Conférence sur les environnements bâtis, naturels et sociaux 18-23 août 2019, Kaunas (Lituanie)

Jérémie Achille, Tamara Braish, Marc Codaccioni, Hélène Desqueyroux, Philippe Glorennec, Benjamin Hanoune, Marion Hulin, Corinne Mandin, Mélanie Nicolas, Mariane Pourchet, et al.

▶ **To cite this version:**

Jérémie Achille, Tamara Braish, Marc Codaccioni, Hélène Desqueyroux, Philippe Glorennec, et al.. Conférence sur les environnements bâtis, naturels et sociaux 18-23 août 2019, Kaunas (Lituanie). Environnement, Risques & Santé, 2020, 19 (1), pp.51-57. 10.1684/ers.2019.1392 . hal-02546086

HAL Id: hal-02546086
https://ehesp.hal.science/hal-02546086

Submitted on 28 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conférence sur les environnements bâtis, naturels et sociaux

18-23 août 2019, Kaunas (Lituanie)

Copyright © 2022 John Libbey Eurotext. Téléchargé par EHESP ECOLE DES HAUTES ETUDES le 28/11/2022.

doi: 10.1684/ers.2019.1392

Du 18 au 23 août 2019 s'est tenue à Kaunas, en Lituanie, la conférence intitulée « Les environnements bâtis, naturels et sociaux : impacts sur les expositions, la santé et le bien-être ». Ce colloque était commun à deux sociétés savantes : l'*International Society of Exposure Science* (ISES) et l'*International Society of Indoor Air Quality and Climate* (ISIAQ). Rassemblant 474 participants de 44 pays différents, la conférence a abordé une large variété de thèmes : sources et expositions aux polluants (émissions, concentrations, modélisations, biosurveillance, etc.), évaluation des dangers et des risques, santé et confort des individus, incertitudes et perception, ou encore mesures possibles de réduction (pratiques, politiques) et communication.

Sans prétendre à l'exhaustivité, ce compte rendu présente certains éléments marquants parmi les nombreux thèmes mis à l'honneur lors de cette conférence.

Changement climatique et qualité de l'air intérieur

Depuis la conférence *Indoor Air* de 2018, le changement climatique et ses effets sur la qualité des environnements intérieurs font désormais l'objet de sessions dédiées. Une session a ainsi été consacrée à ce sujet. Le premier exposé présentait l'utilisation des résultats des mesures de température intérieure par des capteurs bas coût au domicile de particuliers. Ces mesures ont été réalisées par les particuliers eux-mêmes. Environ 1 300 familles résidant dans l'agglomération londonienne ont mis à disposition leurs données, ce qui a permis de caractériser finement les îlots de chaleur urbains lors de la canicule qu'a connue Londres durant l'été 2018.

Un autre exemple de l'utilisation de capteurs grand public a été présenté. Dans l'agglomération d'Elizabeth, NJ, États-Unis, 24 personnes âgées ont reçu des capteurs mesurant à l'extérieur et à l'intérieur de leur logement la température, l'humidité relative ainsi que les concentrations en ozone, $PM_{2,5}$ et CO_2. D'autres capteurs ont été installés de sorte à caractériser l'ouverture des fenêtres et l'utilisation de la climatisation. L'objectif était d'étudier, pendant plusieurs jours, l'impact de températures élevées (> 33 °C) sur la qualité de l'air intérieur et les comportements. L'étude démontre un effet d'une combinaison de facteurs sur les valeurs mesurées en intérieur : les températures et concentrations extérieures ainsi que les comportements individuels.

Toujours aux États-Unis, une étude menée par l'école de santé publique de Harvard visait à évaluer les impacts sanitaires liés aux expositions intérieures aux $PM_{2,5}$ d'origine extérieure, dans l'agglomération de Boston, à l'aide d'un scénario climatique pour la période 2055-2065. À partir des méthodes classiques d'évaluation de l'impact sanitaire des particules, basées sur des risques relatifs pouvant entraîner des causes de décès non accidentelles, la mortalité liée aux $PM_{2,5}$ provenant de l'extérieur est évaluée en distinguant la mortalité propre à la hausse concomitante de la température. Une augmentation de la mortalité mensuelle est ainsi calculée, pouvant aller jusqu'à 3,7 % pour le mois de septembre par rapport à la situation actuelle. Parallèlement, un effet protecteur des températures plus douces en hiver est observé, avec une réduction de la mortalité allant de 1,6 à 4,4 % pour les mois d'hiver (janvier à avril).

Enfin, une approche basée sur la modélisation a été présentée. Elle visait à évaluer, pour un bâtiment résidentiel localisé dans quatre zones climatiques contrastées aux États-Unis, l'impact de travaux de rénovation énergétique sur la qualité de l'air intérieur (utilisation du logiciel CONTAM) et sur les consommations d'énergie (logiciel EnergyPlus). Les résultats montrent d'importantes disparités régionales et soulignent l'intérêt de cette approche globale, qu'il convient également de déployer suivant des scénarios prospectifs dans le contexte du changement climatique.

Évaluation de la charge de morbidité, réglementation et surveillance de la qualité de l'air intérieur

Cette conférence a également été l'occasion de mettre en perspective les approches des différents pays au sujet du fardeau sanitaire (*burden of disease*) que représente la pollution de l'air intérieur et de la mise en place de réglementation pour limiter l'exposition des populations.

Une session a ainsi été consacrée à l'estimation de la charge de morbidité associée à l'exposition à la pollution de l'air intérieur, au niveau national (France et Chine) et européen. Une estimation basée sur les résultats des projets EnVIE, IAIAQ, HEALTHVENT et EBODE a permis d'évaluer dans 26 pays européens l'impact et la contribution relative des différents polluants dans cette charge de morbidité ainsi que la part de la pollution intérieure à cette charge en comparaison avec celle de l'extérieur. Les résultats montrent que les particules fines ($PM_{2,5}$) issues de l'extérieur ont un fardeau sanitaire élevé par rapport aux particules générées à l'intérieur des locaux, au radon, aux bioaérosols et à la fumée de tabac.

Copyright © 2022 John Libbey Eurotext. Téléchargé par EHESP ECOLE DES HAUTES ETUDES le 28/11/2022.

Ces résultats sont cohérents avec les estimations présentées dans cette même session pour la France et pour la Chine. En France, 75 % de la charge de morbidité liée à la pollution de l'air intérieur est attribuée à l'exposition aux $PM_{2,5}$ selon l'évaluation réalisée par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) et l'Anses. Les orateurs ont souligné le fait que ces estimations sont faites sur un nombre limité de polluants, en fonction des données disponibles, et en estimant la contribution relative de chacun des polluants pris individuellement, ce qui peut conduire à une sous-estimation du poids que représentent les polluants de l'air intérieur dans le fardeau des maladies. Le rôle du renouvellement d'air des bâtiments a également été évoqué. Il a ainsi été montré que la contribution des sources intérieures au nombre d'années de vie perdues pour incapacité liée à la pollution de l'air intérieur diminuait avec une augmentation du débit de ventilation : alors que cette contribution est de plus de 90 % avec un débit d'air très faible, elle passe à 50 % avec un débit d'air à 15 m^3/h par personne. Cependant, le nombre total d'années de vie perdues n'était au global que peu modifié, la diminution de la contribution des sources intérieures étant contrebalancée par celle des sources extérieures. Ceci montre l'importance de la prise en compte des problématiques de transfert dans les réflexions menées sur la qualité de l'air intérieur.

La question des valeurs guides, qu'elles soient réglementaires ou non, et de la surveillance de la qualité de l'air dans les bâtiments a également été traitée dans de nombreuses présentations, mettant en évidence une grande disparité selon les pays. Au cours de la session consacrée aux valeurs guides de la qualité de l'air intérieur, ces différences sont apparues non seulement entre pays proches, pour les pays scandinaves par exemple, mais également au sein d'un même pays, comme pour les États-Unis. L'ISIAQ a présenté un outil permettant de recenser les différentes valeurs de référence définies au niveau international, accessible sur demande[1]. Les présentations ont aussi mis en évidence une avance des pays asiatiques sur le sujet, notamment vis-à-vis de la réglementation sur la qualité de l'air intérieur. Ainsi, en Chine, une réglementation est en place depuis 2003 définissant des valeurs limites pour un grand nombre de paramètres physiques (température, humidité, débit d'air), chimiques (dioxyde de soufre, dioxyde d'azote, dioxyde de carbone, ozone, monoxyde de carbone, ammoniac, formaldéhyde, benzène, toluène, xylène, composés organiques volatils totaux, benzo[a] pyrène, PM_{10}) et biologiques (nombre de colonies bactériennes). Des évolutions sont à prévoir prochainement avec l'intégration de nouveaux polluants. En Corée du Sud, une réglementation de la qualité de l'air dans les établissements recevant du public existe depuis 2003. Elle intègre les particules ($PM_{2,5}$ et PM_{10}), le dioxyde d'azote, le formaldéhyde, le monoxyde de carbone et les bactéries. Des mesures doivent être réalisées annuellement dans les stations de métro, musées, centres commerciaux et autres lieux accueillant du public, afin de vérifier que les valeurs limites annuelles sont respectées, sous peine de sanctions financières.

Exposition des populations aux pesticides

De nombreux travaux sur l'exposition des populations aux pesticides ont également été présentés. Ces études évaluent l'exposition des populations humaines aux pesticides spécifiquement ou conjointement avec d'autres familles de substances, comme les substances perfluoroalkylées ou polyfluoroalkylées et les phtalates.

Une session entière était consacrée au projet OBO (*Onderzoek Bestrijdingsmiddelen en Omwonenden*) qui a pour objectif d'évaluer l'exposition aux pesticides de populations résidant à proximité des zones agricoles aux Pays-Bas. Ce projet, démarré en 2015, doit notamment améliorer les connaissances sur la toxicocinétique de cinq pesticides : asulame, carbendazime, chlorprophame, prochloraze et tébuconazole. Afin de mieux décrire les phénomènes de volatilisation et de dérive atmosphérique, une campagne de mesures dans l'air extérieur et les poussières intérieures a été effectuée pour des résidences situées à moins de 500 mètres d'une parcelle agricole, ainsi que dans les urines des résidents. Au total, 46 pesticides ont été mesurés dans les poussières des logements ainsi que dans l'air. Les concentrations augmentent lorsque les logements sont plus proches des zones agricoles. En parallèle, deux expériences sur des adultes sains volontaires ont été conduites. Une dose par voie orale et une autre par voie cutanée ont été administrées à deux semaines d'intervalle pour déterminer la cinétique de ces pesticides et des métabolites associés. Concernant l'exposition externe, l'inhalation et le contact cutané *via* les poussières semblent être les voies d'exposition majoritaires. Concernant l'exposition interne, les résultats pour la matrice urinaire montrent que des concentrations plus importantes sont mesurées à la suite d'une exposition par ingestion comparativement à une exposition par voie cutanée. La plupart des métabolites retrouvés ont d'ailleurs déjà été identifiés dans des études animales. L'étude conclut également sur l'obtention de corrélations positives entre les concentrations urinaires et les concentrations dans les milieux environnementaux (air et poussières).

Des travaux de modélisation ont également été présentés. Une des approches consiste à combiner cinq modèles décrivant la dérive, la volatilisation, la dispersion atmosphérique ainsi que les échanges air extérieur/intérieur et air/poussières. Une autre étude décrivait une approche intégrée

[1] ieqguidelines@gmail.com

Copyright © 2022 John Libbey Eurotext. Téléchargé par EHESP ECOLE DES HAUTES ETUDES le 28/11/2022.

de l'évaluation de l'exposition en prenant pour cas d'étude l'exposition au chlorpyriphos dans la région Picardie en France. Cette étude modélise les émissions et transferts de chlorpyriphos depuis les épandages vers les compartiments environnementaux et les populations pour estimer l'exposition externe et interne.

Quatre études de mesures d'imprégnation biologique afin d'estimer l'exposition aux pesticides ont été présentées : une cohorte américaine sur l'exposition aux néonicotinoïdes (NHANES, 2015-2016), une campagne norvégienne (dans le cadre du projet EuroMix) sur l'exposition par ingestion au boscalid et à l'imazalil, une étude allemande (GerES V) sur l'exposition au glyphosate et à certains composés organochlorés (DDE, DDT) ainsi qu'une étude irlandaise sur l'exposition au glyphosate (projet IMAGE). Des niveaux de détection très variés dans les urines selon les pesticides ont été retrouvés : 1 % pour l'imazalil, entre 0,5 et 35 % pour les néonicotinoïdes, 20 et 52 % pour le glyphosate, 46 % pour l'AMPA (métabolite du glyphosate) et 99 % pour le M510F01 (métabolite du boscalid). Ces études ont permis d'identifier des populations potentiellement plus exposées aux pesticides suivant l'âge (néonicotinoïdes, glyphosate), le sexe (boscalid), le niveau socio-économique (DDE, DDT) ou l'origine ethnique des individus (néonicotinoïdes, DDE, DDT).

Utilisation de capteurs miniaturisés pour caractériser la qualité de l'air intérieur et l'exposition des populations

L'utilisation de capteurs miniaturisés pour la caractérisation des environnements et de l'exposition des personnes a été au centre de trois sessions spécifiques (*Sensors and tools*, *Smart sensing strategies of pollutants* et *Community involvement in air quality studies*). Des communications orales ou affichées dans d'autres sessions ont également présenté des résultats obtenus avec ce type d'instruments. Ceci reflète les possibilités intéressantes fournies par ces capteurs, et l'intérêt croissant que leur portent les chercheurs.

Plusieurs études ont présenté les résultats d'évaluation en laboratoire ou dans des environnements réels de différents capteurs miniatures. Les performances métrologiques sont étudiées pour la mesure de concentrations massiques en particules ($PM_{2,5}$ en majorité, mais également PM_1, PM_{10} ou encore noir de carbone) et de concentrations de certains polluants gazeux (généralement NO_2, O_3, CO_2, CO ou COV totaux).

D'autres études se sont focalisées sur le déploiement de ces capteurs dans différents environnements, pour des campagnes de mesure pouvant durer en général quelques jours, quelques semaines voire plusieurs mois, suivant les objectifs et lieux étudiés. Il existe une grande variété d'études, comme l'évaluation de l'exposition personnelle à la pollution générée par le trafic routier à Taïwan, Toronto, en Californie ou dans l'État de New York, ou bien le transfert de particules de l'extérieur vers l'intérieur. Une étude de l'université de Haïfa (Israël) s'est par exemple focalisée sur la distribution de particules dans un pub due à la présence de fumeurs à l'extérieur. D'autres intervenants ont présenté les niveaux de pollution dans des lieux professionnels, dont de nombreux bâtiments universitaires, des hôpitaux ou bien une usine automobile. Les logements ont également été investigués, avec par exemple l'exposition des enfants à la pollution engendrée par le chauffage au bois dans le cadre de la *New Hampshire Birth Cohort Study*, ou les sources liées aux appareils utilisés et aux activités. De manière générale, les opportunités que pourraient apporter les capteurs miniatures pour les « *smart buildings* » ont été discutées, de la conception des bâtiments jusqu'à leur gestion ou encore la maintenance des systèmes de ventilation. Ces capteurs peuvent également être utiles pour la sensibilisation des publics à la problématique de la qualité de l'air. Enfin, l'utilité des capteurs lorsque des moyens de mesure classiques ne peuvent pas être mis en œuvre a été présentée dans deux posters se rapportant à une étude au Ghana. Des capteurs de CO, d'oxydes d'azote et de particules ont été utilisés pour mesurer l'exposition aux produits de combustion de biomasse, dans le cadre de mesures interventionnelles, et ont également fourni des informations quant au respect du protocole opératoire par les participants.

Un point notable est le développement de projets d'envergure, avec par exemple SensMat.eu ou encore PRAISE-HK (*Personalized Real-Time Air Quality Informatics System* – Hong Kong). Cette application[2] vise à fournir en temps réel la caractérisation des niveaux de polluants et des sources d'émission à l'échelle de la ville, avec une haute résolution spatiale et temporelle. Couplant capteurs miniatures distribués, stations de mesure fixes, météorologie, modélisation atmosphérique, *big data*, ou encore science participative, ce type de projets démontre les opportunités pour l'avenir des études sur la qualité de l'air.

Des limites ont néanmoins été énoncées sur les technologies des capteurs, l'analyse des données, le développement des moyens de contextualisation des mesures ou bien les données de sortie pour les utilisateurs. En effet, au travers des nombreuses présentations sur les capteurs et leur utilisation, une conclusion assez générale est qu'afin de déployer massivement des capteurs miniatures, les limites technologiques doivent être adressées. Des informations supplémentaires sur les performances, la précision ou l'exactitude des mesures sont requises car souvent jugées insuffisantes pour

[2] http://praise.ust.hk/

Copyright © 2022 John Libbey Eurotext. Téléchargé par EHESP ECOLE DES HAUTES ETUDES le 28/11/2022.

trancher sur la pertinence des appareils pour le but fixé. Enfin, les défis les plus importants concernent la connectivité des capteurs et l'interprétation des grandes quantités de données collectées.

Les composés organiques semi-volatils (COSV) dans les environnements intérieurs : mesure et modélisation

Un symposium a été consacré aux dernières études sur l'exposition aux COSV dans les environnements intérieurs. Leur présence dans les matériaux de construction, les produits de consommation et autres objets présents dans les habitats est largement constatée et documentée. Comprendre leur devenir et leur transport dans les environnements intérieurs est donc essentiel afin d'estimer l'exposition et les risques pour la santé. L'évaluation de l'exposition a pu être faite soit par détermination des concentrations de COSV dans les environnements intérieurs par prélèvements et analyses d'échantillons d'air et de poussières intérieurs, soit par biosurveillance de leurs niveaux ou des niveaux de leurs métabolites dans des matrices biologiques telles que l'urine, le sérum maternel, le sang ou les cheveux. La session a également permis de résumer l'état de la recherche portant sur la modélisation de la concentration en COSV à l'intérieur des locaux.

En raison de leurs propriétés physico-chimiques, les COSV sont répartis entre différents compartiments dans les environnements intérieurs : phase gazeuse, particules en suspension dans l'air et poussière déposée. Une étude sur la répartition de cinq COSV entre l'air et la poussière d'une pièce a été réalisée et les résultats montrent que ces composés sont bien quantifiés dans les deux phases. Par conséquent, les populations sont exposées à ces composés par inhalation, contact cutané et ingestion. Une campagne de mesure des concentrations de COSV dans des urines humaines, dont les sujets ont été placés dans des conditions de laboratoire contrôlées, a montré que l'absorption cutanée de COSV est majoritaire par rapport à l'inhalation. Des études de biosurveillance ont également montré que les vêtements, censés constituer une barrière protectrice contre l'absorption cutanée des COSV, peuvent en réalité accumuler des substances chimiques, entraînant une exposition accrue à celles-ci.

Peu d'études traitent des émissions de COSV issus de matériaux contrairement aux études sur leur présence dans l'air intérieur, la poussière ou les matrices biologiques. Une étude a été réalisée sur les polychlorobiphényles dans 14 produits de consommation. Une autre étude a mis au point une nouvelle méthode à l'aide d'une micro-chambre qui permet de déterminer la concentration gazeuse de COSV émis par les matériaux dans l'air intérieur. Cela permet de mieux comprendre les voies de migration entre les sources et les environnements intérieurs, et ainsi d'estimer plus précisément les risques potentiels.

Concernant la modélisation, des avancées récentes ont été présentées notamment sur l'émission et le transport des COSV, les interactions avec des particules en suspension ou encore l'absorption cutanée. Plusieurs travaux ont évalué les expositions résultant des différentes sources et média d'exposition, mais séparément. La session était l'occasion de proposer un cadre conceptuel harmonisé pour l'ensemble des voies d'exposition aux différentes sources primaires et secondaires, comme l'air et les poussières. Le besoin d'une modélisation prédictive de ces expositions a été souligné, ce qui permettrait aux agences de régulation de réaliser les évaluations de risques sanitaires. La création d'un consensus de scientifiques, à la suite d'un séminaire tenu à Pékin en mai 2019, a été présentée. Ce consensus a pour objectif d'établir une modélisation mécanistique à partir de données d'émission et de paramètres physico-chimiques, mesurables ou estimables. Il consiste en une suite de modèles, pour certains à construire, pour différentes catégories de sources et voies d'exposition déjà définies. Un tel développement harmonisé de modèles permettrait de faire des évaluations des risques sanitaires génériques, afin d'identifier les substances nécessitant une évaluation *ad hoc*.

Biosurveillance

Les travaux de biosurveillance présentés couvraient un large panel de biomarqueurs d'exposition aux pesticides, composés organiques persistants ou encore métaux. Ces composés sont principalement recherchés avec des méthodes analytiques ciblées ou semi-ciblées : la recherche de contaminants déjà connus et caractérisés par exemple, ou connus mais pour lesquels certaines informations restent incomplètes (*e.g.* toxicité). Un grand nombre d'études ont présenté les niveaux d'imprégnation de ces composés dans différentes matrices biologiques humaines. Suivant les objectifs des études, l'évaluation des expositions est réalisée aussi bien pour une population générale que spécifique, en étudiant des matrices communes (urine, sang, cheveux, etc.) ou d'autres facteurs comme le stade de vie ou le sexe (méconium, placenta, sang de cordon). Ces travaux représentent principalement trois grandes aires géographiques : les pays européens, nord-américains et asiatiques. Ils visent à identifier les déterminants et autres facteurs d'exposition ainsi qu'à mesurer l'impact des réglementations mises en place. Le cas des bisphénols A, S et F dans la cohorte française Esteban a par exemple été présenté. Les urines d'environ 1 400 citoyens âgés de 6 à 74 ans ont été analysées et l'utilisation d'emballages alimentaires a été identifiée comme source de contamination, principalement aux bisphénols S et F chez les enfants.

Copyright © 2022 John Libbey Eurotext. Téléchargé par EHESP ECOLE DES HAUTES ETUDES le 28/11/2022.

Bien que les matrices circulantes (fluides physiologiques tels que le sang et les urines) soient largement analysées, une difficulté subsiste concernant l'emploi d'une seule mesure pour les biomarqueurs à demi-vie courte dont la concentration évolue rapidement. Une étude a proposé d'investiguer le schéma des prélèvements urinaires permettant l'établissement de valeurs de doses internes fiables pour une liste de perturbateurs endocriniens (phtalates, pesticides et bisphénols). À l'aide d'une approche statistique de Bootstrap et par l'intermédiaire de prélèvements réguliers, les auteurs ont montré qu'il était difficile de classer correctement les individus par niveau d'exposition, même avec 40 échantillons prélevés. De plus, le nombre d'échantillons nécessaires pour arriver à une valeur centrale stable est dépendante de la nature de la substance. L'urine reste une matrice fréquemment prélevée pour la recherche des composés non persistants ; cependant la gestion de la variation intra-individuelle demeure une question de recherche à élucider.

Une alternative aux prélèvements urinaires consiste à utiliser des cheveux comme marqueurs d'imprégnation à divers polluants à partir d'un unique échantillon. Cette méthode de prélèvement non invasive, mesurant à la fois les composés parents et leurs métabolites, a été mise en pratique dans une étude sur une population de 117 adultes et 40 enfants vivant à Grande-Synthe. Les auteurs ont analysé, à l'aide de trois méthodes multi-résidus, 152 polluants organiques (pesticides, PCB, bisphénols, PBDE), 36 métaux, 62 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et métabolites (OH-HAP). Dans l'ensemble des échantillons, 34 à 70 polluants organiques ont été détectés chez les adultes et 33 à 70 chez les enfants. Quinze composés ont été détectés systématiquement chez les enfants, 13 pesticides et 2 bisphénols, et 14 chez les adultes, 13 pesticides et le bisphénol A. L'utilisation plus fréquente du cheveu comme indicateur d'imprégnation se justifie par son fort potentiel, car cette matrice biologique permettrait d'évaluer une partie de l'exposome d'un individu. Suivant les objectifs des études, il est toutefois recommandé de considérer la pertinence et la faisabilité d'une étape de lavage du cheveu dans le protocole de préparation de l'échantillon. Ce lavage a pour but d'éliminer les contaminants fixés aux cheveux du fait de leur présence dans l'environnement immédiat, qui ne sont pas représentatifs de l'exposition interne. Néanmoins, cette pratique augmente le risque de perdre des composés d'intérêt.

Les expositions aux polluants environnementaux des femmes enceintes ont également été abordées, avec notamment la présentation de résultats issus de cohortes mères-enfants. Les concentrations en métabolites de pesticides ou de phtalates ont été mesurées dans les urines maternelles à différents trimestres de grossesse. Dans le cadre de la cohorte californienne MARBLE, les auteurs concluent, sur la base de l'augmentation ou de la diminution de la moyenne géométrique des concentrations de plusieurs métabolites, à un changement de profil d'exposition aux phtalates des femmes enceintes entre 2007 et 2013. Les résultats de mesures réalisées à partir du sang issu de cordon ombilical ont également été présentés. Pour des raisons éthiques, il n'est pas envisagé de mesurer des concentrations fœtales de polluants en cours de grossesse. Cependant, l'utilisation des concentrations dans le sang, maternel ainsi que celui issu du cordon ombilical, comme substituts des concentrations fœtales, est intéressante mais pose des difficultés d'interprétation en l'absence d'information précise sur les scénarios d'expositions (doses, temps d'exposition, cinétiques maternelles et fœtales, etc.). Afin de mieux évaluer le risque fœtal, il convient d'étudier les liens entre expositions internes chez le fœtus et effets observés. Par expositions internes chez le fœtus, il est question des quantités de matière d'un polluant ou de ses métabolites, présents au sein même des organes en développement, ainsi que dans le système sanguin. Une étude portant sur un modèle générique de toxicocinétique, de type *Physiologically based pharmacokinetic* (PBPK), a été présentée. Ce modèle de grossesse, liant des compartiments maternels et fœtaux par une structure de passage transplacentaire, peut être utilisé pour prédire des concentrations internes fœtales au cours des trois trimestres de grossesse à partir de données issues d'études de biosurveillance : concentrations maternelles, placentaires, sang de cordons, etc. Il pourrait également servir à estimer, dans une démarche d'évaluation de risques, une dose interne fœtale associée à un indice toxicologique de la dose interne maternelle.

La biosurveillance en Europe a fait l'objet d'une conférence plénière et d'une session sur le projet européen *Human Biomonitoring for Europe* (HBM4EU, H2020[3]). Ce projet vise à caractériser l'exposome actuel des citoyens européens et son évolution, pour mieux appréhender d'éventuels risques à long terme de contamination du continuum environnement-aliment-santé. Il s'agit d'un projet de grande envergure où les scientifiques, les évaluateurs du risque chimique et les gestionnaires travaillent en étroite collaboration. Plusieurs aspects ont été présentés comme la coordination des différents laboratoires partenaires, la gestion des résultats (collecte, partage, disponibilité, etc.) ou encore des points plus spécifiques liés à certains travaux de recherche. Des nouvelles approches innovantes sont développées au sein de ce projet comme l'utilisation de réseau moléculaire afin d'avoir une évaluation globale de l'exposition, par l'établissement de corrélations entre les contaminants et l'évaluation des effets cocktail. Cette approche de traitement bio-informatique, qui éta-

[3] www.hbm4eu.eu

Copyright © 2022 John Libbey Eurotext. Téléchargé par EHESP ECOLE DES HAUTES ETUDES le 28/11/2022.

blit des liens entre les contaminants connus quantifiés à partir de méthodes ciblées, est prometteuse afin de gagner en compréhension de l'exposition des populations. Cependant, les contaminants émergents ne sont pas pris en compte par ces méthodes ciblées. L'évolution permanente de l'exposome ne peut pas être caractérisée par des méthodes recherchant des composés connus uniquement. C'est pourquoi les méthodes dites non ciblées sont développées dans le but d'anticiper de futures/nouvelles menaces pour la santé et sont complémentaires aux méthodes ciblées. Du point de vue pratique, ces approches non ciblées étudient un échantillon dans sa globalité et sans *a priori*, de sorte à identifier d'éventuels nouveaux marqueurs d'exposition. Une étude sur le lait maternel a démontré qu'à partir d'un protocole non ciblé, il était possible de retrouver des marqueurs d'exposition non réglementés qui sont pourtant potentiellement préoccupants et donc d'intérêt. Les auteurs citaient notamment les métabolites de certains pesticides comme le chlorothalonil. Toutefois, les processus de validation classiquement utilisés pour les méthodes ciblées ne sont pas nécessairement transposables aux non ciblées. Il est donc nécessaire d'adapter les protocoles d'évaluation des méthodes.

En conclusion, le développement d'outils informatiques de modélisation et d'approches non ciblées est en plein essor, afin de mieux caractériser et d'acquérir des données d'exposition le long terme. De nombreux auteurs ont souligné l'importance de considérer les métabolites des contaminants en plus des composés parents, car leur toxicité peut être plus élevée et la concentration des composés parents peut décroître rapidement en raison de la métabolisation, et ces derniers peuvent donc ne plus être détectés. Cela permet ainsi de mieux évaluer la toxicité et l'exposition aux contaminants, notamment en vue de futures réglementations.

Priorisation des polluants dans les environnements intérieurs

Au sein de cette thématique, de nombreux intervenants ont présenté des méthodes de traitement haut débit (« *high throughput screening* ») dans le but de hiérarchiser rapidement un grand nombre de substances suivant différentes informations. Une méthode développée par l'Agence américaine de protection de l'environnement se focalisant sur les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées a été détaillée, cette famille chimique présentant des enjeux sanitaires importants encore mal renseignés. L'objectif de telles études est également de mieux gérer les risques environnementaux posés par les substances en identifiant les priorités.

L'université du Michigan utilise également un modèle d'exposition fonctionnant à haut débit afin d'estimer des doses d'exposition et prioriser les polluants. Ce modèle est construit autour d'une matrice qui représente les transferts entre les différents compartiments environnementaux. Ce modèle a été testé sur trois catégories de produits : jouets, matériaux de construction et produits ménagers. Au-delà de la prédiction de doses d'exposition pour les consommateurs, les résultats montrent qu'il est possible d'utiliser cet outil pour analyser simultanément des milliers de polluants et les classer en fonction de leurs impacts sanitaires.

Le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) a, quant à lui, développé un système de notation afin d'identifier les substances prioritaires potentiellement présentes dans les environnements intérieurs. L'objectif est de pouvoir sélectionner les substances à mesurer dans les futures campagnes de mesures réalisées par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur, en particulier lors de la campagne nationale « Logements » qui va démarrer en 2020. Une large revue de la littérature a été réalisée afin d'identifier les substances potentiellement présentes : composition des matériaux et produits de consommation, données d'émission, précédentes campagnes de mesures, y compris dans la littérature grise et scientifique. Les substances sont ensuite classées suivant un système de notation attribuant des scores plus élevés aux substances présentant des effets sanitaires à long terme de type cancérogène, mutagène, reprotoxique, potentiel perturbateur endocrinien, toxicité spécifique pour certains organes cibles et sensibilisant respiratoire ou cutané. Une liste de 2 741 substances a ainsi été établie et 256 identifiées comme prioritaires. Le modèle présenté souligne toutefois l'absence de données pour 75 % des substances, renforçant le besoin de connaissances sur les substances potentiellement présentes dans les matrices environnementales et leurs effets sanitaires.

De manière générale, la plupart des présentations concluent à un manque important de données sur la toxicité et l'exposition (méthodes d'analyse et de mesure, sources, transferts, niveaux de concentration), ainsi que sur les coûts et performances pour l'ensemble des matrices environnementales (air, sols, eaux) quand des méthodes de prélèvement et d'analyse existent bien.

Notion de microbiote « sain » en lien avec une humidité optimale dans les bâtiments

Une session a abordé l'humidité et la composition microbiologique de l'air intérieur. Le Dr Taylor de la *Harvard Medical School* observe qu'un air sec altère les fonctions de barrière et diminue la résistance aux infections chez l'homme. Les mécanismes de protection respiratoire auraient besoin d'une humidité relative entre 40 et 60 % ; en dessous et au-delà, les pathogènes présenteraient un potentiel infectieux plus élevé et, en conséquence, des défenses plus faibles observées pour l'homme d'après

plusieurs études. Ces conditions optimales d'humidité relative sont reprises par les médecins de l'Académie nationale des sciences, affirmant que ce sont des déséquilibres du microbiote qui vont favoriser la survenue de maladies. Un autre facteur important serait le « microbiote » propre aux bâtiments. Des éléments tels que la structure, les matériaux, la ventilation ou les pratiques des occupants vont entraîner la sélection de différents micro-organismes qui, par la suite, survivent et interagissent avec les occupants. Une faible biodiversité de ces organismes aura pour conséquence une moyenne plus élevée de pathogènes. En comparaison, l'homme ayant vécu plus de 350 000 ans au sein de la nature dans des écosystèmes riches d'une flore très variée (eau, air, sol, plantes), cela lui a permis de développer son système immunitaire. Depuis deux siècles, ce mode de vie a considérablement changé et la population passe aujourd'hui plus de 80 % de son temps dans des espaces clos. Ces bâtiments offrent peu de niches où des bactéries peuvent se développer. Pour des raisons d'hygiène, les matériaux sont de plus en plus hydrophobes, inorganiques et non poreux. Ces conditions de stress peuvent sélectionner des bactéries capables de dormance, multi-résistantes. Selon les intervenants, le concept d'hygiène tel qu'il est compris à ce jour devrait être revu, car nos meilleurs alliés contre les pathogènes sont leurs compétiteurs non dangereux, la flore commensale. Les conseils généraux prodigués sont donc de conserver un lien avec la nature de sorte à développer au mieux un système immunitaire résistant, tout en évitant l'exposition fréquente à des produits chargés en substances chimiques tels que les produits d'entretien. Les environnements entièrement stériles ne conviennent que dans des cas spécifiques tels que les hôpitaux (salles d'isolement, salles d'opération chirurgicale, etc.).

Jérémie Achille, Tamara Braish, Marc Codaccioni, Hélène Desqueyroux Philippe Glorennec, Benjamin Hanoune, Marion Hulin, Corinne Mandin, Mélanie Nicolas, Mariane Pourchet, Gaëlle Raffy, Corentin Regrain, Wenjuan Wei
<jeremie.achille@cstb.fr>
<corinne.mandin@cstb.fr>

Copyright © 2022 John Libbey Eurotext. Téléchargé par EHESP ECOLE DES HAUTES ETUDES le 28/11/2022.