



RENCONTRES SCIENTIFIQUES

Recherche sur l'air

Sources, effets sanitaires
et perspectives

17 octobre 2019
DOSSIER
DU PARTICIPANT

Cité internationale
universitaire de Paris
Espace Adenauer
17 bd Jourdan 75014 Paris



#RencontresSc

Éditorial

La qualité de l'air, qu'il s'agisse de l'air extérieur ou de celui des environnements clos, demeure un enjeu majeur de santé publique et constitue un sujet important de préoccupations pour nos concitoyens. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), chaque année, près de 7 millions de décès prématurés sont imputables à la pollution de l'air extérieur et intérieur au niveau mondial.

L'air que nous respirons véhicule des contaminants chimiques, physiques ou biologiques qui peuvent altérer notre santé. Liés à l'activité humaine (transports, industries, gestion des déchets, pratiques agricoles, chauffage, activités domestiques) ou à des phénomènes naturels (sable de désert, feux de forêts, éruptions volcaniques), ces contaminants peuvent provoquer des affections cardiovasculaires et respiratoires. Plus récemment, des effets sur le cerveau et la reproduction ont également été mis en évidence.

L'ADEME et l'ANSES mènent de nombreux travaux sur la qualité de l'air. Les rencontres scientifiques co-organisées par les deux agences le 17 d'octobre 2019 ont pour objectif de présenter les avancées de la recherche dans le cadre des projets qu'elles financent, et qui mettent en exergue leur complémentarité. Ces rencontres ont aussi pour rôle de favoriser les échanges au sein de la communauté scientifique nationale, en y associant les différents acteurs de la société.

Le programme de ce colloque rend compte des multiples questions sur lesquelles les chercheurs de disciplines variées travaillent. Le tour d'horizon commencera par des travaux sur la caractérisation des sources de polluants et de l'exposition à laquelle l'Homme est soumis et se poursuivra par la présentation d'études sur les effets sanitaires et sur les impacts sociétaux. Il était également important de montrer des exemples de ce que la recherche peut proposer en termes de solutions. Seront également exposés une étude financée par l'ADEME dressant l'état des lieux des connaissances apportées par les études expérimentales des sources de particules fines en France, ainsi que les travaux d'expertise de l'ANSES sur les effets des particules de l'air ambiant sur la santé et l'impact du trafic routier.

L'ANSES soutient la recherche au travers du pilotage du Programme national de recherche Environnement-Santé-Travail (PNR EST), qui permet de développer les connaissances en appui aux politiques publiques et aux travaux d'évaluation des risques sanitaires. La thématique de l'air est présente dans ce programme de recherche depuis sa création en 2006. Par ailleurs, l'expertise de l'Anses est fortement mobilisée sur l'évaluation des risques liés à la qualité de l'air et de leur impact sur la santé.

L'ADEME participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. En matière de qualité de l'air, les actions de l'Agence visent notamment à mieux comprendre les déterminants des pollutions de l'air, développer des outils d'aide à la décision et de nouvelles solutions (techniques, organisationnelles...) et à soutenir l'expérimentation et l'évaluation d'actions en faveur de la qualité de l'air, en tenant compte du contexte socio-économique et de la nécessité d'actions intégrées.

Sur ce sujet, la recherche est essentielle : elle enrichit les connaissances scientifiques nécessaires pour évaluer l'impact sur la santé et appuyer les actions en faveur de la qualité de l'air et de l'amélioration de la santé publique. Cette conviction est au cœur du choix de l'ADEME et de l'ANSES, deux agences engagées dans la recherche sur la qualité de l'air, d'organiser conjointement un colloque scientifique afin de présenter les avancées dans ce domaine au travers des projets qu'elles financent.

Roger Genet
Directeur général de l'Anses

Arnaud Leroy
Président de l'ADEME

08 h 20

Accueil des participants

08 h 50

Accueil

Arnaud Leroy, Président de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)

Roger Genet, Directeur général, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES)

09 h 20

Ouverture

Ministère de la transition écologique et solidaire (sous réserve)

Ministère des solidarités et de la santé (sous réserve)

Animation de la journée par Valéry Dubois, journaliste

09 h 35

Conférence introductive

Pollution de l'air : histoire, connaissances actuelles et défis de demain

Rachel Nadif, Inserm

10 h 00

SESSION 1 - Sources de polluants et mesure de l'exposition

Impact du renouvellement des appareils domestiques de chauffage au bois sur les émissions atmosphériques de particules et sur la qualité de l'air intérieur (mesures réalisées en Vallée de l'Arve)

Serge Collet et Virginie Migne, Ineris

Qualité de l'air intérieur dans les établissements hospitaliers

Estelle Baurès, EHESP

Qualité de l'air intérieur des logements contaminés par les moisissures : indicateurs de l'exposition humaine et gestion de l'habitat dégradé

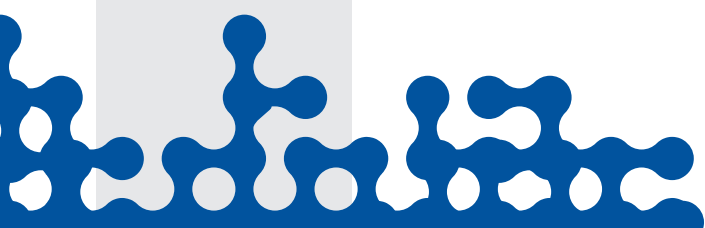
David Garon, Université de Caen Normandie

Caractérisation des polluants et de leur évolution atmosphérique (combustion de biomasse et véhicules récents)

Barbara D'Anna, Université d'Aix Marseille

11 h 25

Pause café



11 h 45

SESSION 2 - Science pour l'expertise collective

État des lieux sur les connaissances apportées par les études expérimentales des sources de particules fines en France

Caroline Marchand, Ineris

Physicochimie des particules de l'air ambiant : effets sur la santé et investigation de la source «Trafic routier»

Margaux Sanchez, Anses & Michel André, IFSTTAR

12 h 45

Mise en perspective des enseignements de la matinée

13 h 00

Déjeuner sur place

14 h 15

SESSION 3 - Polluants de l'air : effets sur la santé et impact sociétal

TOXICOLOGIE

Impact des caractéristiques physicochimiques sur l'effet inflammatoire et pro-allergisant respiratoires des nanoparticules manufacturées

Françoise Pons, Université de Strasbourg

Effets cardiovasculaires de polluants atmosphériques d'origine automobile : étude par inhalation chez le rat de l'effet du NO₂ seul et en mélange dans des gaz d'échappements de moteurs diesel

Christelle Monteil, Université de Rouen

Toxicité neurodéveloppementale d'une exposition gestationnelle à la pollution atmosphérique. Effets à court et à long terme de l'inhalation répétée de particules de fumées de diesel chez le lapin

Henri Schroeder, Université de Lorraine

ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES ET IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

Impact des brumes de sable sur les naissances prématurées en Guadeloupe

Jean-François Viel, IRSET

Influence des facteurs socio-économiques sur l'exposition à la pollution atmosphérique dans trois cohortes européennes : EGEA, SAPALDIA et ECRHS

Bénédicte Jacquemin, IRSET

16 h 05

Évaluation économique des effets sanitaires cumulés de la pollution de l'air intérieur et extérieur

Simone Schucht, Ineris

SESSION 4 - Des solutions et des moyens de lutte

Utilisation de codes-barres pour évaluer les expositions aux produits de nettoyage/désinfection à domicile, à l'hôpital et en crèches

Étude de faisabilité et projets en cours

Nicole Le Moual, Inserm

**Impact de la phase chantier sur la qualité de l'air intérieur :
identification de solutions pratiques**

Charline Dematteo, Inddigo

**Confort des usagers des bâtiments tertiaires par l'usage
de techniques de traitement de l'air**

Elise Hallemans, Cerema

Engagement citoyen en faveur de la qualité de l'air

Claire-Emmanuelle Leconte, Ville de Rennes & Gwendoline L'Her, Ecole centrale de Nantes

17 h 20

Conclusion

Jean-Luc Fugit, Député du Rhône, Président du Conseil national de l'air

17 h 40

Clôture

Ministère de la transition écologique et solidaire (sous réserve)

Ministère des solidarités et de la santé (sous réserve)

Comité scientifique et organisation

Charly Blanc (Anses) ; Fabrice Coutureau-Vicaire (Anses) ; Armelle Degeorges (Anses) ;
Hélène Desqueyroux (ADEME) ; Laetitia Dubois (Anses) ; Nadia Herbelot (ADEME) ; Valérie Pernelet-Joly
(Anses) ; Nathalie Poisson (ADEME) ; Sabine Puiseux (Anses) ; Nathalie Ruau (Anses) ; Denis Tappero
(ADEME)



BIOGRAPHIES ET RÉSUMÉS

SESSION 1 - Sources de polluants et mesure de l'exposition

Impact du renouvellement des appareils domestiques de chauffage au bois sur les émissions atmosphériques de particules et sur la qualité de l'air intérieur (mesures réalisées en Vallée de l'Arve)

Serge Collet, Virginie Migne-Fouillen, Guillaume Karr, Morgane Salomon

Ineris, Verneuil en Halatte

Biographies

Serge Collet, responsable d'affaires à l'unité «Caractérisations des émissions atmosphériques et aqueuses (EMIS)», Direction des risques chroniques (DRC) de l'Ineris - Ingénieur spécialisé dans la mesure des émissions atmosphériques, il réalise notamment des études de comparaison de techniques de mesurages et de validations de méthodes, ainsi que des campagnes de mesures sur tous secteurs industriels. Il appui le MTES pour ses travaux réglementaires.

Virginie Migne-Fouillen, responsable d'affaires à l'unité « Caractérisation du milieu air en proximité de source », Direction des risques chroniques de l'Ineris - Ingénieur généraliste avec une spécialité en (éco) toxicologie et en surveillance des milieux atmosphériques, elle pilote et interprète des campagnes de mesures de caractérisation de la qualité de l'air intérieur et de surveillance de la qualité de l'air autour des sites ICPE. Elle participe à la commission de normalisation AFNOR X431 « Qualité de l'air intérieur ». Elle appui le MTES pour ses travaux réglementaires.

Résumé

Les projets CARVE et QAI-Arve ont pour objectif d'apporter des éléments permettant de mieux cerner l'efficacité de l'opération Fonds Air Bois de la Vallée de l'Arve. Cette opération pilote vise à aider financièrement les particuliers pour remplacer leurs anciens appareils de chauffage au bois par des appareils de chauffage à bûches ou à granulés ayant des performances équivalentes à celles requises par le label Flamme verte.

Les essais ont été menés *in situ*, chez des particuliers dans des conditions réelles de fonctionnement des appareils. Les mesures ont été réalisées dans une trentaine de logements avant et après changement de l'appareil. Les essais ont porté sur les émissions de particules en sortie de cheminée (CARVE) et sur les concentrations en composés organiques volatils dans l'air intérieur de logements (QAI-Arve). Ces projets conjoints se sont appuyés sur la Confédération des ramoneurs Savoyards, en charge des mesures à l'émission et du déploiement de kits de mesure en air intérieur et sur le Syndicat mixte d'aménagement de l'Arve et de ses abords (SM3A) en charge du suivi du fonds. Les mesures ayant lieu chez des particuliers, des méthodes de mesures et de prélèvements simplifiées mais fiables ont été mises en œuvre.

Les résultats du projet CARVE éclairent sur l'impact du renouvellement des appareils sur les émissions de polluants et sur les rendements. Lors du renouvellement d'un appareil ancien par un appareil récent performant, les réductions des émissions particulaires estimées sont en moyenne de 57% lors du remplacement d'un appareil ancien par un appareil à bûches récent et de 44% lors du remplacement par un appareil à granulés.



L'augmentation des rendements énergétiques (respectivement 16 et 34 points) va permettre de réduire les consommations de bois pour une quantité d'énergie délivrée équivalente. Outre un gain financier lié à l'achat du combustible, cette moindre consommation de bois contribue à réduire substantiellement les émissions polluantes.

Le projet QAI-Arve concerne la mesure en air intérieur des composés organiques volatils (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes, naphthalène) et des aldéhydes (formaldéhyde, acétaldéhyde, hexanal, benzaldéhyde). En considérant le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, le toluène et l'o-xylène, l'analyse statistique des résultats montre que la qualité de l'air intérieur s'est améliorée après changement d'appareil. A l'inverse, pour l'hexanal, la qualité de l'air intérieur s'est dégradée pour les foyers équipés d'appareil à granulés. Leur oxydation peut être un facteur explicatif, mais aucun impact sanitaire n'a été mis en évidence.

Néanmoins, il est difficile de relier le changement d'appareil de chauffage avec l'évolution des concentrations en polluants. En effet, de nombreuses sources intérieures peuvent contribuer à l'apport en polluant (travaux, ménage, cuisine), tout comme les pratiques des particuliers (durée de fonctionnement de l'appareil, temps d'aération).

Références

- Emissions de polluants liés à la combustion du bois (Pollution atmosphérique numéro spécial - 2009)
- Facteurs d'émission de polluants des installations de chauffage domestique au gaz et au fioul (2009 - disponible en ligne sur www.ineris.fr)
- Contribution of residential combustion to ambient air pollution and greenhouse gas emissions, ETC/ACM Technical Paper 2015/1 February 2016
- Synthèse des études à l'émission réalisées par l'Ineris sur la combustion du bois en foyers domestiques (2018 - disponible en ligne sur www.ineris.fr)
- POPEYE – « Résultats d'analyse de pesticides dans les poussières collectées chez les particuliers avec un aspirateur ». Ineris-DRC-17-139159-00532A, Ineris, 2017

CARVE : projet financé par l'ADEME. QAI-Arve : projet financé par l'ADEME dans le cadre de l'APR 2015 de son programme CORTEA.

Qualité de l'air intérieur dans les établissements hospitaliers

Estelle Baurès¹, Jean-Pierre Gangneux^{2,3}, Pierre Le Cann¹, Olivier Blanchard², Arnaud Florentin^{4,5}

¹École des hautes études en santé publique (EHESP), Rennes ; ²CHU Rennes, Rennes ; ³Université de Rennes 1, Rennes ; ⁴CHRU Nancy, Nancy ; ⁵Université de Lorraine, Nancy

Biographie

Estelle Baurès est ingénieure de recherche à l'École des hautes études en santé publique (EHESP). Diplômée de l'Université Aix-Marseille, docteure en physico-chimie environnementale, son domaine d'expertise porte essentiellement sur la qualité des eaux et de l'air intérieur dans un contexte d'évaluation des risques dans le domaine environnement-santé. C'est dans ce domaine qu'elle est habilitée à diriger des recherches par l'Université de Rennes 1.

Résumé

Les objectifs du projet QAIHOSP étaient de disposer de données qualitatives et quantitatives sur la contamination de l'air intérieur hospitalier par des substances chimiques et des agents microbiens, d'étudier la variabilité spatio-temporelle de la contamination et de proposer une méthodologie simple transposable pour d'autres établissements

Matériels et méthodes

L'étude Qaihosp a été menée au CHU de Rennes et au CHRU de Nancy. Deux campagnes de prélèvements ont été réalisées dans chaque hôpital (hiver et été). Des échantillons d'air intérieur ont été prélevés pendant quatre jours consécutifs dans 7 pièces (une chambre d'hospitalisation, une salle de soins infirmiers, une salle de réveil postopératoire, une pièce de laboratoire, l'unité de désinfection et de stérilisation des endoscopes, une salle de découpe de plâtres et le hall central d'accueil).

Les paramètres chimiques retenus pour l'étude sont : 7 aldéhydes, 34 composés organiques volatils et 13 composés organiques semi-volatils. De même, les agents microbiologiques recherchés couvrent des moisissures (5), des bactéries (5) et 3 virus. Enfin, les particules ont aussi été prélevées pour être analysées.

Résultats

Les résultats ont montré une pollution plutôt faible de l'air intérieur contenant un mélange complexe de substances chimiques, physiques et d'agents microbiologiques du même ordre de grandeur dans les deux hôpitaux. Parmi les substances chimiques, les aldéhydes, le limonène, les phtalates et les hydrocarbures aromatiques sont présents en faible concentration en comparaison avec celle de l'air intérieur des habitats. Toutefois, l'éthanol présente une concentration médiane de 246 µg/m³, probablement due à l'utilisation intensive de solutions hydro-alcooliques. La contamination retrouvée en aldéhydes est essentiellement due aux matériaux de construction et d'ameublement et aux produits d'entretien. Concernant les microorganismes, les concentrations semblent plus liées aux activités qu'au site géographique. Les niveaux de contamination bactérienne et fongique étaient généralement très faibles sauf dans la salle de découpe de plâtres, le hall d'entrée et le laboratoire de parasitologie-mycologie (dans les deux hôpitaux).

Conclusion

Cette étude a permis de mesurer une vaste gamme de composés chimiques et de micro-organismes. Les résultats ont montré que l'air intérieur contient un mélange complexe d'agents chimiques, physiques et microbiologiques.



Notre étude montre aussi une faible contamination en comparaison avec celle de l'air intérieur des habitats et cela sûrement grâce au bon fonctionnement de la ventilation. Enfin, des investigations complémentaires sont recommandées avec une surveillance des expositions individuelles aux SHA (solutions hydroalcooliques), la recherche de nouveaux composés, une surveillance microbiologique tournée vers la détection de la résistance des bactéries aux antibiotiques, une surveillance dans d'autres établissements de santé, etc. Le projet Médiqai (Qualité de l'air intérieur des structures médicosociales et libérales), soumis à l'APR 2017 du PNR EST Anses est actuellement en cours de réalisation.

Références

- E. Baurès, J-P. Gangneux, P. Le Cann, O. Blanchard, A. Florentin. Qualité de l'air intérieur dans les établissements hospitaliers – résultats du projet Qaihosp, Techniques Hospitalières, en cours de soumission, (2019)
- E. Baurès, O. Blanchard, F. Mercier, E Surget, P. Le Cann, A. Rivier, J-P. Gangneux, A. Florentin. Indoor air quality in two French hospitals: measurement of chemical and microbiological contaminants, Science of the Total Environment 642 (2018) 168–179

QAIHOSP : projet financé par l'ADEME dans le cadre de l'APR 2013 du PNR EST Anses.

Qualité de l'air intérieur des logements contaminés par les moisissures : indicateurs de l'exposition humaine et gestion de l'habitat dégradé

Antoine Delanoë¹, Virginie Séguin¹, Véronique André¹, Stéphanie Gente¹, Philippe Vérité², Edwige Votier², Natacha Heutte³, David Garon¹

¹ABTE-ToxEMAC, Université de Caen ; ²ABTE-ToxEMAC, Université de Rouen ; ³CETAPS, Université de Rouen

Biographie

Pharmacien et docteur de l'Université de Grenoble, David Garon est professeur de botanique et mycologie à l'UFR Santé de l'Université de Caen où il enseigne les sciences végétales et fongiques. Ses activités de recherche en mycologie concernent les bioaérosols et la qualité de l'air. Il développe également un axe de valorisation de la biodiversité fongique (mycoremédiation, thérapeutique).

Résumé

La qualité de l'air dans les habitats est un problème majeur en Europe, où les personnes passent une grande partie de leur temps en milieu intérieur. Selon l'OMS, de nombreux habitats sont touchés par l'humidité et le développement de moisissures qui sont à l'origine de conséquences sanitaires (pathologies respiratoires) et économiques (dégradation du bâti). L'exposition aux contaminants biologiques aériens (bioaérosols) est complexe et reste ainsi difficile à appréhender.

Matériels et méthodes

L'étude MOLD'AIR propose une approche globale associant enquêtes de terrain et expérimentations en laboratoire. Elle vise à mieux décrire l'exposition aux bioaérosols dans des habitations dégradées par les moisissures, étudier leurs effets sur la santé des résidents et proposer une démarche diagnostique applicable à l'habitat dégradé.

Des habitats présentant le développement de moisissures sont sélectionnés par l'intermédiaire de partenaires locaux (services d'hygiène de la ville de Caen, Lisieux, CAF du Calvados, ...) et font l'objet d'une visite à domicile durant laquelle des prélèvements d'air sont réalisés et un questionnaire santé-habitat est renseigné. À partir des bioaérosols collectés les moisissures viables, les endotoxines et les β -D glucanes sont quantifiés.

Résultats

Nous avons ainsi mis en évidence la présence récurrente de certains espèces fongiques, notamment *Aspergillus versicolor*, *Penicillium chrysogenum* et *P. crustosum*, qui pourraient être utilisées comme indicateurs microbiologiques de contamination fongique de l'air intérieur. Par ailleurs les analyses statistiques ont permis de montrer des liens entre les concentrations de certaines espèces de micromycètes dans l'air et les catégories de surface contaminées proposées par l'Anses. Des relations ont également pu être établies entre l'exposition à ces moisissures et certaines manifestations respiratoires et cutanées mentionnées chez les résidents. Un volet toxicologique a également été initié avec l'évaluation du potentiel cytotoxique des bioaérosols collectés dans les habitats dégradés sur des lignées cellulaires pulmonaires et cutanées.

Conclusion

Une base de données « Habitats dégradés » a ainsi pu être établie et continue d'être incrémentée par l'étude de nouvelles habitations, afin de pouvoir à terme établir des seuils d'exposition fongique. Des isolats fongiques collectés à partir des bioaérosols sont également caractérisés et pourront être mobilisés pour de futures études en laboratoire.



Références

- Heutte N., André V., Dubos Arvis C., Bouchart V., Lemarié F., Legendre P., Votier E., Louis M-Y., Madelaine S., Séguin V., Gente S., Vérité P., Garon D. 2017. Assessment of multi-contaminant exposure in a cancer treatment center: a 2-year monitoring of molds, mycotoxins, endotoxins, and glucans in bioaerosols. *Environmental Monitoring Assessment* 189(31), 1-14
- Mouhamadou B., Sage L., Perigon S., Séguin V., Bouchart V., Legendre P., Caillat M., Yamouni H., Garon D. 2017. Molecular screening of xerophilic *Aspergillus* strains producing mycophenolic acid. *Fungal Biology* 121, 103-111
- Dujardin N., Feuillet V., Garon D., Ibosa L., Marchetti M., Peiffer L., Pottier D., Séguin V., Theile D. 2018. Impacts of environmental exposure on thermal and mycological characteristics of insulation wools. *Environmental Impact Assessment Review* 68, 66-80
- Delanoë A., Guillamin M., Heutte N., Gente S., Séguin V., Garon D. 2018. Interest of the qPCR method calibrated with flow cytometry to quantify *Aspergillus versicolor* in mold-damaged homes and comparison with the cultural approach. *Atmospheric Pollution Research* 9(5), 871-876
- Delanoë A., Seguin V., Andre V., Gente S., Verite P., Votier E., Richard E., Bouchart V., Delfour M., Heutte N., Garon D. 2018. Bioaerosols exposure assessment in mold-damaged houses located in Normandy (France). *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 230, 313-320

MOLD’AIR : projet financé par l’ADEME dans le cadre de l’APR 2017 de son programme AACT-AIR.

Caractérisation des polluants et de leur évolution atmosphérique (combustion de biomasse et véhicules récents)

Barbara D'Anna¹, Álvaro Martinez-Valiente³, Amélie Bertrand¹, Henri Wortham¹, Evangelia Kostenidou¹, Baptiste Marques¹, Brice Temine-Roussel¹, Yao Liu³, Cédric Louis², Michel André², Boris Vansevanant², André Prévôt⁴, Imad El Haddad⁴, Guilia Stefenelli⁴, Nicolas Marchand¹

¹Laboratoire chimie environnement, Université Aix-Marseille, CNRS, Marseille, France ; ²IFSTTAR, AME, LTE, Lyon, France ; ³IRCELYON, UMR 5256 CNRS, Université de Lyon, Villeurbanne, France ; ⁴Laboratory of Atmospheric Chemistry, Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland

Biographie

Barbara D'Anna est directrice de recherche au CNRS. Elle a obtenu en 2001 un doctorat sur la dégradation atmosphérique des composés organiques volatils (COV) à l'Université d'Oslo. Après un post-doc aux Etats Unis, elle intègre le CNRS en 2006. Ses centres d'intérêts scientifiques portent sur la métrologie des particules atmosphériques, leur évolution et leur analyse avec un intérêt particulier pour la fraction organique de l'aérosol et ses conséquences sur la qualité de l'air.

Résumé

Le transport routier et le chauffage au bois peuvent contribuer significativement aux émissions de polluants et posent de sérieux problèmes en termes de qualité de l'air et de santé publique. Les émissions primaires de ces deux sources ont été étudiées depuis de nombreuses années, même si des incertitudes persistent sur les niveaux d'émissions des nouveaux véhicules (Euro5 et Euro6). Le devenir des émissions de ces sources dans l'atmosphère, et par conséquent leur impact global, reste mal connu. Les projets CAPVEREA et VULCAIN (Programme CORTEA) ont porté sur l'étude des émissions primaires par des véhicules Euro5 et par trois types d'appareils de chauffage au bois ainsi que de leur vieillissement.

Résultats

Véhicules Euro5. Les résultats des expériences montrent qu'une fraction non-négligeable du nombre total des particules émises (cas des particules de diamètre inférieur à 23 nm) par les véhicules modernes n'est pas prise en compte dans le protocole métrologique réglementaire actuel. Les particules émises par ces véhicules contiennent principalement des suies, ainsi que des inclusions métalliques, du soufre et des HAP. Pour les véhicules testés, des émissions de particules en nombre avec des teneurs en carbone-suie plus importantes ont été observées pour le véhicules essence Injection Directe sans FAP que pour le véhicule Diesel Euro 6 équipé d'un FAP. Les travaux conduits dans un réacteur à écoulement ont montré l'impact important des températures de séjour sur les phénomènes d'oxydation et sur la génération des AOS.

Combustion de la biomasse. Les résultats des expériences mettent clairement en évidence le rôle déterminant du potentiel de formation d'aérosols secondaires des effluents gazeux des poêles à bûches. Sa prise en compte est donc cruciale pour appréhender l'impact global de la combustion de biomasse. Les émissions primaires de particules fines ($PM_{2,5}$) du poêle à bûches 7 étoiles sont plus faibles que celles du poêle non labellisé, qui sont elles-mêmes inférieures à celles de l'appareil à granulés. Les émissions primaires de ce dernier sont composées majoritairement de *Black Carbon*. Après vieillissement, la fraction secondaire représente la fraction très largement majoritaire de l'aérosol induit par les émissions des poêles à bûches. Pour le poêle à granulés cet enrichissement au cours de la phase de vieillissement atmosphérique est significativement plus faible. Cette étude met aussi en évidence l'impact de l'efficacité de combustion sur les facteurs d'émissions primaires et sur le potentiel de formation d'aérosol secondaire. L'opérateur joue par conséquent un rôle crucial.



Conclusion

Ces expérimentations montrent la très grande variabilité des émissions primaires ainsi que le fort potentiel de formation de l'AOS des effluents émis par les véhicules essence et par les appareils de chauffage au bois.

Références

- Cédric Louis, Yao Liu, Simon Martinet, Barbara D'Anna, Alvaro Martinez Valiente, Antoinette Boreave, Badr R'Mili, Patrick Tassel, Pascal Perret, and Michel Andre. Dilution Effects on Ultrafine Particle Emissions from Euro 5 and Euro 6 Diesel and Gasoline Vehicles. *Atmospheric Environment* 169, 80–88. doi :10.1016/j.atmosenv.2017.09.007, 2017
- Bertrand, A; Stefenelli, G; Bruns, EA; Pieber, SM; Temime-Roussel, B; Slowik, JG Jay; Prevot, ASH; Wortham, H.; El Haddad, I; Marchand, N.; Primary emissions and secondary aerosol production potential from woodstoves for residential heating: Influence of the stove technology and combustion efficiency; *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 169, 65-79 DOI: 10.1016/j.atmosenv.2017.09.005, 2017
- Bertrand, A; Stefenelli, G; Jen, CN; Pieber, SM; Bruns, EA; Ni, HY; Temime-Roussel, B; Slowik, Goldstein, AH; El Haddad, I ; Baltensperger, U; Prevot, ASH; Wortham, H; Marchand, N.; Evolution of the chemical fingerprint of biomass burning organic aerosol during aging; *ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS*, 18 (10), 7607-7624, DOI: 10.5194/acp-18-7607-2018, 2018

VULCAIN : projet financé par l'ADEME. CAPVEREA : projet financé par l'ADEME dans le cadre de l'APR 2014 de son programme CORTEA.

SESSION 2 – Science pour l’expertise collective

Etat des lieux sur les connaissances apportées par les études expérimentales des sources de particules fines en France

Olivier Favez¹, Jean-Luc Jaffrezo², Dalia Salameh², Tanguy Amodeo¹, Samuël Weber², Abdoulaye Samake², Caroline Marchand¹

¹Institut national de l’environnement industriel et des risques (Ineris), Verneuil en Halatte ; ²Institut des géosciences de l’environnement (IGE), Saint Martin d’Hères

Biographie

Caroline Marchand est responsable de l’unité ASUR en charge de l’accompagnement à la surveillance de la qualité de l’air et des eaux de surface de la Direction des risques chroniques de l’Ineris et dont les travaux s’inscrivent dans les programmes de travail des laboratoires nationaux de référence que sont le LCSQA (www.lcsqa.org) et AQUAREF (www.aquaref.fr). C’est au sein de cette unité qu’est coordonné le programme CARA « CARActérisation chimique des particules », unique en Europe.

Résumé

Le projet SOURCES avait pour premier objectif de réaliser une synthèse des études scientifiques permettant l’identification et la quantification des sources de particules dans l’air ambiant (PM_{10} et $PM_{2,5}$) en France. L’accent a été porté principalement sur l’impact des sources anthropiques en milieu urbain au cours des dix dernières années et/ou sur les résultats obtenus par la mise en œuvre d’outils statistiques de traitement de données expérimentales. Ces méthodologies incluent, notamment, la détermination très étendue des constituants de la matière particulaire *via* la détermination d’une grande diversité de traceurs spécifiques, suivie de l’utilisation d’outils statistiques. La plupart des études récentes se basent sur les approches de type *Positive Matrix Factorization* (PMF), présentant l’avantage de ne pas dépendre des hypothèses de départ concernant le nombre et la nature des sources à quantifier.

La comparaison de résultats issus de différentes études basées sur une même approche contient une part d’incertitude liée aux inhomogénéités de traitement de données. Ainsi, le deuxième objectif de SOURCES était de proposer une ré-analyse homogène de jeux de données nationaux acquis au cours de ces dernières années. De 8 à 11 profils chimiques ont été identifiés sur chaque site grâce à la présence des traceurs spécifiques les caractérisant, dont 9 sont communément retrouvés sur la majorité des sites. Ces derniers correspondent à la combustion de la biomasse, aux émissions primaires liées au trafic routier, à deux facteurs riches en aérosols inorganiques secondaires (nitrate et sulfate d’ammonium), à des particules biogéniques primaires et secondaires, aux sels marins frais ou processés, et aux poussières minérales. Deux facteurs supplémentaires, correspondant aux émissions industrielles (rejets primaires et/ou composés issus des résidus de la combustion de fioul lourd) ont été résolus sur un nombre réduit de sites.

Ce travail d’harmonisation constitue la première étude de type modèle-récepteur harmonisée et multi-sites des sources de particules en suspension (PM). Cet apport méthodologique de SOURCES représente un pilier important dans le domaine d’études des sources de PM et pourra servir à la communauté scientifique, notamment dans le cadre des activités du Centre commun de recherche de la Commission européenne (Joint Research Center) et du comité européen de normalisation. De plus, cette méthode pourra être utilisée dans les futures études PMF à large échelle spatiale permettant ainsi, d’améliorer la comparabilité des résultats (profils chimiques, par exemple) entre les différents sites et différentes régions.



Références

- Weber, S., D. Salameh, A. Albinet, L. Alleman, A. Waked, J.-L. Besombes, V. Jacob, G. Guillaud, B. Mesbah, B. Rocq, A. Hulin, M. Dominik-Sègue, E. Chrétien, J.-L. Jaffrezo, O. Favez (2019): Comparison of PM₁₀ source profiles at 15 French sites using a harmonized constrained positive matrix factorization approach. *Atmosphere*, 10, 310, doi: 10.3390/atmos10060310
- Samake, A., J.-L. Jaffrezo, O. Favez, S. Weber, V. Jacob, A. Albinet, V. Riffault, E. Perdrix, A. Waked, B. Golly, D. Salameh, F. Chevrier, D.M. Oliveira, J.-L. Besombes, J.M.F. Martins, N. Bonnaire, S. Conil, A. Charron, T. Canete, P.Y. Robic, G. Guillaud, B. Mesbah, B. Rocq, A. Hulin, S. Lemeur, M. Descheemaeker, E. Chrétien, N. Marchand, G. Uzu (2019): Arabitol, mannitol, and glucose as tracers of primary biogenic organic aerosol: the influence of environmental factors on ambient air concentrations and spatial distribution over France. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 11013-11030, doi: 10.5194/acp-19-11013-2019
- Samake, A., J.-L. Jaffrezo, O. Favez, S. Weber, V. Jacob, A. Albinet, V. Riffault, E. Perdrix, A. Waked, B. Golly, D. Salameh, F. Chevrier, D.M. Oliveira, N. Bonnaire, J.-L. Besombes, J.M.F. Martins, S. Conil, G. Guillaud, B. Mesbah, B. Rocq, P.Y. Robic, A. Hulin, S. Lemeur, M. Descheemaeker, E. Chrétien, N. Marchand, G. Uzu (2019): Polyols and glucose particulate species as tracers of primary biogenic organic aerosols at 28 French sites. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 3357-3374, doi: 10.5194/acp-19-3357-2019
- Golly, B., A. Waked, S. Weber, A. Samake, V. Jacob, S. Conil, J. Rangognio, E. Chrétien, M.-P. Vagnot, P.-Y. Robic, J.-L. Besombes, J.-L. Jaffrezo (2019): Organic markers and OC source apportionment for seasonal variations of PM_{2.5} at 5 rural sites in France. *Atmospheric Environment*, 198, 142-157, doi: 10.1016/j.atmosenv.2018-10-027
- Petit, J.E., C. Pallarès, O. Favez, L.Y. Alleman, N. Bonnaire, E. Rivière (2019): Sources and geographical origins of particulate matter (PM₁₀) in Metz (France) using oxalate as a marker of secondary organic aerosols by positive matrix factorization analysis. *Atmosphere*, 10(7), 370, doi: 10.3390/atmos10070370

SOURCE : projet financé par l'ADEME.

Physicochimie des particules de l'air ambiant : effets sur la santé et investigation de la source «trafic routier»

Michel André¹, Bénédicte Jacquemin², Jean-Marc André³, Armelle Baeza-Squiban⁴, Myriam Blanchard⁵, Anthony Brasseur⁶, Aurélie Charron^{7,7}, Elaine Fuertes⁸, Laurent Gagnepain⁹, Guillaume Garçon¹⁰, Charlotte Leger⁶, Sophie Moukhtar¹¹, Jean-Ulrich Mulot¹², Margaux Sanchez⁶, Karine Sarcelet¹³, Matteo Redaelli⁶

¹IFSTTAR, Bron, France ; ²Université de Rennes, Inserm/EHESP/IRSET-UMRS 1085, Rennes, France ; ³CITEPA, Paris, France ; ⁴CNRS UMR 8251, Université Paris Diderot, Paris, France ; ⁵Santé publique France, Cire Normandie, Rouen, France ; ⁶Anses, Maisons-Alfort, France ; ⁷IGE/CNRS UMR 5001, Université Grenoble Alpes, Saint-Martin-d'Hères, France ; ⁸National Heart and Lung Institute, Imperial College London, Londres, Royaume-Uni ; ⁹ADEME, Valbonne, France ; ¹⁰CHU Lille, Institut Pasteur de Lille, EA4483-IMPECS, Université de Lille, Lille, France ; ¹¹Airparif, Paris, France ; ¹²Laboratoire d'analyses de surveillance et d'expertise de la Marine BN/LASEM, BCRM Toulon, France ; ¹³CEREA, ENPC-ParisTech, Université de Paris-Est, Marne-la-Vallée, France

Biographies

Michel André est directeur de recherche à l'IFSTTAR. Ses travaux portent sur la pollution de l'air liée aux transports, la mesure et modélisation des émissions et les méthodologies d'évaluation des mesures de réduction et politiques publiques. Il a présidé l'expertise de l'Anses sur la pollution particulaire dont les travaux sont présentés ici.

Margaux Sanchez obtient un doctorat en santé publique et épidémiologie de l'Université Paris Sud, pendant lequel elle s'intéresse aux effets de la pollution atmosphérique sur la santé respiratoire. Entre 2015 et 2018, elle poursuit sa formation en tant que post-doctorante au sein de l'ISGlobal à Barcelone. En juin 2018, elle rejoint l'Anses en tant que coordinatrice d'expertise scientifique, mettant à profit son expertise en épidémiologie au service de l'évaluation des risques liés à l'air.

Résumé

Les particules fines dans l'air ambiant proviennent de phénomènes naturels, d'activités humaines (industries, transports, agriculture, chauffage, etc.) et de transformations physico-chimiques dans l'atmosphère. Les effets cardiovasculaires et respiratoires associés à cette pollution particulaire sont largement documentés depuis plusieurs décennies. Des interrogations subsistent quant à l'influence de leur composition, de leur taille et de leurs sources. La source « trafic routier » est la plus documentée, mais l'influence des choix technologiques pour les véhicules demeure incertaine.

Effets sanitaires des particules selon leur composition, taille et source

L'Anses a mis en œuvre une revue méthodique de la littérature épidémiologique et toxicologique récente afin d'actualiser les connaissances et d'évaluer les niveaux de preuves associant différents effets néfastes sur la santé à l'exposition aux particules de l'air ambiant selon leurs composés, leurs sources et leur taille. Depuis la parution en 2013 du rapport Review of evidence on health aspects of air pollution de l'Organisation mondiale de la santé pris en référence, 160 études portant sur 20 composés, 16 sources et 83 modifications physiologiques ou effets sur la santé ont ainsi été analysées et intégrées selon une méthode standardisée d'évaluation du poids des preuves. Cette évaluation a conduit à une cotation en 5 niveaux de preuve (de « absence d'effet » à « forte indication d'effet ») pour chaque composé, chaque fraction de taille et chaque source examinés.



Impact sur la pollution atmosphérique de la composition technologique du parc de véhicules automobiles en France

Des scénarios réalistes d'évolution des technologies automobiles ont été développés, et les émissions et concentrations de particules et de gaz dans l'air ambiant ont été simulées¹ en France métropolitaine et en Île-de-France (trafic et émissions des autres sources invariants). A l'horizon 2025, tous les scénarios induisent une diminution forte des émissions du trafic par l'évolution réglementaire, et une baisse des concentrations moyennes et des occurrences de valeurs élevées. Une réduction ciblée du trafic permet des gains d'émission importants dans les zones peuplées. Les différences entre scénarios technologiques sont limitées. Un recul des motorisations Diesel est légèrement plus favorable que l'évolution avec généralisation du filtre à particules, avec des écarts marqués pour les polluants primaires et faibles pour les composés secondaires.

Références

- Particules de l'air ambiant extérieur - A-Effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie ; B-Impact sur la pollution atmosphérique des technologies et de la composition du parc de véhicules automobiles circulant en France - Avis de l'Anses Rapport de synthèse et de recommandations de l'expertise collective. Juillet 2019 - Édition scientifique. ISBN 979-10-286-0304-5 - Dépôt légal : août 2019 - Anses Éditions. 118p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2014SA0156Ra.pdf>
- André M., Redaelli M., André J.M., Charron A., Gagnepain L., Honoré C., Moukthar S., Sartelet K., Brasseur A., Léger C. (2019) : Particules de l'air ambiant extérieur - Impact sur la pollution atmosphérique des technologies et de la composition du parc de véhicules automobiles circulant en France. Rapport d'expertise collective, Juillet 2019 - Édition scientifique. ISBN 979-10-286-0300-7 - Dépôt légal : juillet 2019 - Anses Éditions. 284p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2014SA0156Ra-Emission.pdf>
- Jacquemin B., Sanchez M., Baeza-Squiban A., Blanchard M., Fuertes E., Garçon G., Mullot J.U., Brasseur A., Léger C., Redaelli M. (2019) : Particules de l'air ambiant extérieur – Effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie. Rapport d'expertise collective, Juillet 2019 - Édition scientifique. ISBN 979-10-286-0300-7 - Dépôt légal : juillet 2019 - Anses Éditions. 487p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2014SA0156Ra-Sante.pdf>

¹Collaboration entre l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), l'Association de surveillance de la qualité de l'air en Ile de France (Airparif), le Centre d'enseignement et de recherche en environnement atmosphérique (Cerea), le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (Citepa) et l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar).

SESSION 3 – Polluants de l'air : effets sur la santé et impact sociétal

TOXICOLOGIE

Impact des caractéristiques physicochimiques sur l'effet inflammatoire et pro-allergisant respiratoires des nanoparticules manufacturées

Mickaël Claudel, Jiahui Fan, Maud Weiss, Camille Van Belle, Yasmin Arezki, Carole Ronzani, Luc Lebeau, Françoise Pons

Laboratoire de conception et application de molécules bioactives, UMR 7199, CNRS/Unistra, Faculté de Pharmacie, Illkirch

Biographie

Françoise Pons, professeur de Toxicologie à l'Université de Strasbourg, a une solide expérience en recherche sur les maladies inflammatoires chroniques du poumon. Elle a travaillé pendant de nombreuses années sur les facteurs environnementaux qui modulent la prévalence et la gravité de l'asthme allergique, avant de s'intéresser à l'immunotoxicité respiratoire des nanoparticules manufacturées. Elle utilise pour cette recherche des modèles expérimentaux animaux et cellulaires humains.

Résumé

L'inhalation de nanoparticules (NPs) est connue pour induire une inflammation des voies aériennes et/ou une augmentation de la sensibilisation respiratoire à un allergène, mais les caractéristiques physicochimiques des NPs qui déterminent ces effets indésirables restent mal définies. Afin d'apporter des éléments de réponse à cette question, une librairie de 35 NPs carbonées de taille, charge, composition chimique et chimie de surface différentes a été synthétisée, et la cytotoxicité et les effets inflammatoires et pro-allergisants de ces NPs ont été étudiés *in vitro*, dans un modèle de macrophages et deux modèles de cellules épithéliales pulmonaires humaines, et *in vivo* chez la souris normale ou exposée à des allergènes d'acariens. Les 35 NPs ont exercé une toxicité variable, c'est-à-dire élevée, modérée ou nulle, dans le modèle de macrophages. Les NPs les plus petites (10-20 nm) étaient plus toxiques que les plus grosses (40-100 nm), et les NPs qui s'agrégeaient dans le milieu de culture des cellules étaient plus toxiques que celles qui restaient dispersées. Une corrélation positive a été mise en évidence entre la charge ou le contenu en azote des NPs et la toxicité. De plus, une toxicité plus importante a été observée pour les NPs préparées à base de polyamines de haut poids moléculaire. Enfin, l'ajout de groupements polyéthylène glycol à la surface de NPs de toxicité modérée a permis de diminuer la cytotoxicité de ces NPs. Six NPs représentatives de la librairie ont fait l'objet d'une évaluation de leur activité inflammatoire et de leur mécanisme d'action toxique dans les trois modèles cellulaires. En accord avec les données de cytotoxicité, les NPs positives préparées à partir d'une polyamine à chaîne longue branchée ont montré une activité pro-inflammatoire dose-dépendante, alors que les NPs négatives et les NPs positives préparées à partir d'une polyamine à chaîne courte ou d'une amine étaient peu voire non inflammatoires. Les macrophages ont développé une réponse inflammatoire plus importante que les cellules épithéliales, en lien avec une internalisation plus importante des NPs. Dans les macrophages, les NPs fortement toxiques ont induit un stress oxydant, une perturbation mitochondriale et l'activation de l'inflammasome NLRP3, vraisemblablement *via* la déstabilisation du lysosome.



Chez la souris, les 6 NPs représentatives ont exercé des effets en accord avec les données obtenues *in vitro*, puisque seules les NPs positives préparées à partir d'une polyamine à chaîne longue et branchée ont exercé un effet inflammatoire et pro-allergisant, contrairement aux NPs négatives et aux NPs positives préparées à partir d'une polyamine à chaîne courte ou d'une amine.

Ces effets étaient dose-dépendant et liés à une internalisation des NPs par les macrophages présents dans les voies aériennes des animaux. Ainsi, de nombreux facteurs sont susceptibles d'impacter la toxicité des NPs, parmi lesquels une petite taille, une charge de surface cationique, la nature du revêtement de surface ou encore le mode de synthèse, mais surtout une densité élevée de charges positives.

Références

- Physicochemical characteristics that affect carbon dot safety: Lessons from a comprehensive study on a nanoparticle library. Fan J. ; Claudel M. ; Ronzani C. ; Arezki Y. ; Lebeau L. ; Pons F. International Journal of Pharmaceutics. 2019, 569:118521
- Lysosome mediates toxicological effects of polyethyleneimine-based cationic carbon dots. Ronzani C. ; Van Belle C. ; Didier P. ; Spiegelhalter C. ; Pierrat P ; Lebeau L. ; Pons, F. Journal of Nanoparticle Research. 2019, 21 (1):4
- Influence of carbonization conditions on luminescence and gene delivery properties of nitrogen-doped carbon dots. Claudel M. ; Fan J. ; Rapp M. ; Pons F. ; Lebeau L. Rsc Advances, 2019, 9 (6):3493-3502

ICP-NANO : projet financé par l'Anses dans le cadre de l'APR 2015 du PNR EST.

Effets cardiovasculaires de polluants atmosphériques d'origine automobile : étude par inhalation chez le rat de l'effet du NO₂ seul et en mélange dans des gaz d'échappements² de moteurs diesel

Ahmed Karoui¹, Clément Crochemore¹, Paul Mulder², David Preterre³, Fabrice Cazier⁴,
Dorothee Dewaele⁴, Cécile Corbière¹, Malik Mekki¹, Cathy Vendeville¹, Vincent Richard²,
Jean-Marie Vaugeois³, Olivier Fardel⁵, François Sichel¹, Valérie Lecqueur⁵, Christelle Monteil¹

¹Normandie Université, UNIROUEN, UNICAEN, ABTE, Caen et Rouen ; ²Normandie Université, UNIROUEN, Institut national de la santé et de la recherche médicale, U1096, Rouen ; ³CERTAM, Saint-Etienne du Rouvray ; ⁴Centre commun de mesures, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque ; ⁵Université de Rennes, CHU Rennes, Inserm, EHESP, IRSET-UMRS 1085, Rennes

Biographie

Christelle Monteil, Professeur des universités, spécialité Toxicologie, UFR de médecine-pharmacie de l'Université de Rouen. Directrice adjointe de l'EA 4651 ABTE (Aliments bioprocédés toxicologie environnements). Responsable de l'équipe ToxEMAC (Toxicologie de l'environnement : milieux aériens et cancers) qui s'intéresse à l'impact des polluants aériens sur la santé humaine selon trois axes : (1) polluants chimiques et particulaires, (2) bioaérosols, biodiversité fongique et santé, (3) toxicité de l'hadronthérapie.

Résumé

La part relative de l'effet du NO₂ seul par rapport à l'effet d'une association avec d'autres polluants particulaires et gazeux reste encore difficile à évaluer compte tenu du manque d'informations disponibles et du peu de connaissances des mécanismes mis en jeu. Par conséquent, l'objectif de ce projet a été de mettre en évidence les effets, sur l'appareil cardiovasculaire, du NO₂ seul ou en mélange avec d'autres polluants gazeux avec ou sans particules émis par un moteur diesel.

Les émissions diesel ont été obtenues à partir d'un moteur diesel catalysé type Euro 4, utilisé sur banc moteur en conditions dynamiques. Les émissions ont été prélevées en amont ou en aval du filtre à particules (FAP) pour l'exposition de rats placés dans des chambres d'inhalation, après dilution. Les différentes conditions expérimentales ont donc été : diesel Amont, diesel Aval et NO₂ seul à une concentration proche de celle mesurée dans les émissions diesel soit 5 ppm. Deux temps d'exposition ont été utilisés : 3 semaines d'exposition répétées à raison de 3 h/j, 5j/semaine et une seule exposition de 3 h.

Après les expositions aux émissions diesel, l'évaluation de la fonction cardiaque a permis de montrer une perturbation des paramètres échographiques dès la première exposition qui persiste et s'aggrave après les expositions de 3 semaines. La présence du FAP n'a pas permis de mettre en évidence un effet éventuel des particules sur ces paramètres indiquant la part importante de la phase gazeuse dans la réponse obtenue. A noter que les valeurs de NO₂ sont comparables en amont et en aval du FAP alors que la teneur en aldéhydes augmente après le FAP. L'exploration de la fonction mitochondriale cardiaque a permis de mettre en évidence une altération plus spécifiquement marquée au niveau du complexe I de la chaîne respiratoire. Cette altération de la fonction mitochondriale entraîne une diminution de la capacité de synthèse de l'ATP, en particulier au niveau des mitochondries interfibrillaires impliquées dans l'apport d'énergie pour la contraction musculaire. Des effets comparables ont été observés après les expositions au NO₂ seul. Une étude complémentaire réalisée plus spécifiquement sur la fonction vasculaire après exposition au NO₂ seul a permis de montrer une altération vasculaire majeure après les expositions répétées, traduisant une perte de la vasoréactivité coronaire due à une altération de l'endothélium vasculaire.



Ce travail a permis d'apporter des éclairages nouveaux concernant le rôle du NO₂ dans la toxicité cardiovasculaire des émissions diesel. Concernant les mécanismes d'action impliqués, l'altération mitochondriale joue un rôle clé dans les événements conduisant aux altérations de la fonction cardiovasculaire.

Références

- A. Karoui, C. Crochemore, P. Mulder, D. Preterre, F. Cazier, D. Dewaele, C. Corbière, M. Mekki, C. Vendeville, V. Richard, J.-M. Vaugeois, O. Fardel, F. Sichel, V. Lecureur, C. Monteil, An integrated functional and transcriptomic analysis reveals that repeated exposure to diesel exhaust induces sustained mitochondrial and cardiac dysfunctions, *Env. Poll.*, Vol. 246, 2019, pp 518-526, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.049>

CARDIOX : projet financé par l'ADEME dans le cadre de l'APR 2013 du PNR EST Anses.

Toxicité neurodéveloppementale d'une exposition gestationnelle à la pollution atmosphérique. Effets à court et à long terme de l'inhalation répétée de particules de fumées de diesel chez le lapin

Estefania Bernal-Melendez^{1,2}, Pascaline Bouillaud², Jacques Callebert³, Delphine Rousseau-Ralliard⁴, Anne Tarrade⁴, Pascale Chavatte-Palmer⁴, Christine Baly¹, Henri Schroeder²

¹NBO, Inra UR1197, Université de Paris-Saclay, Jouy-en-Josas ; ²CALBINOTOX, EA7488, Université de Lorraine, Vandœuvre-lès-Nancy ; ³Service de biochimie et biologie moléculaire, Hôpital Lariboisière, Paris ; ⁴BDR, Inra UR1198, EnVA & Université de Paris Saclay, Jouy-en-Josas

Biographie

Henri Schroeder est en enseignant-chercheur en neurosciences à l'Université de Lorraine. Il a développé depuis plusieurs années une activité de recherche dans le domaine de la neurotoxicologie développementale chez le rongeur et s'intéresse, plus particulièrement, aux effets à court et à long terme de l'exposition précoce de polluants comme les retardateurs de flamme organobromés, les HAP et la pollution atmosphérique. Il s'est intéressé en compagnie du Docteur Christine Baly, DR2 à l'Inra dont le domaine de compétences en neurosciences est la neurobiologie de l'olfaction, aux effets neurocomportementaux à court et à long terme de l'exposition gestationnelle aux particules de fumées de diesel, sujet du programme de recherche BrainAirPoll soutenu par l'Anses et l'ADEME.

Résumé

Alors que la pollution atmosphérique a été montrée comme pouvant affecter le cerveau adulte ainsi que le système olfactif, la neurotoxicité d'une exposition gestationnelle à cette forme de pollution sur le développement du continuum que forme le système olfactif et les parties plus centrales du cerveau reste à évaluer. Ce travail a visé à étudier les effets d'une exposition contrôlée aux particules de fumées de diesel (PFD) à un niveau comparable à celui observé en milieu urbain dans une ville comme Paris, sur ce continuum chez le lapin.

Matériels et méthodes

Des lapines gestantes ont été exposées par voie nasale (nose-only) à une atmosphère filtrée contaminée ou pas avec une concentration contrôlée de particules de fumées de diesel (1mg/m³, diamètre moyen 69 nm) du 3^{ème} au 28^{ème} jour de gestation (GD28), 2h/jour, 5j/semaine. Au stade GD28, la muqueuse et le bulbe olfactif ainsi que le cerveau des fœtus ont été collectés pour réaliser des investigations anatomiques, histologiques et neurochimiques tandis qu'au 2^{ème} jour de vie postnatale (PND2), des lapereaux des 2 groupes ont été testés pour leur capacité à reconnaître une phéromone maternelle, le 2-NBT (2-méthyl-3-butyl-2-ol). Des animaux ont ensuite été élevés jusqu'à l'âge adulte (PND190) pour être étudiés dans un test de discrimination olfactive, avant de prélever les tissus olfactifs et cérébraux en vue d'investigations histologiques et neurochimiques

Résultats

Au stade fœtal (GD28), l'analyse en microscopie électronique des tissus olfactifs des fœtus exposés montre la présence d'amas de type particulaire de taille nanométrique (20-48 nm) ainsi qu'une hypertrophie cellulaire et axonale. Elle s'accompagne d'une hausse du taux tissulaire de la dopamine et de ses métabolites dans le bulbe ainsi que de l'intensité de l'immunomarquage de la tyrosine hydroxylase (TH), enzyme limitante de la production de dopamine, dans la même région.



Des modifications du taux de dopamine et du marquage de la TH ont été également observées dans des régions plus centrales au même stade indiquant la sensibilité à court terme de ce système de neurotransmission à ce type d'exposition. A PND₂, la réponse à la phéromone maternelle des lapereaux nés de mères exposées était fortement altérée. A l'âge adulte (PND₁₉₀), les résultats montrent la persistance des effets de l'exposition précoce aux PFD sur le système dopaminergique uniquement au niveau central, mais pas de troubles de la discrimination olfactive.

Conclusions

Ces travaux montrent qu'une exposition in utero aux PFD perturbe le développement neurosensoriel olfactif des lapereaux exposés avec des conséquences fonctionnelles quant à leur capacité olfactive dès le plus jeune âge. Les atteintes dopaminergiques centrales observées au stade fœtal persistent à l'âge adulte en l'absence de troubles décelables de la discrimination olfactive. Du fait du continuum tant anatomique que fonctionnel entre le système olfactif et le reste du cerveau, ces altérations olfactives précoces semblent être indicatrices de perturbations à plus long terme dans des régions plus centrales avec de possibles effets à long terme sur la plasticité cérébrale.

Références

- Bernal-Meléndez E, Lacroix MC, Bouillaud P, Callebert J, Olivier B, Persuy MA, Durieux D, Rousseau-Ralliard D, Aioun J, Cassee F, Couturier-Tarrade A, Valentino S, Chavatte-Palmer P, Schroeder H and Baly C. Repeated gestational exposure to diesel engine exhaust affects the fetal olfactory system and alters olfactory-based behavior in rabbit offspring, *Part Fibre Toxicol.* 2019 Jan 17;16(1):5. doi: 10.1186/s12989-018-0288-7
- Bernal Meléndez, E., Lacroix, M.-C., Callebert, J., Durieux, D., Persuy, M.-A., Aioun, J., Valentino, S., Rousseau Ralliard, D., Tarrade, A., Chavatte Palmer, P., Schroeder, H. and Baly, C. Short-term effects of daily exposure to diesel exhaust during gestation on the olfactory system development in rabbit pups. 14th International Congress of Toxicology, Merida, Mexique. *Toxicol. Lett.*, 2016, 259 (Supplement). doi: 10.1016/j.toxlet.2016.07.482
- Bernal-Meléndez E, Bouillaud P, Callebert J, Chavatte-Palmer P, Baly C, Schroeder H. A daily gestational exposure to diesel exhaust particles impaired the brain and olfactory dopaminergic pathways of rabbit pups. *Nanosafe* 2018, Grenoble, 5-9 Novembre 2018
- Bernal-Meléndez E, Bouillaud P, Callebert J, Chavatte-Palmer P, Baly C, Schroeder H. Short- and long-term consequences on olfactory and brain functionalities of a gestational nose-only exposure to diesel exhaust particles in rabbits. INA-17, 17th Meeting of the International Neurotoxicology Association, Dusseldorf, Allemagne, 29 septembre-3 octobre 2019, *Neurotoxicology*, 2019, in press

BRAINAIRPOLL : projet financé par l'Anses dans le cadre de l'APR 2014 du PNR EST.

ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES ET IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

Impact des brumes de sable sur les naissances prématurées en Guadeloupe

Jean-François Viel¹, Yoann Mallet¹, Christina Raghoumandan², Philippe Quénel³, Philippe Kadhel⁴, Florence Rouget¹, Luc Multigner³

¹Université de Rennes, CHU Rennes, Inserm, EHESP, IRSET-UMRS 1085, Rennes ; ²Gwad'air, Association agréée de surveillance de la qualité de l'air, Petit-Bourg ; ³Université de Rennes, Inserm, EHESP, IRSET-UMRS 1085, Rennes ; ⁴Université des Antilles, CHU Guadeloupe, Université de Rennes, Inserm, EHESP, IRSET-UMRS 1085, Pointe-à-Pitre

Biographie

Jean-François Viel est professeur des universités – praticien hospitalier en santé publique. Spécialiste de l'épidémiologie environnementale, il s'intéresse particulièrement aux expositions mesurables à l'extérieur de l'organisme (radiofréquences, rejets industriels, vague de chaleur, pollution atmosphérique, etc.).

Résumé

Les Antilles françaises sont touchées périodiquement, principalement d'avril à octobre, par des épisodes de brumes de sable constituées de particules fines en provenance du Sahara, conduisant régulièrement à des alertes à la pollution atmosphérique. Les études sur les effets sanitaires en lien avec les épisodes de brume de sable sont peu nombreuses et elles ont été principalement menées sur le pourtour méditerranéen (également affecté par les retombées de poussières sahariennes transportées vers le Nord). Les événements de santé qui ont été majoritairement étudiés sont la mortalité générale, cardiovasculaire, respiratoire, ainsi que les hospitalisations pour ces mêmes causes ou pour asthme de l'enfant.

D'autres effets méritaient cependant d'être considérés, en particulier la croissance fœtale dont l'association avec les concentrations atmosphériques en particules fines est de mieux en mieux documentée. Les Antilles françaises connaissant un taux de prématurité élevé en grande partie non expliqué, l'étude BrumiSaTerre menée en Guadeloupe visait à étudier l'association entre l'exposition aux particules d'origine saharienne et la prématurité dans cette population.

Matériels et méthodes

Cette étude repose sur les données recueillies dans le cadre de la cohorte mère-enfant TIMOUN en Guadeloupe et sur les concentrations atmosphériques en particules fines de diamètre inférieur à 10 microns (PM₁₀) mesurées sur le site de Pointe-à-Pitre par Gwad'Air. L'exposition des femmes au cours de leur grossesse a ainsi été reconstituée durant la période 2005 à 2008 et l'influence des facteurs de risque de prématurité individuels a pu être pris en compte.

Résultats

Sur 909 grossesses incluses dans l'étude, 142 (15,6%) ont conduit à une naissance prématurée (avant la 37^{ème} semaine de grossesse). La concentration de PM₁₀ durant la grossesse était en moyenne de 27,15 µg m³. Les enfants nés prématurément sont plus nombreux à avoir été exposés à de fortes concentrations en PM₁₀ (maximum 34,92 µg/m³, contre 31,36 µg/m³ pour les enfants nés à terme). Le risque d'accouchement prématuré est ainsi multiplié par 3 pour une augmentation de l'exposition moyenne aux PM₁₀ de 10 µg/m³.



Conclusion

L'exposition environnementale aux brumes de sable semble se surajouter aux facteurs de risque bien connus de la prématurité (âge de la mère, hypertension artérielle, diabète, obésité...). Au-delà du système d'alerte déjà mis en place au niveau populationnel par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air, il serait sans doute opportun que les acteurs de santé puissent délivrer un message personnalisé de prévention auprès des femmes enceintes à l'approche d'une nouvelle brume de sables.

Références

- Viel JF, Mallet Y, Raghoumandan C, Quénel P, Kadhel P, Rouget F, Multigner L. Impact of Saharan dust episodes on preterm births in Guadeloupe (French West Indies). *Occup Environ Med.* 2019 May;76(5):336-340

BrumiSaTerre : projet financé par l'Anses dans le cadre de l'APR 2016 du PNR EST.

Influence des facteurs socio-économiques sur l'exposition à la pollution atmosphérique dans trois cohortes européennes : EGEA, SAPALDIA et ECRHS

Bénédicte Jacquemin^{1,2}, Josep Maria Antó³, Xavier Basagaña³, Jean Bousquet¹, Bruna Galobardes⁴, Francine Kauffmann¹, Nino Kunzli⁵, Dirk Keidel⁵, Nicole Le Moual¹, Nicole Probst⁵, Jordi Sunyer³, Sofia Temam¹

¹Inserm U1168, Villejuif, France ; ²Inserm-U1085, Rennes, France ; ³ISGlobal, Barcelone, Espagne ; ⁴Wellcome Trust, Londres, Royaume-Uni ; ⁵SwissTPH, Bâle, Suisse

Biographie

Bénédicte Jacquemin est diplômée en médecine (Mexico, 2000) d'un master en sciences de l'environnement (Barcelone, 2005), d'un doctorat en sciences de la vie et de la santé (Barcelone, 2007) et d'une habilitation à diriger des recherches (Paris, 2019). Elle est actuellement chercheuse à l'Inserm et travaille sur les effets de la pollution atmosphérique sur différents effets sur la santé, notamment la santé respiratoire, le cancer, la cognition et la fertilité/l'infertilité.

Résumé

Les résultats des études cherchant à mettre en évidence une association entre la position socio-économique (PES) et l'exposition à la pollution atmosphérique sont divergents. Ceci peut être dû à une grande variabilité géographique dans la direction et la magnitude de ces associations. Les objectifs de ce projet étaient d'étudier l'influence/le rôle des facteurs socio-économiques (notamment à travers l'étude des catégories socioprofessionnelles) sur l'exposition à la pollution atmosphérique dans trois cohortes en Europe.

Matériels et méthodes

Trois cohortes multicentrique européenne (EGEA, SAPALDIA et ECRHS), ont contribué à cette analyse. Trois indicateurs de PSE, deux définis au niveau individuel (éducation et profession) et un au niveau contextuel équivalent à l'IRIS (taux de chômage) ont été évalués dans les trois cohortes.

L'exposition annuelle aux concentrations de NO₂ a été estimée aux adresses des participants à l'aide des modèles LUR du projet européen ESCAPE. Des régressions linéaires ont été utilisées pour analyser les associations entre chaque indicateur SES et NO₂. L'hétérogénéité entre les villes a été évaluée à l'aide d'une méta-analyse à effets aléatoires.

Résultats

La population d'étude comprenait 5 692 participants. Les résultats des analyses « poolées » ont montré que les participants ayant un SES individuel plus bas étaient moins exposés au NO₂. À l'inverse, les participants vivant dans des quartiers à taux de chômage élevé étaient plus exposés. Cependant, les résultats par ville ont montré une forte hétérogénéité (I carré > 76% pour les trois indicateurs PES), ce qui a conduit à faire les analyses par ville. Les associations entre la PES individuelle et le NO₂ étaient généralement faibles et incohérentes dans les villes, dans la quasi-totalité des villes (14/16) excepté à Vérone et Lyon, où les citoyens avec un niveau d'études bas étaient les moins exposés. Les associations entre le SES contextuel et le NO₂ montraient que les personnes vivant dans des quartiers plus défavorisés avaient tendance à être plus exposés, en effet dans 11 des 16 villes étudiées, nous avons observé que les habitants des quartiers les plus touchés par le chômage étaient les plus exposés au NO₂.



Les estimations des modèles qui comprenaient à la fois les indicateurs SES individuels et contextuels étaient similaires à ceux non ajustés suggérant des associations indépendantes.

Conclusion

Notre étude a montré pour la première fois, à l'aide de mesures homogénéisées de résultats et d'exposition dans 16 villes, l'importante hétérogénéité concernant l'association entre SEP et NO₂ en Europe occidentale. Il est important de noter que nos résultats ont montré que les indicateurs de SES individuels et contextuels capturent différents aspects de l'association entre SES et exposition à la pollution atmosphérique, soulignant l'importance de prendre en compte les deux études sur les effets sur la santé de la pollution atmosphérique.

Références

- Burte E, Nadif R, Jacquemin B. Susceptibility Factors Relevant for the Association Between Long-Term Air Pollution Exposure and Incident Asthma. *Curr Environ Health Rep.* 2016 Mar;3(1):23-39
- Temam S, Burte E, Adam M, Antó JM, Basagaña X, Bousquet J, Carsin AE, Galobardes B, Keidel D, Künzli N, Le Moual N, Sanchez M, Sunyer J, Bono R, Brunekreef B, Heinrich J, de Hoogh K, Jarvis D, Marcon A, Modig L, Nadif R, Nieuwenhuijsen M, Pin I, Siroux V, Stempfelet M, Tsai MY, Probst-Hensch N, Jacquemin B. Socioeconomic position and outdoor nitrogen dioxide (NO₂) exposure in Western Europe: a multi-city analysis. *Env Int. Environ Int.* 2017 Apr;101:117-124
- Keidel D, Adam M, Burte E, Fuertes E, Schindler C, Künzli N, Antó JM, Basagaña X, Bousquet J, Carsin AE, Galobardes B, Le Moual N, Sunyer J, Temam S, Bono R, Brunekreef B, de Nazelle A, Forsberg B, Heinrich J, de Hoogh K, Jarvis D, Leynaert B, Marcon A, Pin I, Siroux V, Stempfelet M, Tsai MY, Varraso R, Weyler J, Jacquemin B., Probst-Hensch N_{1,2}. The Role of Socioeconomic Status in the Association of Lung Function and Air Pollution-A Pooled Analysis of Three Adult ESCAPE Cohorts. *Int J Environ Res Public Health.* 2019 May;16(11)
- Galobardes B, Basagaña X, Adam M, Burte E, Bousquet J, Carsin AE, Keidel D, Künzli N, Le Moual N, Probst-Hensch N, Sunyer J, Temam S, Agis D, Bono R, Cirach M, Heinrich J, Hoek G, de Hoogh K, Jarvis D, Marcon A, Pin I, Siroux V, Stempfelet M, Strömngren M, Tsai MY, Weyler J, Antó JM, Jacquemin B. Socioeconomic inequalities in the occurrence of asthma and atopy phenotypes: does traffic related air pollution play a role? En préparation

SESAP : projet financé par l'Anses dans le cadre de l'APR 2012 du PNR EST.

Évaluation économique des effets sanitaires cumulés de la pollution de l'air intérieur et extérieur

Simone Schucht¹, Olivier Chanel²

¹Ineris, Verneuil-en-Halatte; ²CNRS-GREQAM, Marseille

Biographie

Simone Schucht est docteur en économie de l'environnement de l'Ecole des Mines. A l'Ineris, elle travaille, entre autres, sur évaluation et la monétisation des impacts sanitaires et environnementaux de la pollution de l'air et met en œuvre des analyses coût-efficacité, coût-bénéfices et socio-économiques des stratégies de réduction d'impacts santé/environnement d'activités économiques.

Résumé

Pouvoir évaluer les effets sanitaires de la pollution de l'air en termes économiques permet de comparer, en une unité commune, les bénéfices des politiques publiques par rapport aux coûts qu'elles induisent afin de sélectionner les actions les plus bénéfiques pour la société.

En Europe, depuis les années 1990, la législation européenne de réduction des émissions de polluants atmosphériques s'appuie largement sur des méthodes de quantification et de monétarisation des effets sanitaires de la pollution de l'air (analyses coûts-bénéfices). Mais la pollution de l'air intérieur n'est généralement pas intégrée et dans les études disponibles, les deux aspects, pollution de l'air extérieur et pollution de l'air intérieur, sont évalués séparément.

Les principaux objectifs de l'étude CumulAir étaient :

1. d'étudier la faisabilité d'une évaluation des dommages économiques des effets sanitaires cumulés de la pollution de l'air intérieur et extérieur en France ;
2. d'étudier la pertinence de travailler sur des évaluations de stratégies et mesures de gestion qui pourraient avoir des impacts sur différents milieux ou populations ou impacter différents types d'expositions ;
3. de mettre en œuvre une première évaluation économique sommaire des effets sanitaires cumulés pour illustrer un cas d'étude simple.

Matériels et méthodes

Les travaux reposaient essentiellement sur des recherches bibliographiques et de données disponibles qui ont été complétés par des réflexions méthodologiques et une formalisation de différents cas de cumul.

Résultats

Les données de base nécessaires à la quantification des effets sanitaires de la pollution de l'air extérieur ne présentent pas de facteur limitant significatif. Concernant la pollution de l'air intérieur, les données et connaissances disponibles sont moins complètes.

Pour le calcul des dommages économiques combinés de la pollution de l'air, des connaissances sont encore manquantes. En effet, si de nombreuses études épidémiologiques et toxicologiques témoignent de l'importance des situations de cumul de polluants, la quantification de ces effets cocktail fait encore souvent défaut. Étant donné la multitude de mélanges de polluants possibles, la tâche de quantification des effets est immense. Le calcul des effets d'une exposition jointe au même polluant dans différents environnements implique également des incertitudes importantes quant au risque de double-comptes.

Une évaluation des effets combinés potentiels sur l'air intérieur et extérieur paraît pertinente pour certaines politiques visant l'énergie (efficacité énergétique des bâtiments) et le transport, la réduction de polluants à la source, la gestion des déchets ménagers, etc.



Conclusion

Il est possible de calculer l'exposition de la population aux différents polluants de l'air extérieur à haute résolution spatiale et de quantifier les principaux effets sanitaires. Le calcul de l'exposition de la population aux polluants de l'air intérieur nécessite encore des hypothèses fortes et oblige à extrapoler à partir d'un nombre de données assez limité.

Concernant le calcul des dommages économiques combinés, il est possible d'additionner (sans double-comptage) les effets sanitaires de deux polluants différents dans deux milieux différents (d'autant plus si les effets sanitaires ne sont pas les mêmes).

Une évaluation des effets combinés d'une politique donnée sera confrontée au manque de données et à leur grande variabilité.

CUMULAIR : projet financé par l'Anses dans le cadre de l'APR 2016 du PNR EST.



SESSION 4 – Des solutions et des moyens de lutte

Utilisation de codes-barres pour évaluer les expositions aux produits de nettoyage/désinfection à domicile, à l'hôpital et en crèches - Étude de faisabilité et projets en cours

Nicole Le Moual¹, Catherine Quinot¹, Sofia Temam¹, Raphaële Girard², Valérie Siroux³, Oriane Dumas¹, Etienne Sévin⁴

¹Inserm UMRS 1168, Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Villejuif ; ²Prodhybase®, CHU, Lyon ; ³Inserm U1209, CNRS, Université Grenoble Alpes, Institut Albert Bonniot (IAB), Grenoble ; ⁴EPICONCEPT, Paris

Biographie

Nicole Le Moual, épidémiologiste (PhD, HDR, IR1 Inserm), spécialiste de l'évaluation des expositions professionnelles et domestiques aux produits de nettoyage et de leur rôle dans les maladies respiratoires. Elle est investigatrice principale de plusieurs projets sur cette thématique - dont COBANET et CRESPINET (cohorte CRESPI) – intégrant notamment des outils novateurs comme des applications Smartphone pour évaluer les expositions aux produits de nettoyage et la santé respiratoire des enfants.

Résumé

Les produits de nettoyage sont associés à l'asthme professionnel mais les composés spécifiques en cause ne sont pas bien identifiés. L'exposition domestique pourrait également avoir un impact de santé publique important, notamment chez les femmes et les enfants. Un défi majeur dans l'évaluation des risques sanitaires associés à l'usage de ces produits, au travail comme à domicile, réside dans l'estimation des expositions : la déclaration des sujets est la méthode la plus utilisée dans les études épidémiologiques mais elle peut être source de biais d'estimation ou de mémoire.

Le projet COBANET visait à évaluer la faisabilité de développer une méthode novatrice pour estimer, à partir de codes-barres, les expositions professionnelles et domestiques aux produits de nettoyage et de désinfection dans les études épidémiologiques.

Matériels et méthodes

Une application smartphone permettant simultanément de scanner les codes-barres et de répondre à un questionnaire court sur l'usage de ces produits a été développée, en parallèle à la mise en place de bases de données de produits de nettoyage associant leurs codes-barres et noms à la liste de leurs composés.

Résultats

Les applications smartphone COBANET-Hôpital et COBANET-Domicile ont été mises en place pour évaluer les expositions professionnelles et domestiques, respectivement. Elles ont été testées dans une étude pilote chez des personnels hospitaliers (Hôpital Raymond Poincaré, Garches, n=15) et auprès de volontaires de la cohorte parents-enfants SEPAGES (<http://sepages.inserm.fr/>, n=484).

Pour les produits utilisés à l'hôpital, nous avons constitué une base de données de 799 produits. Les personnels (n=15) ont renseigné le nom (94%) et code-barres (77%) des produits (n=126) pour l'ensemble desquels les compositions ont été identifiées. Cette étude a montré que ce nouvel outil était simple à mettre en place, facile et rapide à utiliser pour les participants, et permettait d'évaluer de façon précise les expositions aux différentes substances.



Pour les produits utilisés à domicile, une base de données est disponible pour 88% des 2350 produits et 95% ont un code-barres. Les travaux se poursuivent dans le cadre d'une thèse (P Lemire, 2018-2021) et visent à (i) comparer les méthodes d'évaluation des expositions par questionnaire et l'application COBANET-Domicile ; (ii) étudier l'association entre l'exposition domestique aux produits de nettoyage, évaluée par ces 2 méthodes, et la santé respiratoire des jeunes enfants.

Conclusion

Ces résultats confirment la faisabilité et l'intérêt de la méthode, pour les expositions au travail comme à domicile, et suggèrent son déploiement dans les études épidémiologiques.

Cette application a aussi été adaptée pour l'étude CRESPI (CRESPINET, APR-EST 2017) qui sera réalisée dans 100 crèches en Île-de-France. L'objectif est d'évaluer l'impact des expositions en crèches aux produits de nettoyage sur la santé respiratoire des très jeunes enfants (<3 ans).

Références

- Quinot C, Amsellem-Dubourget S, Temam S, Sévin E, Barreto C, Tackin A, Félicité J, Lyon-Caen S, Siroux V, Girard R, Descatha A, Le Moual N, Dumas O. Development of a barcode-based exposure assessment method to evaluate occupational exposure to disinfectants and cleaning products - a pilot study. *Occup Environ Med* 2018;75:668-74
- Dumas O, Wiley AS, Quinot C, Varraso R, Zock JP, Henneberger PK, Speizer FE, Le Moual N, Camargo CA Jr. Occupational exposure to disinfectants and asthma control in US nurses. *Eur Respir J.* 2017;50(4)
- Dumas O, Le Moual N. Do chronic workplace irritant exposures cause asthma? *Curr Opin Allergy Clin Immunol.* 2016;16:75-85
- Le Moual N, Dumas O. Asthme et produits ménagers. *La Lettre du Pneumologue*, vol. XIX, No 6, novembre-décembre 2016, pp. 280-307
- Le Moual N, Varraso R, Siroux V, Dumas O, Nadif R, Pin I, Zock JP, Kauffmann F on behalf of the Epidemiological Study on the Genetics and Environment of Asthma. Domestic use of cleaning sprays and asthma activity in females. *Eur Respir J.* 2012;40:1381-9

COBANET : projet financé par l'ADEME dans le cadre de l'APR 2015 du PNR EST Anses.

Impact de la phase chantier sur la qualité de l'air intérieur : identification de solutions pratiques

Charline Dematteo¹, Barbara Le Bot², Pierre Le Cann², Mariangel Sanchez³

¹Inddigo, Nantes ; ²Université de Rennes, Inserm, EHESP, IRSET-UMRS 1085, Rennes ; ³Agence qualité construction, Paris

Biographie

Ingénieur diplômée de l'Ecole des hautes études en santé publique (EHESP), Charline Dematteo est depuis 12 ans chef de projet et référente santé environnement au sein du bureau d'études Inddigo. Elle anime des formations et coordonne des projets de R&D portant sur la qualité de l'air intérieur. Elle mène également des missions de conseil et d'ingénierie auprès de collectivités et d'architectes.

Résumé

Le projet ICHAQAI (Impact de la phase CHAntier sur la Qualité de l'Air Intérieur) est issu d'une prise de conscience des difficultés de terrain pour assurer un niveau de qualité de l'air intérieur satisfaisant lors de la réception des ouvrages. En effet, au-delà des émissions de chaque produit de construction, il est apparu nécessaire de s'interroger sur l'enchaînement des tâches, sur les modalités de stockage des matériaux et sur les interactions des produits utilisés pour la pose. Face à ces constats, le bureau d'études Inddigo a réuni des experts en santé publique (EHESP), des experts de la construction (Agence qualité construction) et des acteurs de terrain (INTECO), de manière à approfondir le sujet dans le cadre de l'appel à projets CORTEA 2015 piloté par l'ADEME.

Matériels et méthodes

Le projet ICHAQAI s'est donné pour objectif d'améliorer les connaissances, avec la recherche de facteurs de pollution spécifiques à la phase chantier. Pour cela, deux chantiers de construction neuve ont fait l'objet d'investigations incluant des mesures de qualité de l'air intérieur à partir de la phase de hors d'eau/hors d'air, c'est-à-dire une fois les bâtiments clos et couverts. Les mesures ont porté sur nombre important de contaminants : composés organiques volatils (COV) et semi-volatils (COSV), particules fines (PM₁₀), présence de biomasse fongique dans l'air associée à un suivi des conditions de température et d'hygrométrie.

Résultats

Les mesures des taux d'hygrométrie et de biomasse dans l'air ont confirmé l'existence d'un risque important de développements fongiques en phase chantier. Les mesures de COV ont mis en évidence les tâches à l'origine des plus fortes émissions de contaminants chimiques. Celles-ci correspondent souvent à l'utilisation de produits considérés comme secondaires (peintures sur supports spécifiques ou produits de nettoyage par exemple). Les prélèvements effectués dans les réseaux aérauliques ont permis de confirmer le risque de refoulement de poussières contaminées en phase d'utilisation du bâtiment, dans les cas où le système de ventilation intègre de l'insufflation d'air neuf. Enfin les analyses des COSV adsorbés sur les poussières ont permis d'émettre des hypothèses sur les sources de COSV retrouvés dans les bâtiments occupés (quelle part attribuable aux produits de construction uniquement).

Conclusion

Les résultats ont révélé la nécessité d'une prise de conscience des impacts sanitaires potentiels parmi les professionnels du bâtiment. Loin de dépendre uniquement des émissions associées à chaque produit de construction, la future qualité de l'air intérieur est en lien étroit avec l'ensemble des process de mise en œuvre. Des solutions simples et faciles à mettre en œuvre existent, mais elles s'appuient sur davantage de dialogue et de collaboration entre les différents acteurs.



Références

- AQC. Penser qualité de l'air intérieur lors de la phase chantier – Plaquette de sensibilisation. <http://www.qualiteconstruction.com/sites/default/files/2019-05/PT-Qualite-Air-Interieur-Phase-Chantier.pdf>. 10 Juillet 2019
- AQC. Penser qualité de l'air intérieur en phase chantier - Guide méthodologique. <http://www.qualiteconstruction.com/sites/default/files/2019-05/PT-Qualite-Air-Interieur-Phase-Chantier-Guide-Methodologique.pdf>. 27 Juin 2019
- Construire mieux pour polluer moins. Revue Ademe & Vous - Le Mag, https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ademe_118_web.pdf, 15 sept. 2018
- C. Dematteo, B. Le Bot, P. Le Cann, M. Sanchez, Phase chantier et qualité de l'air intérieur : quel impact des process de construction sur la santé des futurs occupants ? Revue Environnement, Risques & Santé, article à paraître
- V. Gallon, P. Le Cann, M. Sanchez, C. Dematteo, B. Le Bot, Impact of the different construction stages of a building on indoor air quality at delivery. Article soumis pour publication dans la revue Indoor Air

ICHAQAI : projet financé par l'ADEME dans le cadre de l'APR 2015 de son programme CORTEA.

Confort des usagers des bâtiments tertiaires par l'usage de techniques de traitement de l'air

Elise Hallemans¹, Guillaume Coulbaux¹, Maureen Binet², Cécile Hort³, Vincent Platel³, Laurent Moynault³, Valérie Hequet⁴, Yves Andres⁴, Sara Leroy¹, Christelle Neaud¹

¹Cerema Île-de-France, Trappes-en-Yvelines ; ²Société Air Sûr Paris région innovation Nord Express, Paris ; ³Université Pau & Pays Adour, E2S UPPA, Laboratoire de thermique, énergétique et procédés (LaTEP), IPRA, EA1932, Pau ; ⁴IMT Atlantique, DSEE, GEPEA UMR CNRS 6144, Nantes

Biographie

Ingénieure des travaux publics de l'État sur titre en 2018, Elise Hallemans est docteure-ingénieure en chimie atmosphérique (INSA de Rouen, 2012 et Université Paris Est Créteil, 2016). Dans le cadre de ses travaux, elle a notamment piloté un projet complexe, CUBAIR, qui avait pour objectif l'amélioration de la qualité de l'air intérieur (ADEME « Vers des Bâtiments Responsables à l'horizon 2020 », 2014 - 2018). Elle est également membre du « Club bâtiment et santé » et du « Réseau scientifique et technique » du Ministère en charge de l'écologie dans le domaine de l'air.

Résumé

Le projet pluridisciplinaire CUBAIR (Confort des usagers des bâtiments tertiaires par l'usage de techniques de traitement de l'AIR), financé par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), dans le cadre de l'appel à projets « Vers des bâtiments responsables à l'horizon 2020 », a pour objectif de développer et d'étudier un prototype original couplant différentes techniques d'épuration de l'air (l'adsorption, la filtration et la photocatalyse).

Dans un premier temps, des essais ont été réalisés en laboratoire afin d'apporter des préconisations et des éléments de dimensionnement pour la mise en œuvre du prototype en conditions réelles. Ce prototype a été développé spécifiquement pour être intégré au sein du système de ventilation alimentant une salle de convivialité, d'un bâtiment du secteur tertiaire au CVRH (Centre de valorisation des ressources humaines) à Paris.

Matériels et méthodes

Le prototype étudié intègre trois techniques d'épuration de l'air : l'adsorption *via* un filtre à charbon actif, la filtration et l'oxydation photocatalytique assurée par l'activation de molécules de dioxyde de titane (TiO₂) grâce à une source lumineuse dans le domaine de l'UV. Avant d'être insufflé dans la salle de convivialité du CVRH, l'air extérieur passe par une centrale de traitement d'air qui permet une simple filtration mécanique des plus grosses particules. L'air est ensuite dirigé dans le prototype grâce à un ventilateur. L'air passe par un premier filtre constitué de trois types de charbons actifs, puis par deux filtres mécaniques (G4 puis F7) pour l'élimination des grosses particules (PM₁₀) et des plus fines (PM_{2,5}). L'air est ensuite acheminé vers le photocatalyseur avant d'être rejeté dans l'air ambiant de la salle de convivialité du CVRH.

Résultats

Les performances du prototype ont été évaluées et étudiées pendant environ une année (de mai 2017 à février 2018) pour le traitement de nombreux paramètres :

- gazeux (Oxydes d'azote (NOX), ozone (O₃) et composés organiques volatiles (COVs) dont des composés carbonylés comme des aldéhydes (ex. le formaldéhyde) ;
- particulaires (selon leur granulométrie, fine à ultra-fine : PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁) ;
- microbiologiques (bactéries et moisissures).



Les résultats ainsi obtenus ont mis principalement en évidence que :

- selon la nature du polluant considéré (gazeux, particulaires ou biologiques), l'efficacité de traitement en conditions réelles est fortement variable. Par exemple, pour le NO₂ et les PM₁, des abattements ont été observés *in situ* respectivement de 61 % et 77 %, mais à peine de 25 % pour le NO. Pour certains COVs type BTEX et dérivés, l'abattement varie entre 47 % (toluène) et 70 % (1,2,4-triméthylbenzène et le 1,3,5-triméthylbenzène) ;
- selon les techniques étudiées, les mécanismes physico-chimiques mis en œuvre sont différents et conduisent à la formation de composés secondaires (dioxyde d'azote, formaldéhyde, acétaldéhyde, ...) qui sont parfois plus nocifs que les composés initialement dégradés. Par exemple, dans le cas du formaldéhyde, de l'acétaldéhyde et du pentanal, les concentrations mesurées augmentent progressivement entre les différents étages du prototype de traitement de l'air (de 27 % à 50 % après le filtre à charbon actif puis de 33 à 125 % entre le filtre à charbon actif et le photocatalyseur).

Conclusion

Ce projet pluridisciplinaire (génie des procédés, chimie, microbiologie, énergétique, analyse de cycle de vie) apporte ainsi un éclairage sur les performances réelles dans un bâtiment existant de plusieurs techniques combinées de traitement de l'air qui sont souvent présentées comme une solution pour remédier aux problèmes de pollution de l'air. Les solutions les plus efficaces sont d'abord la diminution des sources car à l'origine de la pollution de l'air provenant de l'extérieur et de l'intérieur et aussi la mise en place de plans d'actions pour limiter l'exposition des personnes dans les milieux clos et ouverts.

Références

Rapports téléchargeables sur le site de l'ADEME :

<https://www.ademe.fr/ameliorer-qualite-lair-interieur-batiment-tertiaire-projet-cubair>

CUBAIR : projet financé par l'ADEME dans le cadre de l'APR 2014 de son programme BATRESP.

Engagements citoyens en faveur de la qualité de l'air

Audrey Martin¹, Gwendoline L'Her², Claire-Emmanuelle Leconte¹

¹Ville de Rennes ; ²UMR Ambiances architectures urbanités CNRS/ECN/ENSAN/ENSAG

Biographies

Claire-Emmanuelle Leconte est en charge de la gestion de la qualité de l'air intérieur et extérieur au service santé environnement de la ville de Rennes. Ingénieure en génie de l'environnement, elle a travaillé dans le domaine de la qualité de l'air à Montréal (Canada) durant 13 ans. En 2018, elle a suivi la formation du Mastère spécialisé® Ingénierie et management des risques en santé, environnement, travail (IMR-SET) de l'École des hautes études en santé publique.

Gwendoline L'Her, doctorante en études urbaines à l'École centrale de Nantes et l'École nationale supérieure d'Architecture de Nantes, elle s'intéresse aux métrologies participatives intégrées à l'action publique.

Résumé

La qualité de l'air constitue une préoccupation sanitaire et environnementale majeure. Elle nécessite de nouveaux modes de mobilisation pour sensibiliser et encourager des changements de comportement. Par ailleurs, le développement de micro-capteurs environnementaux à bas coût offre la possibilité d'aborder les problèmes environnementaux dans le débat public de manière innovante en mettant la mesure et la compréhension des résultats à la portée du citoyen.

Aussi, en vue d'impliquer les habitants dans l'amélioration de la qualité de l'air, la Ville de Rennes, la Maison de la consommation et de l'environnement et plusieurs partenaires (Air Breizh, École des hautes études en santé publique, ...) ont imaginé, sur le territoire, une démarche expérimentale de captation citoyenne de données sur la qualité de l'air. Lauréat de l'appel à projet Aact-Air 2015, le projet a bénéficié du soutien technique et financier de l'ADEME. Initiée en 2016, l'opération «Ambassad'Air», dans un premier temps sur deux quartiers, s'est étendue progressivement jusqu'à couvrir, aujourd'hui, tout le territoire de la ville de Rennes. Elle associe des volontaires (habitants, collectifs, associations, écoles...) en leur mettant à disposition des micro-capteurs.

La mise en synergie entre ces acteurs, qui se connaissaient peu, a conduit à mettre le sujet de l'air sur la place publique à Rennes, à casser les idées reçues sur la pollution, à faire naître de nouveaux projets (au budget participatif par exemple).

Dans le cadre du projet de recherche ADEME CAPCI (2019-2020), les membres de l'EHESP et l'UMR AAU s'intéressent à la perception de la figure d'ambassadeur de la qualité de l'air par les habitants et aux modalités d'actions engagées par les participants en faveur de la qualité de l'air.

L'enquête conduite dans le cas du projet CAPCI suit une méthodologie mixte. Elle continue d'une part, les enquêtes entreprises lors des deux premières campagnes (entretiens + observations des ateliers), elle associe d'autre part, à l'approche qualitative une étude des pratiques de captation faites à partir des données issues des capteurs. En prenant comme cas d'étude le projet Ambassad'Air, nous proposons de rendre compte d'un usage de micro-capteurs de la qualité de l'air dans l'action publique urbaine. L'intervention à deux voix, celle de la Ville de Rennes et celle des partenaires de recherche, s'attachera à présenter le volet opérationnel du dispositif et insistera sur les enjeux de ces modes d'action publique où observer, décrire, partager son expérience de l'environnement urbain est au cœur de la démarche participative proposée à un groupe d'habitants volontaires.



Nous nous attacherons à montrer comment la mesure citoyenne peut être un levier de mobilisation des habitants d'un territoire. Nous reviendrons également sur les enjeux de partenariat entre les acteurs de la recherche et une collectivité territoriale pour analyser l'utilisation de micro-capteurs par un collectif non-expert.

ECQA : projet financé par l'ADEME dans le cadre de l'APR 2015 de son programme AACT-AIR.

PRÉSENTATION
DES PROGRAMMES
DE RECHERCHE
DE L'ADEME ET DE L'ANSES



CORTEA : connaissance, réduction à la source et traitement des émissions dans l'air



CORTEA est un programme de l'ADEME visant à faire émerger des projets permettant d'améliorer les connaissances sur les émissions de polluants ayant des impacts sur la santé et/ou l'environnement, et sur leur évolution dans le champ proche de la source, mais aussi de développer des solutions de réduction des émissions. Il apporte un soutien à des travaux de recherche et développement orientés vers l'amélioration de la qualité de l'air intérieur et extérieur, en cohérence avec les actions de l'agence dans les secteurs des transports, de l'agriculture, du bâtiment, de l'industrie et de l'énergie.

Pour plus d'information : <https://www.ademe.fr/expertises/air-bruit/passer-a-l'action/dossier/programmes-faveur-qualite-lair-aact-air-cortea-primequal/cortea-connaissance-reduction-traitement-emissions-lair>

AACT-AIR : aide à l'action des collectivités territoriales et locales en faveur de l'air

AACT-AIR est un programme de l'ADEME qui a pour objectif d'aider les collectivités à mettre en œuvre des actions pertinentes d'amélioration de la qualité de l'air extérieur et intérieur dans différents domaines (mobilité, résidentiel-tertiaire, urbanisme, ...). Il vise à les aider à surmonter les difficultés techniques et/ou juridiques liées à la mise en œuvre d'actions, en les accompagnant financièrement et techniquement. Cet appel à projets s'adresse également aux organismes de recherches qui souhaitent développer ou améliorer les connaissances et outils favorisant le passage à l'action, en lien directement avec les utilisateurs c'est-à-dire les collectivités.

Pour plus d'information : <https://www.ademe.fr/expertises/air-bruit/passer-a-l'action/dossier/programmes-faveur-qualite-lair-aact-air-cortea-primequal/aact-air-actions-faveur-qualite-lair-territoires>

BATRESP : vers des bâtiments responsables

Pour réussir la transition énergétique et bas carbone, réduire les impacts environnementaux du secteur du bâtiment reste une action prioritaire. Malgré une hausse de la mobilisation du secteur public, privé et de la société civile ces dernières années, les résultats des actions mises en place restent insuffisantes. L'objectif principal du programme BATRESP de l'ADEME est de soutenir des projets de recherches et d'expérimentations qui permettent de générer des nouvelles connaissances, levant des verrous scientifiques, techniques, socioéconomiques, sanitaires et/ou organisationnelles et qui apportent des recommandations en terme de politiques publiques.

Pour plus d'information : <https://appelsprojets.ademe.fr/aap/BATRESP2019-84#resultats>

PNR EST : Programme national de recherche environnement-santé-travail

Le programme national de recherche Environnement-Santé-Travail piloté par l'Anses a pour ambition de conduire les communautés scientifiques à produire des données et des connaissances utiles aux différentes phases de l'analyse du risque sanitaire et, ainsi, à rapprocher recherche et expertise scientifique. Il porte sur l'évaluation et l'analyse aussi bien des risques environnementaux pour la santé humaine, en population générale ou au travail, que des risques pour les écosystèmes ou relatifs à la qualité des milieux.

Financé par l'Anses sur des budgets délégués par les ministères chargés de l'environnement, de l'agriculture et du travail, et il associe également plusieurs co-financeurs : l'ADEME, l'ITMO Cancer de l'alliance AVIESAN dans le cadre du Plan Cancer. Il bénéficie également de crédits du plan ÉCOPHYTO II.

Pour plus d'information : <https://www.anses.fr/fr/content/le-programme-national-de-recherche-environnement-sant%C3%A9-travail-pnrest>



FINANCEURS DES APPELS À PROJETS DE RECHERCHE DE L'ADEME ET DU PNR-EST

 <p><i>Liberté • Égalité • Fraternité</i> RÉPUBLIQUE FRANÇAISE</p>
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE
MINISTÈRE DU TRAVAIL, DE L'EMPLOI, DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE ET DU DIALOGUE SOCIAL
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION

