).

Pour obtenir et garantir un air intérieur de qualité, répondant aux normes sanitaires, dans les bâtiments neufs ou rénovés, une démarche qualité s'avère indispensable à toutes les phases de

construction, de rénovation ou d'extension : diagnostic du site ou de l'existant, programmation, conception, construction, réception. La phase chantier est une étape clef qui interroge sur l'impact des modalités de stockage des matériaux (exposition à l'humidité, aux poussières, à divers COV), les émissions et interactions des produits utilisés pour la pose, la substitution des produits de finition, le temps de séchage des supports, (béton notamment), la mise en œuvre des systèmes de ventilation, etc. Des ateliers courts et pragmatiques AIRBAT®, couplés à une réunion de chantier, ont été développés par MEDIECO et le cluster BATEKO. Ils regroupent tous les représentants des différents lots impliqués dans la même construction pour évoquer les bonnes pratiques concernant trois thématiques majeures : le développement des moisissures, l'augmentation des concentrations en COV et le manque ou l'insuffisance de renouvellement d'air. Le projet ICHAQAI, coordonné par le bureau d'études INDDIGO, s'est décliné en 5 étapes et sur 3 ans : définition d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs spécifiques à la phase chantier, suivi de deux opérations de construction neuve (bureaux et logements) incluant des campagnes de mesure, formulation de solutions de remédiation, évaluées en termes d'impacts technique, économique et opérationnel, rédaction d'un guide de bonnes pratiques et d'un outil de sélection des solutions les plus adaptées au contexte de l'opération, enfin, actions de communication pour une bonne appropriation des pratiques et de l'outil (Suzanne Déoux – MEDIECO, *Construire la qualité de l'air intérieur sur le chantier*) (Charline Dematteo – INDDIGO, *Impact de la phase Chantier sur la Qualité de l'Air Intérieur – projet ICHAQAI : solutions pour les acteurs de la construction*).

Appareils et matériaux de dépollution

Dans l'habitacle des voitures, les sources potentielles de microorganismes sont l'air extérieur, les occupants du véhicule et la formation de biofilm dans le circuit de traitement de l'air. L'utilisation d'un filtre à habitacle est une barrière efficace et donc un outil d'amélioration significatif de la qualité de l'air intérieur du véhicule. Une méthode d'évaluation des filtres, selon leur capacité à retenir et/ou emprisonner les bactéries et les moisissures, a été développée par Conidia et PSA Groupe avec la fabrication d'un banc d'essai spécifique, sous poste de sécurité microbiologique. Ce banc permet de générer grâce à l'action d'un ventilateur (zone d'aspiration) un flux d'air contaminé calibré traversant une veine d'air (chambre de contamination) avec un débit représentatif des vitesses d'air dans un système de traitement d'air de voiture. Les souches microbiennes sont sélectionnées suite à une série d'audits effectués dans l'air et sur les filtres des habitacles de voiture et forment un mix de différentes bactéries et moisissures, diffusées en milieu liquide par la génération d'un brouillard. La barrière filtrante est composée de deux jeux de filtres : le premier jeu est le filtre essai à tester, le deuxième est le filtre témoin, dont les caractéristiques sont connues. Après diffusion, les différents filtres sont traités par broyage pour déterminer la quantité de microorganismes sur chacun d'eux. L'efficacité du filtre essai est calculée par comparaison des quantités entre le filtre essai et le filtre témoin. Selon la nature des médias filtrants, l'efficacité des filtres est variable. Cette méthode a été validée par la société UL, organisme certificateur (Jean Baude – Conidia, *Efficacité d'un filtre à habitacle vis-à-vis des microorganismes*).

Le projet pluridisciplinaire CUBAIR (Confort des Usagers des Bâtiments tertiaires par l'usage de techniques de traitement de l'AIR), coordonné par Cerema Ile-de-France et financé par l'ADEME, a pour objectif de développer et d'étudier *in situ* un prototype original couplant différentes techniques d'épuration de l'air : l'adsorption, la filtration et la photocatalyse. Après des essais de dimensionnement réalisés en laboratoire, ce prototype a été intégré durant 10 mois au sein du

système de ventilation d'un bâtiment du secteur tertiaire à Paris. L'air extérieur passe par une centrale de traitement d'air (filtre G4) puis dans le prototype constitué d'un premier filtre constitué de trois types de charbon actif aux caractéristiques différentes et de deux filtres mécaniques de type G4 et F7. L'air est ensuite acheminé vers le photocatalyseur avant d'être insufflé dans l'air intérieur. L'association des différentes techniques retenues montre des efficacités de traitement pour les oxydes d'azote et plus particulièrement pour le dioxyde d'azote NO₂ avec 60% d'abattement ainsi que pour les PM₁ avec plus de 75% d'abattement. Les résultats dans le cas des autres composés gazeux (aldéhydes dont le formaldéhyde et les composés organiques volatils) sont à nuancer. L'existence d'un point de prélèvement entre la première partie de traitement (adsorption-filtration) et la seconde (photocatalyse) a permis d'émettre différentes hypothèses sur les rôles respectifs des différents traitements. La formation de composés secondaires en petite quantité par le traitement photocatalytique (NO₂, COV oxygénés, ...) a conduit à préconiser le couplage suivant : filtre à charbon actif – photocatalyse – filtre à charbon actif. En outre, il a été montré que le dispositif de traitement provoque une élévation de température due au fonctionnement du ventilateur et de la lampe photocatalytique, ce qui peut nécessiter un rafraîchissement complémentaire en saison chaude (*Elise Hallemans – Cerema IDF, CUBAIR. Confort des Usagers des Bâtiments tertiaires par l'usage de techniques de traitement de l'Air*).

SINIAT SA a développé une gamme de plaques de plâtre contenant une technologie de capture et de neutralisation du formaldéhyde, nommée « CAPT'AIR ». Les premiers essais réalisés en chambre d'exposition en laboratoire ont montré que les plaques PREGYROC'AIR absorbent et fixent en 2 jours environ 80% du formaldéhyde présent. L'objectif est maintenant de prouver l'efficacité de ce processus sur le long terme (plusieurs mois) dans des conditions représentatives d'un logement en France. Deux études ont été menées dans trois cellules d'essai à l'échelle 1 en présence d'une source de formaldéhyde (panneaux de bois aggloméré) : la première étude avec des plaques non peintes et la seconde étude avec des plaques peintes. Les concentrations hebdomadaires de formaldéhyde sont mesurées grâce à des tubes passifs (Radiello® code 165). Les plaques PREGYROC'AIR non peintes montrent pendant 3 mois une efficacité d'épuration stable de 67% par rapport à la cellule témoin alors qu'elle n'est que de 13% pour les plaques standard. Un mois après le retrait de la source de formaldéhyde, les concentrations sont indétectables dans la cellule des plaques PREGYROC'AIR alors qu'elles sont encore de 40 µg/m³ dans la cellule des plaques standard. Lors de la seconde étude, l'évolution des concentrations de formaldéhyde pour les plaques PREGYROC'AIR non peintes et pour les plaques PREGYROC'AIR recouvertes d'une peinture mate standard révèle une légère différence (entre 2 et 17 µg/m³), ce qui traduit une bonne porosité de cette peinture et un faible obstacle à la capture du formaldéhyde. Ceci n'est pas le cas avec les plaques PREGYROC'AIR recouvertes d'une peinture velours anti-COV, moins poreuse, pour lesquelles les concentrations de formaldéhyde augmentent progressivement durant la période d'étude de 4 mois. Ces études menées dans des conditions réelles ont montré l'influence de la température sur les émissions de la source de formaldéhyde, conduisant à des niveaux de décroissance et de stabilisation différents des concentrations de formaldéhyde. La technologie CAPT'AIR a montré son efficacité d'épuration du formaldéhyde sur de longues périodes et dans des conditions variables de température ; elle offre un élément complémentaire à la maîtrise des sources d'émission et au renouvellement d'air pour lutter contre la pollution de l'air dans les environnements intérieurs (*Mickaël Jahan - SINIAT SA et Fabien Squinazi - Médecin biologiste, Cinétique d'épuration du formaldéhyde par les plaques PREGYROC'AIR® - Etudes de longues durées dans des cellules d'essai à l'échelle 1*).

La performance des purificateurs d'air portables vis-à-vis de l'épuration des polluants particuliers est bien décrite par le CADR (Clean Air Delivery Rate) ou débit d'air épuré. Cette valeur peut être définie comme le produit du débit du purificateur par l'efficacité ou pourcentage de particules épurées. Le CADR indique avec un seul nombre la quantité et la rapidité du purificateur pour éliminer les particules dans un environnement donné. Toutefois, le CADR n'est pas suffisant pour décrire le comportement temps dépendant d'un purificateur pour l'épuration des polluants gazeux. En effet, la plupart des purificateurs utilise des adsorbants dont l'efficacité ne peut être que transitoire du fait de leur saturation progressive, ce qui n'est pas le cas avec des filtres à particules. Il est ainsi proposé d'établir la courbe de perçage (breakthrough curve – BTC) des polluants dans le purificateur. La BTC peut être obtenue selon la réponse observée, en fonction du temps, à une concentration présente à l'entrée du purificateur. Elle comporte trois informations de base : l'efficacité initiale (pourcentage de la concentration retenue dans le purificateur au début de l'essai), la capacité d'adsorption (masse de polluant pouvant être adsorbée jusqu'à saturation) et la cinétique de l'adsorption (durée d'adsorption constante). Un « CADR premier passage » peut être défini comme le produit du débit et de l'efficacité initiale. La BTC peut être mesuré sur un échantillon d'adsorbant, dans la mesure où il est utilisé dans des conditions représentatives de l'opération (densité et épaisseur de la couche d'adsorbant, vitesse d'air...). La BTC permet plusieurs applications : l'établissement d'une relation mathématique entre la concentration moyenne du polluant dans la pièce et sa concentration en sortie du purificateur, l'étude de la saturation de l'adsorbant en suivant l'évolution de la concentration dans la pièce, l'exploration de modes alternatifs d'opérations (par exemple, adsorption et destruction des polluants). La combinaison de la mesure de la BTC à un simple modèle offre ainsi des informations objectives pour l'évaluation et la comparaison sur le long terme du comportement des purificateurs d'air (*Olivier Delléa – CEA, Caractérisation de l'efficacité des épureurs d'air vis-à-vis des polluants gazeux, à différents régimes de fonctionnement*).

Monitoring de la qualité de l'air

Le nouveau dispositif réglementaire (décret n°2015-1000 du 17 août 2015) encadrant la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les écoles élémentaires, maternelles et crèches demande de réaliser avant le 1^{er} janvier 2018 une autoévaluation des moyens d'aération et la mise en œuvre, au choix, d'une campagne de mesures de polluants par un organisme accrédité ou d'une autoévaluation de la qualité de l'air au moyen du guide pratique ministériel, permettant d'établir un plan d'action pour l'établissement. Dans le cadre de la mise en œuvre de ce guide et selon certaines situations, les établissements peuvent avoir recours à l'utilisation d'un kit de mesures indicatives de la qualité de l'air permettant de mesurer les polluants ciblés par le dispositif réglementaire. La ville de Grenoble est déjà engagée depuis de nombreuses années dans des actions pour améliorer la qualité de l'air dans les écoles et les crèches, comme le choix de matériaux peu émissifs et de systèmes de ventilation performants pour les nouvelles écoles, des prescriptions pour les marchés publics (peintures, fournitures scolaires, produits d'entretien...), des formations pour les enseignants et le personnel scolaire ou des mesures de qualité d'air. Le suivi en temps réel de la qualité de l'air intérieur des bâtiments a été mis en œuvre afin de mieux connaître l'exposition réelle des enfants, de comprendre les dynamiques de la pollution en identifiant des « signatures » d'événements ou d'usage du bâti (problématiques ou vertueuses) et de mettre en place des bonnes pratiques en sensibilisant le personnel ou en modifiant l'utilisation des locaux pour améliorer la qualité de l'air intérieur. Ces travaux ont été menés avec Ethera qui a développé une station de mesure de la QAI NEMO XT associée à une visualisation des données, d'analyse et d'alerte : NEMO Cloud. La station de

mesure utilise des capteurs spécifiques de formaldéhyde et de CO₂, mais peut également accueillir des capteurs supplémentaires : particules fines PM_{2,5} et PM₁₀, COV par détection en photoionisation, COV légers, température, hygrométrie, pression, radon... Cette solution permet ainsi de gérer sur le long terme la qualité de l'air intérieur dans les écoles de la ville de Grenoble (*Romain François – Ethera et Hugues Fradet – Ville de Grenoble, Retour terrain : mise en œuvre de la solution de monitoring de la qualité de l'air intérieur d'Ethera dans les écoles de la ville de Grenoble*).

Sites et sols pollués

Le radon est un gaz radioactif naturel présent dans les roches granitiques et volcaniques. Il migre dans l'air à travers les fissures et pores du sol, et remonte dans les bâtiments par les défauts d'étanchéité de l'interface sol-bâti. Deuxième cause de cancer du poumon en France, le radon fait l'objet, en zone à potentiel moyen à élevé, d'une surveillance réglementaire dans certains locaux sensibles (écoles, lieux de travail souterrain, etc.) avec obligation des travaux de remédiation et de campagnes de prévention dans l'habitat. La plupart des campagnes de prévention consistent en l'information de populations ciblées sur une zone exposée, la distribution de kits de mesure et la proposition de conseils techniques pour le traitement des logements avec des taux de radon élevés. Le constat est fait que peu de propriétaires s'engagent par la suite dans des travaux de remédiation, à moins d'être accompagnés ou aidés financièrement. Les retours sur l'efficacité des techniques de remédiation sont donc limités à peu de bâtiments, pour lesquels de gros moyens ont été mis en œuvre pour abaisser au maximum l'exposition au radon, avec des investissements en travaux conséquents pour le salaire moyen français.

Partant de ce constat, le Cerema a étudié l'efficacité de solutions simples, permettant d'atteindre un optimum entre coûts de travaux et gains sanitaires et pouvant être généralisables à une échelle suffisamment large pour abaisser l'exposition moyenne d'une population. La campagne 2015/2016 de mesure du radon dans 1105 logements limousins, pilotée par l'Agence Régionale de Santé Nouvelle Aquitaine, a révélé des concentrations inférieures à 300 Bq/m³ dans 677 logements (61%), des concentrations comprises entre 300 et 1000 Bq/m³ dans 318 logements (29%) et des concentrations supérieures à 1000 Bq/m³ dans 110 logements (10%). Des actions simples, mises en œuvre dans des logements exposés à plus de 1000 Bq/m³, ont permis de réduire significativement les concentrations de radon ; ce sont diverses obturations, l'aération de la cave, la ventilation active ou la mise en dépression du sous-sol, l'amélioration de la ventilation du logement, un conduit d'évacuation du poêle à bois, la restauration du sol (*Enora Parent – Cerema, Traitement du radon dans l'habitat : quels résultats pour des techniques simples, à bas coût ?*).

La gestion du risque radon sur le territoire pilote de l'Arc jurassien et de la qualité de l'air en général dans le bâtiment est un des objectifs du projet interreg France Suisse JURAD-BAT afin de sensibiliser, informer et former trois publics cibles différents à savoir le grand public, les collectivités locales et les professionnels de la construction. Le but de l'étude présentée était de dimensionner le système de ventilation pour maintenir la concentration de radon au-dessous de la valeur de référence suisse de 300 Bq/m³ dans l'air des bâtiments. Un logement entièrement rénové selon le label suisse Minergie-P (constructions à très basse consommation d'énergie) dans une vieille ferme a fait l'objet depuis le mois de septembre 2017 d'un monitoring en continu de la concentration en radon, en CO₂ et des paramètres de confort (température, humidité relative et pression). Les concentrations de radon ont été mesurées selon trois modes de ventilation différents: aération naturelle par ouverture des

fenêtres [moyenne : 133 Bq/m³ (23-227)], simple flux avec entrées d'air en fenêtre [moyenne : 60 Bq/m³ (23-130)] et double flux avec récupération de chaleur selon deux périodes (moyennes : 29 Bq/m³ (12-84) et 67 Bq/m³ (12-337)). Au cours de l'automne et de l'hiver, deux pannes inattendues du système de ventilation double flux ont révélé que malgré les critères d'étanchéité à l'air requis par le label Minergie-P, le bâtiment n'en était pas moins perméable au radon (concentration de 600 Bq/m³ mesurée sur une dizaine de jours). Cette étude montre également l'influence des conditions atmosphériques dans ces trois situations sur le comportement du radon. Les auteurs concluent qu'il est très difficile de calculer le débit d'air nécessaire pour maintenir la valeur seuil de radon et recommandent que la perméabilité avec le sol soit soigneusement maîtrisée avec des méthodes spécifiques contre le radon (*Théo Perrelet – Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg, Modes de ventilation et gestion du risque radon : un couple dont on a encore à apprendre ! Exemple d'étude de cas traitée dans le cadre du projet interreg France Suisse JURAD-BAT*).

L'existence de pollutions volatiles dans le milieu souterrain doit conduire à évaluer les risques pour la santé, soit lors d'une reconversion urbaine sur des sites à passif environnemental, soit à la suite d'une dégradation de la qualité de l'air des bâtiments en lien avec une pollution du sol. L'établissement des mesures de gestion nécessite, dans le premier cas, une bonne caractérisation des concentrations en polluants volatils dans les gaz du sol et la modélisation prospective des impacts. Dans le second cas, les mesures de gestion et l'évaluation de leur efficacité nécessitent la pratique de mesures représentatives. La réalisation de telles études est bien encadrée : guide ministériel (MTES, 2017), normes pour la conduite des mesures (dont ISO 18400-204, 2017), guides méthodologiques (Fluxobat, 2013, BRGM-INERIS, 2016) mais des incertitudes demeurent sur la représentativité des mesures de concentrations (Tempair, 2017).

Le projet EFEMAIR (2017-2018), mené par BURGEAP, a pour objectif d'apporter des précisions sur le lien entre les facteurs de variabilité temporelle et les variations de concentration tant dans les gaz du sol que dans l'air intérieur, qui dépendent des spécificités des sites. Il vise à analyser l'influence des variations de conditions hydrométéorologiques, telles que la pluie, la variation de niveau de nappe, et la pression atmosphérique sur les concentrations dans l'air intérieur pour différentes situations en termes de nature du sol (hétérogènes - remblais/limon/sable -, homogène sableux, homogène limoneux) de positionnement de la source de pollution (verticale - zone d'infiltration – sous, en limite ou en dehors de l'emprise du bâtiment, horizontale – remblais dégradés – sous l'emprise du bâtiment, source en nappe) et de perméabilité de dalle (dalle peu perméable 10⁻¹⁶ m² à dalle perméable 10⁻¹² m²). Cette analyse repose sur la modélisation instationnaire avec un outil numérique 3D (SIMUSCOPP) des écoulements et du transport des pollutions gazeuses sur une période de 14 mois durant laquelle les variations de ces paramètres ont été prises en compte. Elle permet ainsi de clarifier pour différentes situations, d'une part, à l'échelle moyenne annuelle, les différences de transfert de la pollution dans le milieu souterrain et vers l'air intérieur et d'autre part, à l'échelle plurijournalière, la variabilité occasionnée par les modifications des conditions hydrométéorologiques. Les travaux du projet EFEMAIR viennent compléter les recommandations formulées dans les guides précédemment cités quant au dimensionnement et à l'interprétation des mesures de concentrations tant dans le milieu souterrain que dans l'environnement intérieur des bâtiments et l'atmosphère (*Sylvie Traverse – Burgeap, Influence des conditions hydrométéorologiques sur l'impact dans l'air des pollutions volatiles présentes dans les sols pour différentes situations*).

Dans le cas d'un dossier de cessation d'activités pour une entreprise à activités multiples (peinture, stockage...), la société HPC International a été sollicitée pour d'une part, caractériser la pollution des eaux souterraines et des gaz du sol, et d'autre part, réaliser des campagnes de mesure d'air ambiant des habitations à proximité de l'entreprise. Les polluants identifiés sont des solvants chlorés volatils (trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, dichloroéthylène et chlorure de vinyle). Les deux campagnes de mesure d'air ambiant des habitations, en périodes estivale et hivernale, ont permis de confirmer l'hypothèse de l'existence, au moins localement, d'un transfert des polluants vers l'air ambiant des logements présents en limite de site et de dresser une cartographie de la pollution. Pour les logements ne dépassant que la valeur de référence, il a été proposé la mise en place d'une surveillance périodique et des recommandations de mesures simples (ex. renforcement de l'aération). En revanche, pour les trois logements dépassant la valeur d'action rapide, un premier niveau d'actions correctives a consisté en la réalisation d'un travail d'étanchement en périphérie de tous les points de passage de réseaux (évacuation d'eaux, conduits de chauffage, gaines électriques) et dans les fourreaux (notamment électrique) et la mise en place d'une ventilation mécanique double flux avec récupération d'énergie et mise en surpression des logements afin de pouvoir filtrer l'air neuf entrant dans le centrale double flux. Si les niveaux de concentrations dans l'air restent insuffisants, il a été proposé un traitement de la fissure de retrait au sol et une ventilation du soubassement par un système de dépressurisation du sol sous dallage indépendant. Sur le site de l'entreprise, les actions correctives ont consisté en un traitement à la source des émanations vers les gaz du sol et l'air ambiant : réalisation d'un traitement par pompage (Pump & Treat), mise en place de Venting et traitement par Bio Atténuation Naturelle Dynamisée (BAND) (*Franck Karg – HPC International, Gestion de l'air ambiant des habitations contaminées par des solvants chlorés volatils. (TCE, PCE, DCE & CV) via des eaux souterraines et les gaz du sol pollués autour d'un site pollué au nord de Paris.*