

LES
CAHIERS
DE LA
RECHERCHE

Santé, Environnement, Travail

La santé au travail
Comprendre où en est la recherche

JUIN 2018

Édition scientifique

anses
agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Éditorial

Améliorer la santé et la sécurité au travail constitue un enjeu majeur pour l'Anses qui contribue, depuis 2005, à la prévention des risques professionnels. Des efforts ont été engagés pour évaluer et connaître les risques professionnels notamment émergents (ex. pesticides, nanoparticules, perturbateurs endocriniens, champs électromagnétiques) et élaborer des recommandations de valeurs limites d'exposition professionnelles (VLEP) afin de protéger les travailleurs. L'Agence s'appuie également sur le réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles (RNV3P) qui gère une base de données nationales sur les pathologies professionnelles. Qu'il s'agisse des activités d'expertise, de veille scientifique et de vigilance, toutes les données collectées sont utiles pour produire des connaissances en vue d'éclairer les pouvoirs publics.

Si des progrès indéniables ont été accomplis en matière de santé au travail, la recherche scientifique reste indispensable pour développer les connaissances des dangers, des risques et des expositions en milieu professionnel. Depuis 2006, l'Anses pilote le Programme National de Recherche Environnement Santé Travail (PNR EST) grâce au soutien constant des ministères en charge de l'environnement et du travail. Chaque année, des appels à projets de recherche sont ainsi lancés pour contribuer à la production de connaissances directement utilisables, notamment dans le domaine de la santé au travail. En 2017, l'Agence a alloué plus de 6,3 M€ à cet effet poursuivant, avec ses partenaires, le travail de soutien à la recherche et aux équipes de recherche qui s'intéressent à ces sujets. Elle contribue d'une part, à structurer et développer la recherche publique en santé et sécurité au travail et d'autre part, à former un potentiel de spécialistes mobilisables pour les activités d'expertise.

Deux fois par an, l'Anses fait connaître les résultats de ces recherches en organisant des *Rencontres Scientifiques* ouvertes à différents publics (ex. acteurs du pouvoir public, communautés scientifiques, associations, industriels, étudiants). Elle ouvre la réflexion en publiant les *Cahiers de la Recherche* qui explicitent les questions que se posent les scientifiques en amont de leurs projets et donnent des exemples de résultats qu'ils peuvent ainsi produire. Dans la continuité du numéro 4 (mai 2014), ce numéro est dédié à la santé au travail. Il présente dix-huit projets financés dans le cadre du PNR EST impliquant une soixantaine d'équipes de recherche, pour un montant total d'aides de 3 M€.

« Si des progrès indéniables ont été accomplis en matière de santé au travail, la recherche scientifique reste indispensable pour développer les connaissances des dangers, des risques et des expositions en milieu professionnel. »

La santé au travail demeure un axe fort de l'activité de l'Anses. L'évolution de la société, mais aussi celle des technologies et leur impact sur le milieu professionnel, suscitent de nouvelles questions. C'est pourquoi le développement et le soutien à la recherche publique permet d'améliorer la connaissance des effets des expositions professionnelle sur la santé humaine, d'évaluer et d'analyser les risques dans le cadre de l'activité de travail.

Pour accroître encore la diffusion de l'information scientifique, l'Anses a ouvert la collection des *Cahiers de la Recherche* sur la plateforme d'archives ouvertes HAL-Anses, mettant à disposition l'ensemble des articles publiés dans les *Cahiers de la Recherche* depuis décembre 2012. Elle favorise ainsi l'accès à la connaissance selon un mode de consultation structuré par auteur, par date et par mots-clés, conformément à sa devise : « *Connaître, évaluer, protéger* ».

Dr. Roger GENET

Directeur général, Anses

Cahiers de la Recherche LA SANTÉ AU TRAVAIL		# 11
18	64	3
Projets valorisés	Équipes de recherche impliquées	Millions d'euros alloués

Sommaire

Éditorial.....	1
Sommaire.....	3
La santé au travail	5
Évaluation des expositions professionnelles aux particules nanométriques	8
Utilisation de Codes-Barres pour évaluer les expositions aux produits de nettoyage - COBANET.....	10
Travailleurs et champs électromagnétiques industriels	13
Expositions professionnelles aux solvants et vieillissement.....	15
Exposition aux fluides de coupe et marqueurs d'effets précoces	16
Expositions lors d'entretien des dalles de sol vinyle amiante	18
Exposimètre de bruit pour bureaux ouverts.....	20
Qualité de l'air intérieur des structures médico-sociales et libérales	22
Autour de la santé respiratoire	24
La mesure directe de marqueurs du stress oxydant dans l'air expiré.....	28
Inflammation et sénescence dans les BPCO professionnelles	30
Exposition professionnelle aux produits de nettoyage	32
L'exposition aux nanoparticules en milieu aéroportuaire	34
L'asthme aggravé par le travail	36
Multi-expositions, facteurs organisationnels, risques et représentations.....	38
Les effets du travail de nuit sur le rythme circadien et le sommeil.....	40
Facteurs psychosociaux au travail et mortalité	42
L'impact potentiel des scénarios de prévention des TMS	44
Risque zoonotique : l'exemple de la fièvre Q dans le Grand-Ouest.....	46
Risques professionnels, surveillance et incertitude	48
Abréviations utilisées	50
Table des illustrations.....	53
Mentions légales.....	54
Archives ouvertes.....	55

Retrouvez les *Cahiers de la Recherche* sur le site de l'Agence !

<https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche>

t à vos favoris en les ajoutant à la barre de favoris. Importer mes favoris maintenant...

L'Anses Expertise et évaluation Recherche et référence Veille et vigilances Europe et internationale Recrutement Mon compte FR EN

Actualités Nos thématiques Index A - Z Avis, rapports, publications Événements Appels, consultations Presse Presse

anses
Agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail
Connaître, évaluer, protéger

Agence nationale de l'alimentation et du travail

Rechercher sur le site OK

Accueil > Les cahiers de la recherche

Les cahiers de la recherche

En matière de recherches financées dans le cadre du programme de Travail (PNR EST) dans ce domaine, elle a contribué à la thématique "Projets de recherche" lancés.

Cette édition des *Cahiers de la recherche* est la première sur le thème "Radiofréquences et santé". Elle laisse apparaître les retombées du fort investissement des chercheurs dans ce domaine avec l'émergence de nouvelles idées et les premiers résultats. Elle souligne également un autre point positif pour une agence comme l'Anses : l'émergence d'une communauté de recherche avec des acteurs confirmés mais aussi, chaque année, de nouveaux entrants qui apportent de techniques et des idées nouvelles.

► Consulter notre dernier numéro : *Cahier de la recherche n°9 : "Radiofréquences et santé"* (pdf)

Anciens numéros :
Cahier de la recherche n°8 : "Regards sur 10 ans de recherche. Le PNR-EST, de 2006 à 2015" (pdf)

- Avis, rapports sur saisine
- Avis REACH et CLP
- Registre des décisions d'AMM
- Registre des produits biocides
- Registre des avis macroorganismes
- Informations pétitionnaires PPP
- Informations pétitionnaires MFSC
- Fiches de dangers biologiques
- Fiches d'aide à la rédaction des GBPH
- Fiches de maladies animales
- Fiches sur les maladies végétales
- Bibliothèque des documents réglementaires vétérinaires
- Plaquettes de l'Anses
- Plaquettes de conseils pratiques
- Magazines et périodiques
- Avis du comité de déontologie
- Lettre d'information
- Bulletin de veille scientifique
- Le bulletin des vigilances de l'Anses (Vigil'Anses)
- Bulletin épidémiologique
- Euroreference
- Les cahiers de la recherche

<https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche>

Avertissement à l'attention des lecteurs



Les présentations des projets de recherche reflètent les points de vue des équipes scientifiques partenaires et n'engagent ni les Ministères de tutelles ou l'Anses et les partenaires associés. Pour toute question, les contacts sont indiqués en tête de chaque article.

La santé au travail

Selon l'Organisation Internationale du Travail (OIT), « le terme "santé" en relation avec le travail, ne vise pas seulement l'absence de maladie ou d'infirmité ; il inclut aussi les éléments physiques et mentaux affectant la santé directement liés à la sécurité et à l'hygiène au travail »¹. C'est une démarche interdisciplinaire qui associe non seulement les employés et les employeurs, mais aussi les aspects environnementaux, sociaux, ergonomiques et organisationnels de l'activité professionnelle. Elle s'articule, au niveau mondial, autour de trois axes distincts² :

1. Préservation et promotion de la santé du travailleur et de sa capacité de travail ;
2. Amélioration du milieu de travail et du travail, qui doivent être rendus favorables à la sécurité et la santé ;
3. Élaboration d'une organisation et d'une culture du travail qui développent la santé et la sécurité au travail.

La variété des dangers auxquels les travailleurs sont confrontés, l'intensité potentielle des expositions associées et leur durée, compte tenu du temps passé au travail, ainsi que l'importance de la population concernée (28,6 millions d'actifs en France métropolitaine en 2014³) confèrent à la thématique de la santé au travail, une place particulière en matière de santé publique.



Illustration 1 : Les facteurs de risques professionnels, quelques exemples (Crédits : Fotolia)

Bien des facteurs ont des conséquences sur la santé et le bien-être au travail. Ils peuvent être de nature physique (ex. bruit, champs électromagnétiques...), chimique (ex. produits de nettoyage, solvants, fluides de coupe) et/ou biologique (ex. microorganismes pathogènes). Les facteurs organisationnels ont une importance particulière parce qu'ils conditionnent les niveaux d'exposition aux autres facteurs de risque et aussi aux facteurs psychosociaux (ex. stress, agressions, harcèlement). Ces facteurs peuvent coexister et leurs effets se combiner.

¹ Organisation Internationale du Travail, *Convention 155 sur la sécurité et la santé des travailleurs*, 1981.

² GOHNET, Le réseau mondial pour la santé au travail, No 5, été 2003.

³ Insee, *Tableau de l'économie française*, édition 2016. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1906671?sommaire=1906743>

Si un grand nombre de facteurs de risques professionnels a été identifié, la connaissance de leurs impacts réels sur la santé des travailleurs, notamment la façon dont l'activité et les conditions de travail peuvent moduler l'exposition à des facteurs de risque professionnels classiques, reste encore à investiguer. Plusieurs projets se rapportent à cette thématique. Ainsi pour évaluer les expositions professionnelles, les chercheurs proposent le développement de nouveaux outils et méthodes. En ce qui concerne :

- Les particules nanométriques : Alain Garrigou réfléchit à une stratégie de mesurage couplée à de l'analyse d'activité (ExproPNano, pp. 8-10) ;
- Les produits de nettoyage et de désinfection : Nicole Le Moual étudie l'utilisation potentielle de codes-barres (COBANET, pp. 10-12) ;
- Les champs électromagnétiques industriels : Riccardo Scorretti propose de mettre en place une nouvelle méthode de caractérisation de l'exposition des travailleurs par dosimétrie numérique (EXTI, pp. 13-14) ;
- Le bruit dans les bureaux ouverts : Patrick Chevret propose dans la continuité des travaux d'Étienne Parizet⁴, de développer un système prototype pour mesurer la fatigue ressentie, par exemple, par les occupants des « *open-spaces* » (EBBO, pp. 20-21).

Dans le cadre du PNR EST, 22 % des projets financés depuis 2006 ont un volet « exposition professionnelle » ; le domaine de la santé au travail reste un domaine très actif, notamment lorsqu'il s'agit de déterminer les origines professionnelles de diverses maladies. Une question importante est : *Comment relier des expositions sur le lieu de travail à des effets sur la santé ?*

Ces travaux sont rendus complexes en raison de la multiplicité, plus grande que par le passé, de situations rencontrées dans le monde du travail et des difficultés rencontrées, *a fortiori*, lorsqu'il s'agit de reconstituer des expositions au travail (ex. diversité des parcours professionnels, évolution rapide des technologies et/ou des substances utilisées). Parfois aussi, les effets sont différés dans le temps. De nombreuses études montrent, par exemple, que les expositions chimiques peuvent avoir des effets à long terme sur le risque de survenue de différentes maladies chroniques. C'est pourquoi Claudine Berr s'interroge sur les effets des expositions professionnelles aux solvants sur le vieillissement, notamment les performances cognitives et physiques de travailleurs après la retraite CONSOLAGE (pp. 15-16).

Le développement de la recherche en santé travail et son impact sur la connaissance des risques au poste de travail complètent aussi les travaux d'expertise collective menés par l'Anses sur des substances dangereuses. Citons, en réponse aux recommandations de l'agence :

- OxlGenoCOM (sous la responsabilité de Pascal Wild) : Exposition aux fluides de coupe et marqueurs d'effets précoces (pp. 16-18) ;
- DAVINYLAIR (sous la responsabilité de Laurent Martinon) : Étude des expositions aux fibres d'amiante en liaison avec les procédures d'entretien de dalles de sol vinyle amiante et avec la granulométrie des fibres émises (pp. 18-20).

La qualité des environnements professionnels, notamment la qualité de l'air intérieur, constitue un axe fort de recherche en matière de santé au travail. Si les hôpitaux ont fait l'objet, dans ce

⁴ Etienne Parizet. La gêne acoustique dans les bureaux ouverts. *Les cahiers de la Recherche. Santé, Environnement, Travail*, ANSES, 2014, La santé au travail, pp.20-21. <https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche> . [anses-01729320](https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche)

contexte, d'études récentes sur les contaminants de l'air⁵, d'autres structures de soins à la fois médico-sociale et libérale (ex. EHPAD, maisons de retraite, cabinets dentaires) ont été beaucoup moins explorées. Pourtant, les personnels sont exposés, comme en milieu hospitalier, à une large gamme de contaminants biologiques (ex. bactéries, champignons, virus) et de composés chimiques. Le projet médiQAI, présenté ici par Arnaud Florentin, permettra donc de disposer de données concernant la contamination de l'environnement intérieur par des substances chimiques et des agents microbiens dans ces différentes structures (pp. 22-23).



Illustration 2 : Les fluides de coupe (Anses Éditions, janvier 2012)



Illustration 3 : Effets sanitaires et identification des fragments de clivage d'amphiboles issus des matériaux de carrière (Anses Éditions, décembre 2015)

⁵ Estelle Baurès. La qualité de l'air intérieur dans les hôpitaux. *Les cahiers de la Recherche. Santé, Environnement, Travail*, ANSES, 2016, Regards sur 10 ans de recherche, le PNR EST de 2006 à 2015, pp.50-51. <https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche> . [anses-01766347](#)

Évaluation des expositions professionnelles aux particules nanométriques

Développement et mise en œuvre d'une stratégie opérationnelle d'évaluation des expositions professionnelles aux particules nanométriques articulant le mesurage à l'analyse de l'activité

Alain GARRIGOU, équipe EPICENE, U1219, Inserm et université de Bordeaux.

Louis Galey, Sabyne Audignon, Aude Lacourt et **Patrick Brochard**, Inserm U1219, Bordeaux / **Olivier Witschger**, INRS, Vandœuvre-lès-Nancy / **Olivier Le Bihan**, Ineris, Verneuil-en-Halatte / **Maximilien Debia**, Univ. Montréal, Dép. Santé environnementale et santé au travail, Montréal (Canada) / **Pierre Lambert**, Carsat, Bruges / **Irina Canu**, Santé publique France, St Maurice / **Laurent Martinon**, LAFP, SPSE, Ville de Paris

Étude en cours depuis 2014 – Financement : 199.528 € – Contact : alain.garrigou@u-bordeaux.fr

Mots-clés : nanoparticule, particule fine, particule atmosphérique, aérosol, exposition professionnelle, mesure, activité de travail, prévention, risque, pollution atmosphérique, métrologie, épidémiologie, matrice emploi exposition, Aquitaine, gestion risque

Les particules nanométriques (PN) peuvent être isolées, avec un diamètre inférieur à 100nm, ou regroupées sous forme d'agrégats et d'agglomérats. Ces aérosols nanométriques peuvent être générés non intentionnellement (PNNI) lors du fonctionnement de process ou émises lors de la fabrication et manipulation de nanomatériaux manufacturés (PNM). La toxicité des PN est maintenant bien décrite tant au niveau cellulaire que tissulaire. La taille de ces particules induit une réactivité biologique plus forte et des barrières physiologiques deviennent perméables par rapport à des particules de taille supérieure de même composition chimique et à masse identique. Un tel constat questionne le paradigme conventionnel de la masse lorsqu'il s'agit d'évaluer l'exposition aux PN. En outre, d'autres déterminants de la toxicité comme la concentration en surface et en nombre, la taille

et la forme des particules ainsi que la composition chimique sont également à prendre en compte quand il s'agit des particules nanométriques. Plusieurs recommandations d'évaluation ont été élaborées dans ce contexte d'incertitude. Aucune ne fait à ce jour consensus et la mise en œuvre par les acteurs de la prévention reste un challenge. Les données d'exposition disponibles à ce jour présentent une grande hétérogénéité dans les méthodes et résultats et ne couvrent pas l'ensemble des situations exposantes. En l'état des connaissances sur les expositions, la construction d'études épidémiologiques reste un défi et les actions de prévention freinées.

Les méthodes intégrant l'activité de travail sont des ressources pour l'analyse des expositions.

Le projet de recherche : ExproPNano

L'objectif du projet consiste à proposer une nouvelle approche d'évaluation des expositions professionnelles aux PN, testée dans différentes entreprises. Cette approche s'appuie sur des compétences pluridisciplinaires : ergonomie, hygiène industrielle, métrologie, chimie, épidémiologie.

Méthodologie

Une première étape était l'analyse critique des recommandations d'évaluation existantes élaborées aux niveaux national et international pour mesurer les particules nanométriques en milieu professionnel. Cet état de l'art accompagné d'échanges avec les partenaires a permis d'aboutir à un consensus de stratégie à visée opérationnelle.

À partir d'observations initiales en entreprises, une évaluation approfondie a été menée sur les postes de travail ciblés⁶. Des mesures en temps

⁶ Entre mai 2017 et janvier 2018, 18 campagnes d'évaluation approfondie ont été réalisées dans 5 entreprises par une équipe de 3 personnes non spécialistes de la métrologie (ergonome et hygiénistes industriels). Les opérations ciblées impliquaient à la fois des procédés potentiellement émetteurs de PNNI (fabrication additive, projection thermique et nettoyage cabines de projection, démontage moteurs) et des opérations de manipulation de PNM (pesée, transvasement, mélange) dans les secteurs de

réel et intégrées ciblant la fraction nanométrique et conventionnelle de l'aérosol ont été mises en œuvre systématiquement au plus près des voies respiratoires des opérateurs, auprès de la source potentielle de PN et à une distance éloignée du poste de travail⁷. Différents instruments et dispositifs d'échantillonnage ont été testés pour les mêmes fractions de l'aérosol. L'activité des opérateurs a été observée et filmée, couplée à un enregistrement de la fréquence cardiaque et respiratoire des travailleurs⁸.

Ensuite, la présentation des résultats lors d'entretiens de confrontation ou restitutions collectives à travers des supports compréhensibles par les acteurs de l'entreprise a été menée.

Résultats préliminaires

Il ressort des 22 recommandations d'évaluation actuelles, un niveau d'expertise élevé nécessaire à la mise en œuvre. Les stratégies sont applicables essentiellement pour les PNM. La diversité des objectifs, des types d'aérosols de PN d'intérêt (sources, natures physico-chimiques et évolutions) et leur comportement dans l'air explique en partie les difficultés d'aboutir à une méthode partagée. L'expertise, le coût et l'investigation approfondie nécessaire pour mener à bien une évaluation de l'exposition ressort systématiquement des stratégies.

Les recommandations les plus récentes abordent le besoin de relever les tâches réalisées par les travailleurs ou le mode de fonctionnement des « process » afin de mieux comprendre les

l'aéronautique civil et militaire, du caoutchouc industriel et de la recherche.

⁷ L'articulation entre les mesures des différentes fractions de l'aérosol (concentrations, spéciation chimique et morphologie) comparables à plusieurs points d'échantillonnage (opérateur-source-bruit de fond) et l'analyse fine de l'activité doivent permettre une meilleure compréhension des expositions aux PN et de leurs niveaux. L'intégration de niveaux d'intensité physique (fréquences cardiaques et respiratoires) à ces données pourra apporter une information quant au potentiel dépôt dans les voies respiratoires.

⁸ L'usage d'un logiciel de VEM (Video Exposure Monitoring) a permis la synchronisation des données de mesure avec les vidéos, ce qui nourrit les analyses, l'interprétation des données et la co-construction de la compréhension de l'activité et des phases d'exposition avec les travailleurs observés.

expositions. Le point de vue défendu dans ce projet est que l'exposition des travailleurs est liée aux interactions entre d'une part, les particules nanométriques avec des caractéristiques physico-chimiques et des concentrations bien spécifiques, et d'autre part, la nature de l'activité de travail réalisée (en particulier, du point de vue de l'intensité physique). L'illustration ci-dessous décrit une situation d'exposition.

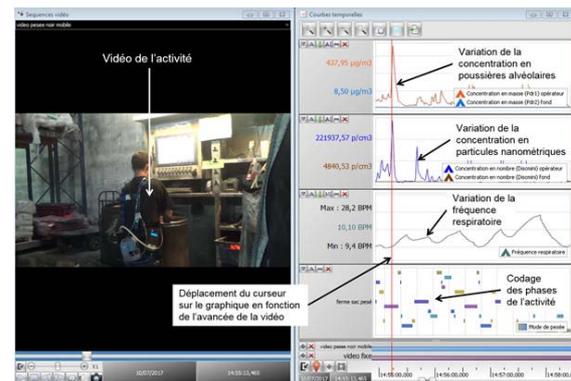


Illustration 4 : Extrait de synchronisation de vidéo et mesures en temps réel. Une augmentation de l'exposition de l'opérateur aux particules micrométriques et nanométriques de noir de carbone est enregistrée lors de la fermeture d'un sac pesé. Ce type d'activité entraîne des intensités physiques fortes liées à la manipulation de sacs de 25 kg. Un codage de l'activité permet de corréler les niveaux d'exposition aux actions de l'opérateur.

L'ensemble des étapes de la stratégie développée, des investigations initiales à la présentation des résultats en entreprise, doit contribuer à évaluer le processus de gestion des risques liés à la présence de PN. Les conditions d'exposition des travailleurs aux PN constituent une énigme accessible de manière fragmentée par les opérateurs, l'encadrement de l'entreprise ou bien les préventeurs.

Une comparaison des niveaux de sécurité relatifs en fonction des milieux professionnels est possible. Ces niveaux de sécurité intègrent la sécurité formelle en place (évaluation des risques, fiches de poste, équipements de protection...), la sécurité effective dans la réalisation du travail (lien entre activités de travail et résultats de mesurages) et les perspectives d'évolution de la sécurité.

Retombées :

Livret de recueil de données en entreprise pour l'évaluation des expositions aux PN (Livret ExproPNano), Mise à disposition des données dans les bases COLCHIC (INRS) et Ev@lutil (Santé Publique France)

Utilisation de Codes-Barres pour évaluer les expositions aux produits de nettoyage - COBANET

Utilisation de Codes-Barres pour évaluer les expositions professionnelles ou domestiques aux produits de nettoyage et de désinfection – Étude de faisabilité

Nicole LE MOUAL, Vieillissement et maladies chroniques. Approches épidémiologique et de santé publique. VIMA-Inserm U-MRS 1168, Villejuif

Nicole Le Moual, Oriane Dumas, Sofia Temam, Catherine Quinot, Alexis Descatha, VIMA – Inserm U-MRS 1168, Villejuif / Valérie Siroux, Sarah Lyon-Caen, Rémy Slama, IAB, Inserm/CNRS/Univ. Grenoble-Alpes U1209 / Raphaële Girard, Sylvie Amsellem, Christine Barreto, Prodhabase®, CHU, Lyon / Étienne Sévin et Jérémie Félicité, EPICONCEPT, Paris

Étude de faisabilité en cours depuis 2015 – Financement (ADEME): 49.962 € – Contact : nicole.lemoual@inserm.fr

Mots-clés : exposition professionnelle, entretien, activité domestique, ménage, lavage, air

L'asthme professionnel est une maladie inflammatoire des voies aériennes qui peut survenir, chez l'adulte, pendant l'activité professionnelle; c'est la première affection respiratoire professionnelle avec une prévalence en augmentation ces dernières années. Cette augmentation pourrait être en partie causée par l'usage de produits de nettoyage et de désinfection, comme l'eau de javel et l'ammoniac déjà connus comme « asthmogènes », sous de nouvelles formes (ex. sprays, lingettes). Comme l'a démontré le précédent projet de recherche « NETA »⁹, « la question dépasse largement le cadre professionnel et concerne également l'utilisation régulière de produits de nettoyage et de désinfection lors du ménage à domicile »¹⁰; cette exposition pourrait

⁹ Projet financé par le PNR EST de 2009 à 2013.

¹⁰ Nicole Le Moual. Étude de l'asthme chez les personnels hospitaliers et de ménage : Rôle des expositions professionnelles ou domestiques aux produits de nettoyage et de désinfection dans

représenter un important problème de santé publique, particulièrement chez les femmes.

Les produits d'entretien

Les produits d'entretien contiennent de nombreuses substances irritantes (ex. ammoniac, eau de javel, solvants, acides dont détartrants¹¹) ou sensibilisantes (ex. limonènes¹² et autres parfums) qui peuvent provoquer de l'asthme selon des mécanismes encore peu connus. Bien que des associations aient été mises en évidence entre l'utilisation régulière de ces produits et l'apparition de l'asthme, les agents chimiques en cause n'ont pas été clairement identifiés. Or, la production de ces produits d'entretien sous forme de sprays a augmenté, depuis 2006, en Europe¹³ alors que cette forme d'utilisation présente un risque élevé d'inhalation.



Illustration 5 : Les produits d'entretien sous forme de sprays (Crédits : iStock)

Selon une étude récente, les sprays sont utilisés de façon hebdomadaire par 42% des personnes qui font le ménage à leur domicile. Toutefois, l'évaluation de l'exposition est difficile et pose des problèmes méthodologiques. Dans les études menées sur les associations avec les

pathologies respiratoires, la déclaration des sujets figure parmi les méthodes les plus utilisées pour évaluer l'exposition à des produits de nettoyage et de désinfection spécifiques. Mais elle peut entraîner des biais importants : sur- ou sous-estimation de l'exposition, défaut de mémoire avec potentiellement des erreurs de classement¹⁴, etc.

Le projet de recherche : COBANET

Pour améliorer l'évaluation des expositions en minimisant les effets de biais, la piste proposée dans ce projet serait d'évaluer l'utilisation des produits de nettoyage et de désinfection en France à partir de leurs codes-barres. Cette méthode novatrice permettrait d'accéder d'une part, à la composition détaillée des produits et d'estimer d'autre part, tant l'exposition professionnelle que l'exposition domestique à ces produits.

Méthodologie

Pour atteindre ces objectifs :

1. Deux bases de données ont été constituées pour les produits de nettoyage et de désinfection utilisés en milieu hospitalier¹⁵ et à domicile¹⁶ ;
2. Deux applications Smartphone, COBANET-Hôpital et COBANET-Domicile, ont été développées pour scanner les codes-barres des produits utilisés puis répondre simultanément à un questionnaire pour collecter des données sur l'usage de ces produits (ex. fréquence d'utilisation, forme, protection...);
3. Une étude pilote a été conduite dans un hôpital pour évaluer les expositions des personnels hospitaliers¹⁷ ;

l'asthme. *Les cahiers de la Recherche. Santé, Environnement, Travail*, ANSES, 2014, La santé au travail, pp.29-31.

<https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche> . [anses-01725785](https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche)

¹¹ Acides contenus dans les détartrants (ex. sulfamique, oxalique).

¹² Le limonène est une molécule de la famille des terpènes, qui tire son nom du citron (*Citrus limon*).

¹³ European Aerosol Federation, *Annual Report 2010-2011*, consultable sur le site internet : http://www.aerosol.org/wp-content/uploads/2017/09/FEA_AnnRep2017.pdf

¹⁴ Les participants aux enquêtes ne connaissent pas toujours la composition des produits qu'ils utilisent.

¹⁵ Pour les produits utilisés en milieu hospitalier (n=799) : 98% des produits ont au moins une information disponible sur la composition mais les codes-barres ne sont présents que pour 28% des produits.

¹⁶ Pour les produits utilisés à domicile (n=2349), les résultats préliminaires indiquent que 95% des produits ont un code-barre.

¹⁷ Hôpital Raymond Poincaré, Garches : 7 services, 14 personnels hospitaliers (janvier 2017).

4. L'application COBANET-domicile est en cours d'utilisation par des femmes volontaires de la cohorte SEPAGES¹⁸ depuis un peu plus d'un an, durant la grossesse et après la naissance des enfants.



Illustration 6 : Application COBANET¹⁹

Résultats

Les applications pour évaluer les expositions professionnelles en milieu hospitalier (Quinot C et al. 2016) et à domicile (Temam S et al 2016) à partir de la lecture de code-barres, sont actuellement disponibles.

L'étude en milieu hospitalier montre que la nouvelle application COBANET-hôpital est simple à mettre en place, facile et rapide à utiliser pour les participants. Elle permet d'évaluer de façon précise les expositions professionnelles aux différentes substances. Lors

¹⁸ Site : <http://sepages.inserm.fr/fr/accueil/>

¹⁹ Quinot C, Amsellem-Dubourget S, Temam S, Sévin E, Barreto C, Félicité J, Siroux V, Girard R, Descatha A, Le Moual N, Dumas O. Development of a barcode-based exposure assessment method to evaluate occupational exposure to cleaning products and disinfectants. EPICOH congress, Barcelona, Septembre 2016. *Occup Environ Med* 2016; 73:Suppl 1 A82 doi: [10.1136/oemed-2016-103951.221](https://doi.org/10.1136/oemed-2016-103951.221)

de l'étude pilote, il a été constaté que les personnels hospitaliers utilisaient de façon hebdomadaire principalement des produits contenant de l'alcool et des composés d'ammonium quaternaires (>90%) mais aussi de l'eau de javel (29%). La majorité des produits étaient utilisée sous forme liquide (55%) ou de sprays (24%). Et 21% des produits étaient utilisés pour nettoyer les surfaces and 16% pour nettoyer les toilettes.

Pour les produits utilisés à domicile, la base de données (n=2349) comprend les informations suivantes : codes-barres, nom du produit, usage, présentation. 88% des compositions sont déjà disponibles.

Ces résultats confirment l'intérêt de cette méthode. Elle devrait avoir un impact important pour faciliter et améliorer l'estimation des expositions aux produits de nettoyage et de désinfection au travail ou à domicile dans de futures études épidémiologiques ; elle permettra de préciser aussi les risques sanitaires associés. Le projet a permis ainsi la mise en place d'une étude auprès de cent crèches en Ile-de-France qui devrait débuter en 2019 : CRESPINET²⁰. Son objectif principal : étudier l'impact des expositions aux produits de nettoyage sur la santé respiratoire des très jeunes enfants (<3ans) en crèches.

Publications :

N. Le Moual, O. Dumas, *Asthme et produits ménagers*, in. *La Lettre du Pneumologue*, vol. XIX, No 6, novembre-décembre 2016, pp. 280-307

O. Dumas, N. Le Moual. Do chronic workplace irritant exposures cause asthma? *Curr Opin Allergy Clin Immunol*. 2016;16:75-85. doi: [10.1097/ACI.0000000000000247](https://doi.org/10.1097/ACI.0000000000000247)

C. Quinot, S. Amsellem-Dubourget, S. Temam, E. Sévin, C. Barreto, A. Tackin, J. Félicité, S. Lyon-Caen, V. Siroux, R. Girard, A. Descatha, N. Le Moual, O. Dumas. Development of a barcode-based exposure assessment method to evaluate occupational exposure to disinfectants and cleaning products – a pilot study. *Occup Environ Med* 2018

²⁰ Impact des expositions environnementales aux produits de NETtoyage et de désinfection sur la santé RESPIratoire des nourissons et très jeunes enfants en crèches. Financement : PNR EST (ADEME) 2017.

Travailleurs et champs électromagnétiques industriels

Exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques industriels

Riccardo SCORRETTI, École centrale de Lyon, Laboratoire Ampère, UMR 5005, CNRS, Écully

Fabien Ndagijimana, Laboratoire IMEP/LaHC, UMR 5130, Univ. Joseph Fourier, St-Martin d'Hères / **Patrice Donati**, INRS, Dép. Ingénierie des équipements de travail, Vandoeuvre-les-Nancy

Étude en cours depuis 2015 – Financement : 199.867 € – Contact : riccardo.scorretti@ec-lyon.fr

Mots-clés : exposition professionnelle, champ électromagnétique, radiofréquence, équipement industriel, métrologie, dosimétrie, modélisation numérique

Pour protéger les travailleurs contre les risques dus aux champs électromagnétiques, la directive européenne 2013/35/UE²¹ a défini des valeurs limites d'exposition (VLE) et des valeurs déclenchant l'action (VA) pour les différentes bandes de fréquences.

Les valeurs d'action

Le respect des VA garantit le respect des VLE ; il peut se vérifier en mesurant ou en estimant les valeurs des champs électromagnétiques aux postes de travail. Pour les ondes de téléphonie mobile qui ont longtemps mobilisé la recherche, les sources sont bien identifiées et leur rayonnement caractérisé. Par contre, dans le cas des machines industrielles utilisant généralement des radiofréquences (ex. presses haute fréquence (HF) pour soudure diélectrique, chauffage par induction), il est parfois délicat de calculer les valeurs d'exposition des travailleurs dans l'environnement de travail.

Une enquête réalisée à la demande de l'INRS²² estime à environ 100.000 le nombre de ces équipements en France. L'analyse des mesures effectuées sur près de 1.000 postes de travail, à proximité de ces équipements, a montré des dépassements fréquents des VA préconisées par la Directive 2013/35/UE – ce qui implique de se référer aux VLE. C'est le cas notamment de la plupart des presses HF employées pour la soudure de grandes bâches. Néanmoins, ces résultats sont très dispersés car toutes ces machines industrielles sont de fonctions et de puissances très différentes, et l'exposition professionnelle qui en résulte est très variable.



Illustration 7 : Presse haute fréquence utilisée pour les mesures

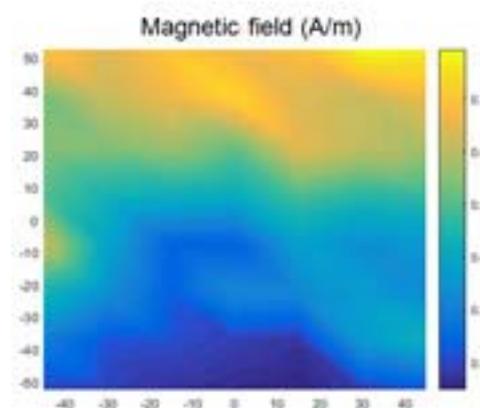


Illustration 8 : Champ magnétique mesuré

²¹ Directive 2013/35/UE du 26 juin 2013 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques).

²² Site : www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204202

Le projet de recherche : EXTI

Ce projet de recherche vise à étudier l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques RF en milieu industriel et à mettre en place une nouvelle méthode de caractérisation de l'exposition par dosimétrie numérique. Il se concentre sur un type particulier de système industriel, une presse haute fréquence, pour deux raisons :

1. Il s'agit d'un type de machine particulièrement rayonnante ;
2. Elle est bien représentative des systèmes que l'on peut rencontrer dans un environnement industriel.

La difficulté de ce projet est que l'exposition a lieu en champ proche. Dans ces conditions, la répartition spatiale du champ électromagnétique peut être compliquée ; elle est difficile à déterminer car le rapport entre le champ électrique et le champ magnétique n'est pas constant à proximité de la source d'émission (conditions dites de « champ proche »).

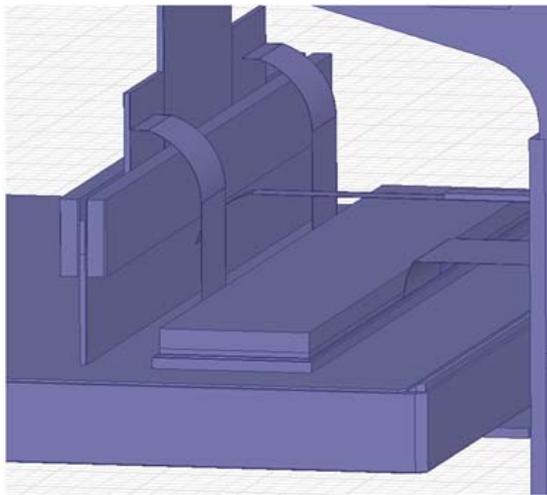


Illustration 9 : Modèle numérique de la presse simulé avec HFSS

Méthodologie

Le programme de recherche est organisé autour de trois étapes :

1. Le développement d'une méthode de mesure de champ permettant de caractériser rapidement et *in situ* des machines industrielles en conditions réelles ;

2. Le développement d'un simulateur électromagnétique pour quantifier l'exposition du travailleur en fonction de sa position (permettant de déterminer les parties du corps les plus exposées) et en fonction de la position autour de la machine ;
3. L'utilisation d'un mannequin articulé, équipé avec des sondes électro-optiques pour évaluer rapidement le DAS et les variations de température en différents points du corps (ou dans les parties plus spécifiquement exposées).

Résultats préliminaires

Deux campagnes de mesure ont été réalisées sur une presse HF industrielle permettant d'établir une première cartographie des champs électriques et magnétiques autour de cette machine et de tester en situation réelle, les capteurs de champs²³. En parallèle, une modélisation numérique de la presse a été réalisée à partir d'une CAO réaliste de cette machine. Elle a permis de mettre en évidence le fait que le champ électromagnétique confirme assez bien les approximations quasi-statiques dans l'air autour du travailleur, alors qu'à l'intérieur du corps du travailleur sont observés des phénomènes qui s'apparentent à la propagation d'onde. En particulier, il a été constaté que le champ magnétique est modifié significativement par la présence du corps humain ; ce qui a guidé ensuite les choix en matière de métrologie et de formulations pour la dosimétrie numérique. À partir de ces modélisations, il sera possible de concevoir des formulations spécifiques permettant de réaliser des calculs dosimétriques sans devoir au préalable déterminer une source équivalente.

²³ Réalisés expressément pour ce projet par l'IMEP.

Expositions professionnelles aux solvants et vieillissement

Expositions professionnelles et vieillissement dans la cohorte Constances

Claudine BERR, Inserm U1061, Montpellier

Alexis Elbaz, Inserm U1018, CESP, Villejuif /
Marie Zins, Hôpital Paul Brousse, UMS 011
Inserm, Villejuif

Étude en cours depuis 2016 – Financement : 199.969 € – Contact : claudine.berr@inserm.fr

Mots-clés : exposition professionnelle, solvant, vieillissement, cognition, démence, motricité, interaction, solvant organique, trichloréthylène, formaldéhyde, essence, matrice emploi exposition, cohorte, dose effet, santé publique

Le vieillissement est un processus qui s'engage très tôt dans la vie. Il s'accompagne d'un déclin de toutes les fonctions physiologiques et cognitives qui n'a de conséquences qu'à partir d'un certain seuil.

Le vieillissement fonctionnel

Le vieillissement est caractérisé par un déclin des performances physiques et cognitives qui peut, dans certains cas, conduire à la dépendance. Il existe une très grande hétérogénéité des performances chez les personnes et de nombreux parallèles existent entre le déclin moteur et cognitif. Comme pour la motricité, le déclin des fonctions cognitives dépend de plusieurs facteurs. Chez le sujet âgé de plus de 65 ans, la principale cause de démence est la maladie d'Alzheimer (responsable d'environ 70% des cas). La démence s'exprime par un déclin progressif des fonctions cognitives, le plus souvent associé à des troubles comportementaux ; elle évolue vers une perte progressive d'autonomie. Les facteurs de risque majeurs de démence (l'âge et la présence de l'allèle $\epsilon 4$ du gène de l'apolipoprotéine E) n'offrent pas de possibilité de prévention. Or, plusieurs études longitudinales ont montré que le processus neuro-dégénératif dans la maladie d'Alzheimer est susceptible de débuter 20 ou 30 ans avant l'apparition des symptômes cliniques. Ce qui

suggère qu'il existe une large fenêtre de prévention pour retarder l'apparition des troubles cognitifs et physiques.

L'exposition professionnelle aux solvants

De nombreux travaux ont montré que les expositions chimiques peuvent avoir des effets à long terme sur le risque de survenue de différentes maladies chroniques. Ainsi, la part attribuable des cancers liée aux expositions professionnelles à des produits chimiques est au moins égale à 5%, dans les pays industrialisés ; ce qui est à l'origine d'importantes inégalités sociales de santé.

L'exposition professionnelle aux solvants organiques (ex. peintures, dégraissants, adhésifs, colles) est aussi très fréquente. Nos premiers travaux sur la cognition dans la cohorte professionnelle GAZEL²⁴ ont permis de montrer l'importance des effets délétères sur le fonctionnement cognitif global pour les solvants chlorés ou aromatiques et le benzène.

Le projet de recherche : CONSOLAGE

La vie professionnelle s'accompagne d'expositions « vie entière », mais peu d'études ont porté sur le fonctionnement cognitif et physique de travailleurs après la retraite, selon leurs activités passées. La mise en place en 2012 de la cohorte Constances²⁵ permet d'étudier ces questions sur une population âgée de 45 à 70 ans, avant la période où maladies neurodégénératives et perte d'autonomie apparaissent. L'objectif général de ce projet est d'examiner, dans cette cohorte, les effets à moyen et long terme des expositions professionnelles aux solvants sur le fonctionnement cognitif et physique. Notre hypothèse principale est que les effets des solvants sur ces fonctionnements doivent être évalués sur le long terme, en considérant différents paramètres des expositions professionnelles : ancienneté, polyexpositions, niveau et seuil.

²⁴ Cohorte mise en place par l'Inserm en 1989 en coopération avec plusieurs services d'EDF-GDF : 20.000 volontaires pour la recherche médicale. Site internet : <http://www.gazel.inserm.fr/fr/>

²⁵ Site internet : <http://www.constances.fr/>

Méthodologie

Constances est une cohorte qui permet de suivre les individus tout au long de leur vie à partir de l'âge de 18 ans. Fin 2017, 160.000 volontaires ont été inclus dans la cohorte, soit 80% de l'objectif visé (200.000 participants, attendus mi-2019).

Pour étudier les expositions professionnelles, deux sources d'information sont disponibles :

- Un questionnaire sur les expositions professionnelles « vie entière » proposé à l'inclusion, qui aborde l'ensemble des conditions et contraintes de travail vécu par le volontaire au cours de sa carrière professionnelle. Il comporte des questions spécifiques sur les solvants, notamment pour cinq produits cibles (trichloréthylène, white spirit, formaldéhyde, diluant cellulosique, essence), ainsi que sur d'autres diluants, dégraissants ou désinfectants. De plus, des questions plus générales sur les nuisances incluent la recherche d'expositions aux colles/adhésifs, peintures/vernis, encres/teintures et autres produits chimiques. Ce questionnaire comporte aussi des questions sur la pénibilité des emplois occupés.
- Un calendrier professionnel qui, couplé à l'utilisation de la matrice emplois-exposition Matgéné²⁶, permettra une évaluation plus fine des expositions à partir de l'historique complet des métiers exercés.

Enfin, avec des outils d'évaluation sensibles à l'avancée de l'âge, des tests cognitifs et physiques sont administrés dans des conditions standardisées. Des analyses statistiques seront ensuite menées, considérant tout d'abord l'exposition « vie entière » puis le rôle de l'exposition pour différentes périodes de la vie sera examiné afin d'essayer d'identifier des fenêtres critiques d'exposition.

²⁶ En savoir plus sur le programme Matgéné : <http://exppro.santepubliquefrance.fr/exppro/matgene>

Exposition aux fluides de coupe et marqueurs d'effets précoces

Exposition aux fluides de coupe et marqueurs d'effets précoces : stress oxydant, inflammation et génotoxicité

Pascal WILD, INRS, Vandoeuvre-les-Nancy

Jean-Jacques Sauvain, IST, Épalinges-Lausanne / **Sébastien Hulo**, Laboratoire IMPECS, Dép. Médecine et Santé au Travail, Univ. Lille 2

Étude en cours depuis 2016 – Financement : 199.930 € – Contact : pascal.wild@inrs.fr

Mots-clés : fluide de coupe, brouillard huile, aérosol, exposition professionnelle, symptomatologie, symptôme, biomarqueur, inflammation, poumon, stress oxydant, génotoxicité

Les fluides de coupe sont utilisés pour lubrifier et refroidir et éliminer les débris de la pièce travaillée au cours des différentes étapes d'usinage des métaux. Ces fluides sont classés en deux grandes familles, selon leur composition :

- Les huiles entières (huiles minérales²⁷) qui ne contiennent pas d'eau ;
- Les fluides aqueux qui regroupent les huiles solubles, les fluides semi-synthétiques et les fluides synthétiques²⁸.

Ces fluides contiennent de nombreux additifs d'onctuosité, anti-usure, inhibiteurs de corrosion, biocides, etc. Ils sont utilisés dans deux grands secteurs industriels : le travail des métaux et l'automobile. Au total, 990.000 travailleurs seraient exposés à ces substances en France²⁹ et 150.000 environ en Suisse³⁰. Des problématiques différentes apparaissent suite au remplacement de plus en plus courant des huiles minérales par des émulsions aqueuses beaucoup plus complexes au niveau chimique.

²⁷ Issues du pétrole brut.

²⁸ Les huiles solubles contiennent plus de 50% d'huile minérale, les fluides semi-synthétiques moins de 50% d'huile minérale et les fluides synthétiques ne contiennent pas d'huile minérale.

²⁹ Selon l'enquête SUMER 2010.

³⁰ D'après la base de données de la SUVA (Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents).

Le brouillard d'huile

Le processus d'usinage de pièces métalliques génère un brouillard d'huile (BH), qui consiste en gouttelettes liquides pouvant rester en suspension pendant plusieurs heures dans l'environnement respiratoire du salarié. Leur taille est très variable et la présence de particules ultrafines est avérée. Au cours de l'utilisation de ces fluides, un certain nombre de polluants peuvent être émis ; ils proviennent de leurs composants de base, des produits de leur dégradation thermique et des matériaux usinés (ex. alliages, métaux). Certains sont des agents cancérigènes connus ou suspectés.



Illustration 10 : Zone d'usinage d'une pièce de grande taille avec machine à commande numérique utilisant des fluides de coupe (Auteur : Gaël Kerbaol, INRS)

Les conséquences sur la santé

Les fluides de coupe sont associés à diverses affections malignes et non malignes. Ainsi, le CIRC a classé les huiles minérales, non ou légèrement traitées, comme cancérigènes pour l'Homme (groupe 1) pour la peau et le scrotum.

De plus, la plupart des études montrent un risque accru de cancer de la vessie parmi les populations utilisatrices de fluides de coupe. Parmi d'autres conséquences sur la santé, l'Afsset³¹ identifiait en 2009 la pneumopathie d'hypersensibilité, l'asthme, les symptômes d'irritation respiratoire et les altérations de la fonction ventilatoire. Le mécanisme présumé ressemble à celui décrit pour la pollution atmosphérique : la présence dans le BH de composés oxydants³² peut perturber, dans le poumon, l'équilibre rédox cellulaire et conduire à l'apparition d'un stress oxydant, suivi d'une inflammation.

Le projet de recherche : OxIGenoCOM

L'objectif principal de l'étude est d'analyser, sur la base d'une étude épidémiologique en entreprises (France et Suisse), les relations entre les différents paramètres d'exposition (ex. type d'huile utilisé) et les biomarqueurs d'exposition et d'effet à différents niveaux physiopathologiques (ex. stress oxydant, inflammation, génotoxicité) en utilisant des matrices biologiques prélevées de manière non invasive (ex. condensat d'air exhalé, urine, cellules de la muqueuse buccale...).

L'échantillon de salariés est issu de quatre secteurs d'activités, utilisateurs de fluides de coupe : métallurgie, fabrication de produits métalliques (dont la fabrication de machines et d'équipements), industrie automobile et micromécanique (horlogerie)³³.

Méthodologie

L'évaluation de l'exposition dans l'air aux différentes huiles de coupe est difficile car il faut considérer conjointement différentes phases (solide et vapeur) ainsi qu'un mélange complexe de composés chimiques.

³¹ Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, devenue Anses le 1^{er} juillet 2010.

³² Ou capables d'induire la formation d'espèces réactives de l'oxygène.

³³ Les trois premiers secteurs constituent le terrain d'étude en France et celui de l'horlogerie, le terrain d'étude en Suisse. Au minimum, 90 salariés seront recrutés selon un ratio de 2 exposés pour 1 non exposé.

- L'évaluation de l'exposition aux BH sera basée sur un questionnaire³⁴ et complétée par des mesures spécifiques³⁵ ;
- Outre les biomarqueurs d'exposition, les biomarqueurs d'effets seront aussi recherchés comme les marqueurs d'inflammation³⁶, de stress oxydant³⁷ et les marqueurs d'effet génotoxique³⁸.
- À partir du recueil des données, les analyses statistiques modéliseront successivement les marqueurs d'effets et d'exposition, ainsi que les paramètres d'exposition en fonction de ses déterminants sur la base de modèles mixtes.

Expositions lors d'entretien des dalles de sol vinyle amiante

Étude des expositions professionnelles, domestiques et environnementales aux fibres d'amiante en liaison avec les procédures d'entretien de dalles de sol vinyle amiante et avec la granulométrie des fibres émises

Laurent MARTINON, LAFP, SPSE, Ville de Paris

Marc Charoy, Cramif, Paris / **Isabelle Vio**, Syrta, Paris / **Patrick Brochard**, Équipe EPICENE, Inserm 1219, Univ. Bordeaux Segalen, Bordeaux / **Jean-Claude Pairon**, Équipe Inserm UMR 955, Créteil

Étude en cours depuis 2016 – Financement : 129.896 € – Contact : laurent.martinon@paris.fr

Mots-clés : amiante, dalle vinyle amiante, fibres courtes, exposition professionnelle, air ambiant, entretien, décapage des sols, ménage domestique

Vingt ans après l'interdiction de l'amiante en France, de nombreux matériaux contenant de l'amiante sont encore en place dans les bâtiments construits avant 1996. Parmi ces matériaux, les dalles de sol vinyle amiante (DVA) sont très répandues, notamment dans les établissements recevant du public (ex. crèche, école, hôpital) mais encore dans des immeubles de bureaux ou de logements, couvrant des surfaces considérables, avec des états de dégradation allant d'un bon état à une fragmentation avancée de la dalle.

Ces matériaux sont susceptibles d'émettre des fibres d'amiante, notamment des fibres courtes, de longueur inférieure à 5 microns, non prises en compte par la réglementation.

Si seules les fibres de plus de cinq microns de longueur³⁹ sont réglementées, aussi bien vis-à-vis de la protection des travailleurs que de la population générale, la question de la toxicité de

³⁴ Développé sur la base de la littérature scientifique et appliqué dans chaque entreprise.

³⁵ Gravimétrie de la fraction inhalable et volatile, caractérisation du potentiel oxydant (PO) de la phase particulaire et gazeuse, du nombre et de la distribution de taille des particules ainsi que de la concentration d'aldéhydes et de métaux dans l'air.

³⁶ Monoxyde d'azote exhalé (NOe).

³⁷ Dans le condensat d'air exhalé et dans les urines : 8-Isoprostane, 8-OHdG, MDA.

³⁸ Micro-noyaux et « *nuclear buds* » dans les cellules de la muqueuse buccale prélevées chez les personnes volontaires exposées et non exposées.

³⁹ Ces fibres sont dites « réglementaires » (FRg).

ces fibres courtes d’amiante (FCA) ne peut être écartée⁴⁰.



Illustration 11 : Dalle de sol vinyle amiante (Crédit : LAFP)

Opérations d’entretien et de ménage

Les DVA font l’objet d’opérations d’entretien périodique (ex. lavage, décapage, lustrage), généralement effectuées avec des outils mécanisés comme des mono-brosses équipées de disques abrasifs. Globalement, les expositions aux fibres d’amiante, qu’elles soient professionnelles (pour les personnels effectuant ces tâches) ou environnementales (pour les publics situés à proximité, comme par exemple les patients des établissements de soins) sont très peu, voire pas du tout documentées. La nécessité de documenter ces expositions est grande, d’une part au vu du nombre de personnes actuellement potentiellement exposées, et d’autre part de l’incertitude sur les niveaux d’exposition passés.

Dans le même temps, les expositions domestiques des occupants des logements lors d’opérations de ménage courant (ex. aspiration, balayage) ne sont quasiment pas étudiées. Ce

milieu, l’habitat, est assez peu couvert par le champ réglementaire, puisque ces dalles de sol ne font l’objet de repérage qu’en cas de vente des logements – ce qui, dans le cas des logements sociaux, n’est pas une pratique courante.

Le projet de recherche : DAVINYLAIR

L’objectif principal de ce projet est de documenter :

- Les expositions professionnelles (exposition directe) et environnementales (exposition indirecte) lors de différentes opérations d’entretien mécanisé sur DVA ;
- Les expositions domestiques lors d’opérations de ménage courant dans des logements avec DVA.

À partir des analyses effectuées, il sera alors possible d’en déduire des mesures de prévention adaptées pour les situations actuelles et futures d’entretien des sols contenant des DVA : modes opératoires adaptés des opérations de nettoyage, protection individuelle, protection des occupants, gestion des effluents et des déchets, etc.

Méthodologie

Le plan d’échantillonnage comprend :

- 5 sites faisant l’objet d’opérations d’entretien mécanisé avec des mono-brosses dans les conditions usuelles (spray, lustrage, décapage humide) et selon des conditions aujourd’hui abandonnées (décapage à sec) (avec la réalisation de 25 prélèvements d’air par site environ) ; le décapage à sec, potentiellement polluant sera réalisé dans des conditions de protection individuelle et collective grâce à l’appui technique de professionnels du traitement de l’amiante (SYRTA).
- 5 logements avec des opérations de ménage classique (avec réalisation de 10 prélèvements d’air par logement environ).

Des prélèvements d’air sur opérateurs et dans l’environnement proche seront réalisés et analysés en Microscopie Électronique à Transmission Analytique (META) avec la mesure de l’ensemble des fibres courtes et longues. Les

⁴⁰ Boulanger G, Andujar P, Pairon JC, Billon-Galland MA, Dion C, Dumortier P, Brochard P, Sobaszek A, Bartsch P, Paris C and Jaurand MC. Quantification of short and long asbestos fibers to assess asbestos exposure: a review of fiber size toxicity. *Environmental Health* 2014, 13:59.

analyses seront effectuées conformément à la norme NF X 43-050 relative à la détermination de la concentration en fibres d'amiante par META (méthode indirecte).

Les données de concentrations en FRg seront comparées aux valeurs réglementaires :

- du Code du Travail pour les mesures individuelles sur opérateurs (travailleurs) ;
- du Code de Santé Publique pour les mesures environnementales.

Les données en FCA permettront de nourrir la discussion avec les pouvoirs publics et les agences sanitaires concernées à propos d'une valeur de gestion actuellement inexistante, permettant de situer les niveaux d'empoussièremement en FCA rencontrés. Les données de FRg et de FCA seront comparées entre elles pour voir si une corrélation existe entre les deux populations de fibres – ce qui permettrait de s'affranchir de mesurer les fibres courtes à l'avenir.

Enfin, il est prévu de construire une grille d'évaluation des expositions, qui sera utile lors des reconstitutions de carrière des sujets inclus dans les études épidémiologiques et lors de la surveillance médicale des sujets suivis en médecine du travail ou lors du suivi post professionnel.

Exposimètre de bruit pour bureaux ouverts

Les nuisances sonores dans les bureaux ouverts (ou « open-spaces ») du secteur tertiaire

Patrick CHEVRET, Laboratoire Acoustique au Travail, INRS

Étienne Parizet, Laboratoire Vibration et Acoustique, INSA / **Edith Galy**, LAPCOS

Étude en cours depuis 2017 – Financement : 199.725 € – Contact : patrick.chevret@inrs.fr

Mots-clés : exposition professionnelle, bruit, environnement bureau, lieu travail, secteur tertiaire, acoustique, nuisance sonore, gêne, stress, fatigue, indicateur, protocole, système mesure

L'espace ouvert, comme espace de travail, a connu une expansion considérable ces dernières décennies, si bien qu'on estime aujourd'hui que, parmi les quelques millions de personnes qui travaillent dans le secteur tertiaire⁴¹, plusieurs centaines de milliers d'entre elles sont postées dans un bureau ouvert.

Le bruit non désiré ou gênant

La moitié des personnes travaillant dans les « open-spaces » estiment que le bruit est un facteur de gêne important et surtout qu'il est le premier facteur contribuant à l'ambiance générale au sein de l'espace de travail. Il semble que le bruit non désiré ou gênant est une agression pouvant être co-facteur du stress résultant du travail dans le secteur tertiaire – ce stress entraînant des réactions physiologiques⁴² et psychologiques⁴³ plus ou moins intenses et variées selon les personnes. Par ailleurs, des études scientifiques montrent que l'ambiance acoustique d'un « open-space » peut ainsi avoir des conséquences négatives sur la performance et la qualité du travail réalisé.

⁴¹ D'après les chiffres de l'INSEE.

⁴² Ex. augmentation de la pression artérielle, problèmes digestifs, difficultés d'endormissement.

⁴³ Ex. fatigue perçue, irritabilité, mal-être, insatisfaction.

Un nouvel indicateur

Cependant, bien que les enquêtes en entreprise fassent toutes ressortir un lien entre l'ambiance sonore et la gêne ressentie, aucun déterminant évident du signal sonore n'a pu être mis en évidence comme facteur clé de cette gêne. L'indicateur utilisé, par exemple, dans toutes les expériences est un indicateur d'intelligibilité⁴⁴ qui présente deux inconvénients :

- Il nécessite une instrumentation spécifique et relativement lourde pour une application de terrain ;
- Adapté à l'évaluation poste à poste, il permet de quantifier le gêne créée par le voisin de bureau ou la distance de privacité mais ne convient pas pour évaluer le bruit global d'un plateau, composé de conversations multiples.

Récemment, les équipes du projet ont mis au point un nouvel indicateur, qui permet de dépasser les limitations évoquées précédemment. Cet indicateur est en cours d'évaluation et sera directement implémenté dans l'exposimètre proposé ci-dessous.

Le projet de recherche : EBBO

L'objectif du projet EBBO est double. Le premier est de mettre au point une démarche scientifique pour mesurer sur le terrain la fatigue ressentie par les occupants des « *open-spaces* », ainsi que les déterminants de cette fatigue. Cette démarche s'appuiera à la fois sur des observations permettant l'analyse de l'activité et des questionnaires. Le second objectif est de développer un système prototype pour la mesure de l'exposition aux bruits de parole dans les « *open-spaces* », bruits qui sont perçus comme les plus gênants par les salariés.

Méthodologie

Pour atteindre ces objectifs, trois axes majeurs de travail sont envisagés :

1. Il est prévu de mettre en place des interventions en entreprise sur la journée afin d'être plus représentatif des conditions réelles. Grâce à son expérience sur le terrain de la prévention, l'INRS est en relation avec nombre d'entreprises capables de mettre à disposition des bureaux ouverts pendant plusieurs semaines pour servir de champ d'investigation à ce projet. Ces interventions permettront ainsi de définir les conditions pertinentes à l'élaboration de tests en laboratoire, proches de conditions réelles.
2. La réalisation de tests en laboratoire dans des conditions écologiques. Les conditions sonores seront parfaitement contrôlées au travers d'indicateurs acoustiques comme le niveau global ou un indicateur de la fluctuation de niveau.
3. Le développement d'un système de mesure acoustique prototype permettant d'évaluer l'exposition aux bruits de parole. Ce système, composé de plusieurs unités de mesures de l'exposition aux bruits de parole, sera développé tout au long du projet. Même s'il s'agit d'un prototype, il a vocation à être utilisé en conditions réelles en entreprise ; il sera déployé sur le terrain pendant la dernière année de l'étude.

Les déterminants de l'ISE (de l'anglais, « *Irrelevant Speech Effect* ») ne seront plus des indicateurs comme la performance ou la gêne, mais les déterminants de l'état fonctionnel des individus en lien avec l'activité réelle de travail, à savoir par exemple, la fatigue, la somnolence, la vigilance, la charge cognitive, etc. Ces déterminants seront étudiés et définis grâce à des observations et des enquêtes de terrain. Ainsi, la variabilité interindividuelle pourra être contrôlée grâce à des tests psychologiques annexes (ex. test d'empan⁴⁵, de Levenson⁴⁶). Ce sera l'un des enjeux des expériences en laboratoire de longue durée.

⁴⁴ Pour déterminer s'il existe un lien entre les effets indésirables du bruit et l'intelligibilité des bruits de parole, l'indicateur objectif STI est basé sur le principe de masquage énergétique d'un signal de parole prédéfini. Il fait l'objet de la norme CEI 60268-16.

⁴⁵ Mémoire à (très) court terme.

⁴⁶ Test de psychopathie.

Qualité de l'air intérieur des structures médico-sociales et libérales

Qualité de l'air intérieur des structures médico-sociales et libérales

Dr. Arnaud FLORENTIN, Dep. d'Hygiène, des Risques Environnementaux et Associés aux soins, Faculté de Médecine, Univ. de Lorraine, Vandoeuvre-lès-Nancy

Dr. Estelle Baurès et Pr. Pierre Le Cann, LERES, EHESP, Rennes / **Pr. Jean-Pierre Gangneux**, Laboratoire de parasitologie-mycologie, Université de Rennes 1

Étude en cours depuis 2017 – Financement : 199.724€ – Contact : arnaud.florentin@univ-lorraine.fr

Mots-clés : air intérieur, qualité air, structure de soins, contamination biologique, bactérie, champignon, virus, allergène, maladie respiratoire, allergie, produit chimique, produit nettoyage, désinfection, formaldéhyde, solvant, alcool, tensioactif, oxydant, eau oxygénée, eau de javel, cancérigène, dermatite, exposition professionnelle, valeur limite, surexposition, personnel soignant, Nancy, Rennes

La maîtrise de l'environnement intérieur, dont la qualité de l'air, est un enjeu primordial du Plan National Santé Environnement 3 (2015-2019). Dans ce contexte, les hôpitaux ont bénéficié d'études récentes d'évaluation de la qualité de l'air intérieur⁴⁷. Néanmoins, les autres structures de soins ne bénéficient que d'une exploration très limitée. Pourtant, ces structures médico-sociales et libérales (ex. EHPAD, cabinets dentaires ou médicaux) présentent des problématiques semblables à la fois en termes de typologie de populations ou de pratiques.

La plupart des polluants retrouvés dans le secteur hospitalier sont utilisés dans le domaine libéral ou des petites structures comme les produits pharmaceutiques, les

détergents/désinfectants ou encore certains gaz anesthésiants. Néanmoins les impératifs de conception de ces locaux sont radicalement différents avec, par exemple, une ventilation moindre par rapport aux hôpitaux pouvant dès lors plus fortement exposer les patients et les professionnels. Tout comme les hôpitaux, ces structures sont des lieux de passage important induisant une contamination physicochimique et microbiologique spécifique.



Illustration 12 : L'exposition du personnel soignant (Crédits : Getty Images)

La surexposition du personnel soignant

Dans les structures médico-sociales et libérales, l'utilisation fréquente de produits de nettoyage et de désinfection induit une forte exposition du personnel soignant aux tensioactifs, substances susceptibles d'induire des dermatites irritatives et/ou allergiques⁴⁸. Les résultats de l'enquête SUMER sur l'exposition professionnelle des salariés montrent ainsi que :

- 15% des personnels soignants sont exposés à au moins un produit cancérigène, plus particulièrement le formaldéhyde⁴⁹ et les cytostatiques⁵⁰ ;
- L'exposition des personnels de soins à une seule catégorie de solvants (alcools) est

⁴⁷ Estelle Baurès. La qualité de l'air intérieur dans les hôpitaux. *Les cahiers de la Recherche. Santé, Environnement, Travail*, ANSES, 2016, Regards sur 10 ans de recherche, le PNR EST de 2006 à 2015, pp.50-51. <https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche> . [anses-01766347](https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche)

⁴⁸ 50% du personnel soignant contre 10% de l'ensemble des salariés.

⁴⁹ 6,5% de fréquence d'exposition contre 0,9% pour l'ensemble des salariés.

⁵⁰ 8,2% contre 0,4% pour l'ensemble des salariés.

environ 6 fois plus fréquente que parmi l'ensemble des salariés⁵¹ ;

- Le personnel soignant est surexposé aux oxydants (ex. eau oxygénée, eau de javel) comparativement à l'ensemble des salariés⁵².

De plus, dans les structures médico-sociales, différentes études montrent un dépassement des valeurs limites concernant les taux de dioxyde de carbone (CO₂), de composés organiques volatils (COV) et particules fines (PM10). Un défaut de ventilation est à l'origine de ces pollutions de l'air intérieur. Comme dans le milieu hospitalier, la qualité de l'air intérieur des structures médico-sociales et libérales peut également être influencée par leur environnement extérieur (ex. trafic automobile, industries, travaux).

Le projet de recherche : MEDIQAI

L'objectif principal du projet de recherche MEDIQAI est de disposer de données qualitatives et quantitatives concernant la contamination de l'air intérieur par des substances chimiques et des agents microbiens dans différentes structures médico-sociales comme les établissements d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (EHPAD), les foyers d'accueil médicalisés /maisons d'accueil spécialisées (FAM/MAS) ou les maisons de retraite, et différentes structures libérales comme les cabinets de médecine en ville, les cliniques dentaires ou les pharmacies, en vue de l'évaluation de l'exposition des personnels, des résidents ou du public.

Méthodologie

Grâce aux projets précédents financés par le PNR EST (AÏCHA⁵³ et QAIHOSP⁵⁴), les partenaires de ce projet ont permis d'obtenir, pour la première fois, par une approche intégrée une cartographie temporo-spatiale de la

contamination microbiologique et physico-chimique de l'air intérieur dans deux hôpitaux français. Forts de cette expérience, ils proposent de s'intéresser plus particulièrement dans cette étude à la variabilité spatiale et temporelle de la contamination chimique, physique et microbiologique en lien avec les activités et les usages de ces structures en choisissant des sites sur deux territoires (Métropole Grand Nancy et Rennes Métropole) Le but est de définir des méthodes de surveillance d'exposition du personnel, des résidents ou du public et de proposer des recommandations d'amélioration de l'environnement intérieur en lien avec les pratiques professionnelles et techniques.

⁵¹ 35% contre 7%.

⁵² 22% contre 5%.

⁵³ *Air intérieur et pollution chimique dans les hôpitaux*, Étude de faisabilité financée par le PNR EST sous la référence 2010-113.

⁵⁴ *Qualité de l'Air Intérieur dans les établissements HOSPitaliers*, Étude financée par le PNR EST sous la référence 2013-140.

Autour de la santé respiratoire

Les maladies de l'appareil respiratoire sont complexes, diverses et multifactorielles, avec de nombreuses interactions entre différents facteurs génétiques, comportementaux et environnementaux. Ces maladies peuvent être aiguës ou chroniques (ex. asthme, bronchite, bronchopneumopathie chronique obstructive, allergie respiratoire). Les recherches actuelles en santé travail concernent particulièrement l'asthme et la bronchopneumopathie chronique obstructive, non seulement pour investiguer le lien avec des expositions professionnelles mais aussi en raison du caractère invalidant de ses maladies et de leurs conséquences sur le maintien dans l'emploi.



Illustration 13 : Exploration fonctionnelle respiratoire (Crédits : iStock)

- **L'asthme**

L'asthme est une affection pulmonaire chronique, qui se caractérise par la survenue de « crises » ou épisodes de gêne respiratoire (ex. respiration sifflante, essoufflement, toux). Il existe plusieurs formes d'asthme⁵⁵ qui peuvent résulter de prédispositions génétiques et/ou de facteurs environnementaux. L'asthme ne se guérit pas mais une bonne prise en charge permet de gérer et contrôler la maladie. En France, cette maladie touche 4 millions de personnes, avec une prévalence de 7% chez les adultes. Les crises d'asthme peuvent être déclenchées par la présence d'allergènes ou d'irritants dans l'habitat (ex. acariens, moisissures, poils d'animaux) ou sur les lieux de travail (ex. produits chimiques). L'asthme professionnel est « *défini comme un asthme dû à des causes et à des situations attribuables à un environnement professionnel* ». Selon

⁵⁵ Ex. asthme lié aux facteurs déclenchants (à composante allergique) ou non-allergique, asthme lié aux facteurs inflammatoires (ex. asthme éosinophilique) ou non, asthme d'effort, asthme professionnel (AP), asthme aggravé par le travail (AAT).

Santé Publique France, « *plusieurs études ont cherché à estimer la part attribuable à des facteurs professionnels. Des revues de littérature récente ont conclu à une valeur médiane de 9 à 15% »*⁵⁶. Plusieurs centaines de substances chimiques sont classées, à ce jour, comme sensibilisantes ou irritantes. Comprendre les déterminants de l'asthme est donc nécessaire pour prévenir son apparition (mettre en place des mesures de prévention des risques professionnels adaptées), améliorer la prise en charge de cette maladie et la qualité de vie des personnes concernées. C'est l'objet notamment du projet présenté ici par Christophe Paris sur les déterminants environnementaux et professionnels de l'asthme de l'adulte : DEP-asthma (pp. 36-37).



Illustration 14 : Expositions professionnelles à des gaz, poussières, vapeurs et fumées (Crédits : Getty Images)

- **La bronchopneumopathie chronique obstructive**

La bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) est une maladie pulmonaire chronique, qui se développe lentement. Elle apparaît de manière insidieuse et se caractérise par une dyspnée, des crachats et une toux chronique. Elle peut prêter à confusion et, de ce fait, mal dépistée de manière systématique en milieu de travail. La BPCO peut devenir progressivement très invalidante et conduire à une insuffisance respiratoire chronique sévère jusqu'à engager, à terme, le pronostic vital. L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) prévoit que la BPCO deviendra la troisième cause de décès dans le monde en 2030⁵⁷. La prévalence s'établissait à 251 millions de cas, au niveau mondial, en 2016. En France, la Direction générale de la Santé (DGS) estime qu'elle atteint plus de 3,5 millions de personnes, soit 6 à 8% de la population adulte française ; elle tue 16.000 malades chaque année⁵⁸. « *Bien qu'il ait été établi que le tabagisme (actif ou passif) était le principal facteur de risque, souligne Pascal Andujar, il est désormais établi que des expositions professionnelles à des gaz, poussières, vapeurs et fumées dans certains secteurs professionnels sont d'authentiques facteurs de risque de survenue ou d'aggravation d'une BPCO.* »⁵⁹ Cette maladie respiratoire chronique est souvent diagnostiquée tardivement : à partir de 40 ou 50 ans.

⁵⁶ Santé Publique France, *Surveillance des asthmes d'origine professionnelle* : <http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Travail-et-sante/Asthme-d-origine-professionnelle>

⁵⁷ OMS, *Affections respiratoires chroniques* : <http://www.who.int/respiratory/copd/fr/>

⁵⁸ Ministère de la Santé et des Solidarités, *Programme d'actions en faveur de la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO)*, 2005-2010.

⁵⁹ Pascal Andujar. Les bronchopneumopathies chroniques obstructives d'origine professionnelle : Bronchopneumopathie chronique obstructive et impact socioprofessionnel. *Les cahiers de la Recherche. Santé, Environnement, Travail*, ANSES, 2014, La santé au travail, pp.37-38. <https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche> . [anses-01713154](https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche)

Le diagnostic de la BPCO repose sur l'exploration fonctionnelle respiratoire (EFR), c'est-à-dire un ensemble d'examen qui permet de confirmer le diagnostic et d'évaluer la sévérité de la maladie. Mais, il n'existe pas actuellement d'étude associant une forme clinique, fonctionnelle et/ou biologique spécifique à certaines BPCO professionnelles. Sur le plan physiopathologique, il existe des phénomènes de stress oxydant et d'inflammation, notamment un déséquilibre des balances protéase/anti-protéase. Récemment, des phénomènes de sénescence (vieillesse) cellulaire accélérée ont pu être observés. Pouvoir caractériser les différentes formes de la BPCO peut aider à améliorer leur prise en charge.

- **Les biomarqueurs**

Le poumon est une porte ouverte sur l'environnement. En réponse aux *stimuli* de l'environnement (ex. expositions environnementales), des mécanismes de défense sont activés pour protéger l'organisme. Ces réponses biologiques sont des changements observables et/ou mesurables au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental qui traduisent (révèlent) l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins un agent chimique, biologique ou physique. Ces « signatures » s'appellent des biomarqueurs. D'une très grande diversité, ils peuvent aboutir par exemple, au niveau cellulaire, à modifier l'expression des protéines (flux d'informations génétiques) ou les métabolismes. Dans le domaine médical, ils peuvent être utilisés pour un diagnostic plus sûr et plus précoce. Les étudier peut aussi se révéler d'un grand intérêt pour mieux détecter les signes précoces des maladies respiratoires chroniques comme l'asthme et la BPCO.



Illustration 15 : L'exposition aux particules et nanoparticules (Crédits : Getty Images / Fotolia)

Parmi les projets présentés ici, trois travaux participent de cette recherche de marqueurs liés aux expositions :

- OxAirDirect (sous la responsabilité de Guillaume Suarez) : Dispositif de détection portatif pour la mesure directe de marqueurs du stress oxydant (ROS) dans l'air expiré (pp. 28-30) ;
- SEISMIC-COPD (sous la responsabilité de Pascal Andujar) : Marqueurs de sénescence et d'inflammation systémiques des bronchopneumopathies chroniques obstructives d'origine professionnelle (pp. 30-32) ;
- PROBIOGEN (sous la responsabilité de Rachel Nadif) : Exposition professionnelle aux produits de nettoyage, marqueurs biologiques et gènes dans l'asthme (pp. 32-33).

Au-delà de nouvelles connaissances sur les mécanismes d'action, ces marqueurs peuvent aider au diagnostic mais aussi au pronostic de la maladie et au suivi des populations affectées. Dans le cas des nanoparticules, aucune préconisation de surveillance biologique n'est actuellement disponible. Le suivi longitudinal des salariés de la société Air France, proposé dans le cadre du projet NAnERO, permettra de recueillir, sur un échantillon de grande taille, des données de mesures de l'exposition associées à des explorations fonctionnelles respiratoires (EFR) ; cette initiative importante, présentée ici par Nicolas Molinari (pp. 34-35), permettra d'explorer le lien potentiel entre les données de métrologie atmosphérique et les données de fonction respiratoire, et de proposer, le cas échéant, de nouveaux biomarqueurs d'intérêt pour la surveillance de l'exposition aux nanoparticules.

La mesure directe de marqueurs du stress oxydant dans l'air expiré

Dispositif de détection portable pour la mesure directe de marqueurs du stress oxydant (ROS) dans l'air expiré

Guillaume SUAREZ, Institut universitaire romand de Santé au Travail, Épalinges-Lausanne

Pascal Andujar, Service de Pneumologie et de Pathologie professionnelle, CHI Créteil

Étude de faisabilité de 2015 à 2017 –
Financement : 49.920 € – Contact :
guillaume.suarez@chuv.ch

Mots-clés : détection, mesure, marqueur, stress oxydant, appareil respiratoire, bronchopneumopathie chronique obstructive, bronchite chronique, emphysème, aérosol, exposition professionnelle, hygiène industrielle, métrologie

Actuellement, 64 millions de personnes souffrent dans le monde d'une bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO)⁶⁰ qui deviendra, selon l'OMS, la troisième cause de mortalité dans les pays occidentaux en 2030⁶¹. Cette maladie n'est pas simplement une « toux du fumeur » mais une affection pulmonaire qui peut aussi résulter d'une exposition des travailleurs à la présence de poussières (ex. nanoparticules manufacturées, particules ultrafines), de fibres minérales (ex. amiante, laines minérales) ou de gaz (ex. composés organiques volatils).

Plusieurs secteurs professionnels ont été identifiés comme étant à haut risque de BPCO. Parmi ceux-ci figurent le secteur minier, le bâtiment et travaux publics, certaines activités dans l'industrie textile et dans le milieu agricole.

Le stress oxydant

L'inhalation de certains agents chimiques et/ou poussières peut entraîner des déséquilibres au niveau cellulaire (notamment de la balance

oxydant/antioxydant) en générant des espèces réactives de l'oxygène (ROS) qui, si elles ne sont pas neutralisées, peuvent perturber les signaux cellulaires⁶² et altérer les tissus. On parle alors de stress oxydant ; celui-ci est associé à des processus inflammatoires et peut être la source de nombreuses pathologies, notamment des affections respiratoires.

L'exploration fonctionnelle respiratoire

Le diagnostic et l'évaluation de la sévérité de la BPCO sont fondés sur un examen : l'exploration fonctionnelle respiratoire (EFR) qui permet de mesurer la capacité respiratoire (le souffle) d'une personne, c'est-à-dire les volumes d'air qui entrent dans les poumons et qui en ressortent, la vitesse de la circulation de l'air ainsi que la qualité des échanges gazeux. Concrètement, il est demandé au patient de respirer au travers d'un appareil – le spiromètre – qui permet de recueillir des données chiffrées (ex. courbes débit-volume). La spirométrie constitue actuellement une technique de référence pour le diagnostic et le suivi des pathologies respiratoires, même si les résultats obtenus sont variables et dépendent de l'opérateur et du type d'appareil utilisé. Des approches alternatives se concentrent sur l'analyse du condensat d'air exhalé (CAE) obtenu par condensation de l'air expiré sur des parois réfrigérées, afin de recueillir des informations biologiques sur le poumon. L'avantage de cette technique est la simplicité dans le prélèvement de ce fluide biologique, de manière non-invasive. Toutefois, des efforts de standardisation pour la collecte et l'analyse des marqueurs dans le CAE sont encore nécessaires.

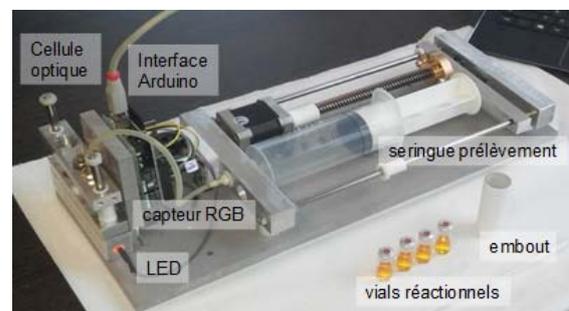


Illustration 16 : Instrument de mesure développé dans le cadre du projet OxAirDirect

⁶⁰ Maladie aussi connue sous des termes plus familiers : bronchite chronique ou emphysème.

⁶¹ Site : <http://www.who.int/respiratory/copd/fr/>

⁶² Équilibre rédox (potentiel oxydo-réducteur) du système.

Le projet de recherche : OxAirDirect

L'objectif du projet consiste à optimiser un nouveau système de détection (non invasif) capable de mesurer le potentiel oxydant – comme marqueur du stress oxydant – à travers l'analyse directe de l'air expiré chez des patients atteints de BPCO professionnelle.

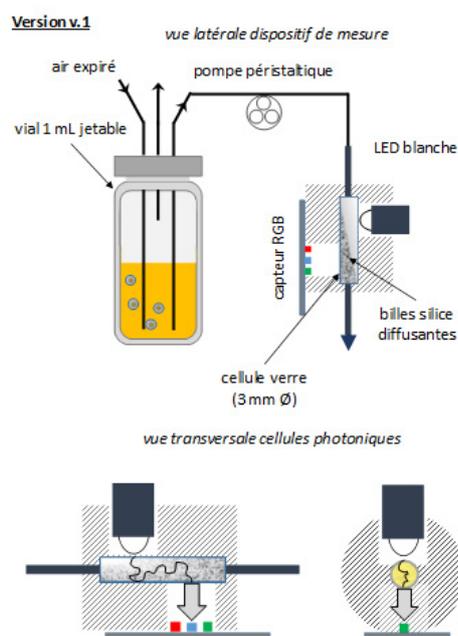


Illustration 17 : Système photonique, version 1 (mode d'amplification interne basé sur l'utilisation de microbilles nanoporeuses)

Méthodologie

L'étude de faisabilité s'est articulée autour de deux phases :

1. L'évaluation et l'optimisation d'un système de détection des ROS présentes dans un échantillon d'air expiré ;
2. La conduite d'une étude pilote chez des patients atteints de BPCO consistant à mesurer le potentiel oxydant dans l'air expiré et à comparer les résultats avec ceux obtenus sur des sujets témoins⁶³.

⁶³ 53 patients issus du secteur du bâtiment. Pour chaque patient, la consultation a donné lieu à la réalisation d'une EFR pour le diagnostic précoce de la BPCO ou le suivi de la maladie puis, de deux mesures consécutives du potentiel oxydant de l'air expiré.

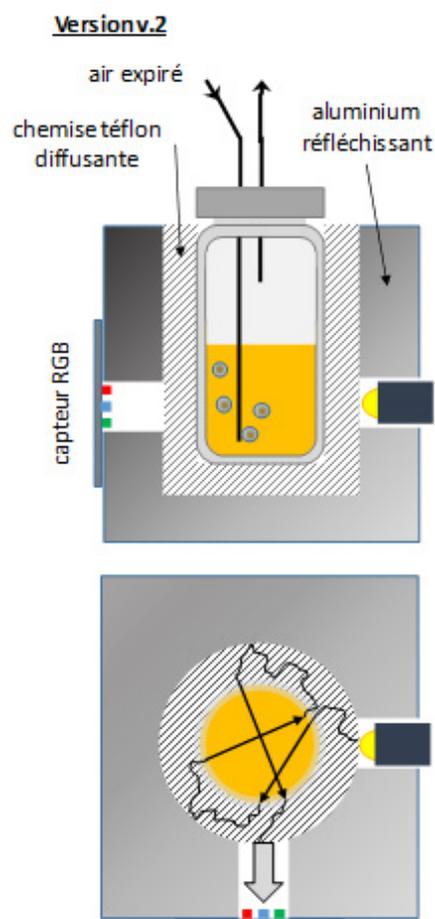


Illustration 18 : Système photonique, version 2 (mode d'amplification externe dans lequel une chemise diffusante de téflon insérée dans une cavité réfléchissante d'aluminium permet une augmentation de la sensibilité et l'analyse du volume total du milieu réactionnel)

Résultats

Pour compléter les données fonctionnelles issues des EFR, le projet de recherche OxAirDirect a permis de développer un système de mesure optique du potentiel oxydant dans l'air expiré. Il est fondé sur un test colorimétrique FOX⁶⁴. Cela a nécessité le développement d'une cellule photonique basée sur le multi-diffusion de la lumière dans un système chaotique qui permet la détection sensible des molécules oxydantes comme les ROS. Le projet est parti d'une version disponible du dispositif de mesure, sur laquelle des modifications majeures ont été apportées, visant

⁶⁴ Le test FOX consiste à mesurer les changements du spectre d'absorption qui résultent de l'interaction avec le milieu réactionnel (ex. milieu acide, H₂SO₄, 25 mM).

à augmenter la sensibilité de la mesure d'absorption⁶⁵, à réduire le temps d'analyse, à automatiser les mesures et à réduire les coûts de fabrication. Le dispositif permet désormais d'accéder de manière non invasive à une information (métrique) biochimique liée au stress oxydant et à l'inflammation au niveau du poumon profond.

Les résultats préliminaires laissent entrevoir le potentiel de cette détermination du potentiel oxydant. En effet, l'analyse des données montre une différence significative du potentiel oxydant mesuré entre les patients atteints d'une BPCO et le groupe des sujets témoins. Combinée avec les données évaluées par EFR, cette mesure du potentiel oxydant peut contribuer à la compréhension des mécanismes physiopathologiques de la BPCO. Son caractère non invasif et le faible coût des mesures, rendent envisageable l'utilisation de cette technique pour réaliser des études épidémiologiques chez des populations ciblées de travailleurs dits « à risque » ou en population générale.

Inflammation et sénescence dans les BPCO professionnelles

Marqueurs de sénescence et d'inflammation systémiques des bronchopneumopathies d'origine professionnelle

Pascal ANDUJAR, CHI Créteil, Service de Pneumologie et de Pathologie Professionnelle, Créteil

Serge Adnot, Jorge Boczkowski et Sophie Hue, IMRB, Inserm U955, Faculté de Médecine de Créteil / **Jean-Michel Camadro**, Institut J. Monod, Univ. Paris Diderot, UMR 7592 CNRS, Paris / **Sylvie Bastuji-Garin**, Hôpital Henri Mondor, Service de Santé Publique, Créteil

Étude en cours depuis 2015 – Financement : 199.999 € – Contact :

Pascal.Andujar@chicreteil.fr

Mots-clés : biomarqueur, inflammation, sénescence, bronchopneumopathie obstructive, exposition professionnelle, agriculture, bâtiment, tabagisme

Selon des estimations récentes, l'OMS prévoit que la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) deviendra la troisième cause de décès dans le monde. En France, elle touche environ 5% de la population adulte de plus de 40 ans, soit environ 3,5 millions de sujets. Si la principale cause de la BPCO est le tabagisme, « *il est désormais établi que des expositions professionnelles à des gaz, poussières, vapeurs et fumées* »⁶⁶ sont d'authentiques facteurs de risque dans l'apparition, la genèse ou l'aggravation de certaines BPCO : notamment, en milieu agricole (ex. milieu céréalier, production laitière, élevage de porcs) et dans le secteur du bâtiment et des travaux publics (BTP).

Parmi les agents incriminés dans la survenue de BPCO professionnelles, on retrouve : les endotoxines, des substances minérales (ex.

⁶⁵ La source lumineuse (habituellement une lampe xénon) a été remplacée par des LED jaunes et le spectromètre par des capteurs de couleur RGB. D'autre part, l'échantillon est placé dans un insert en téflon maintenu dans une cavité réfléchissante en aluminium – ce qui permet d'augmenter la sensibilité de la mesure.

⁶⁶ Pascal Andujar. Les bronchopneumopathies chroniques obstructives d'origine professionnelle : Bronchopneumopathie chronique obstructive et impact socioprofessionnel. *Les cahiers de la Recherche. Santé, Environnement, Travail*, ANSES, 2014, La santé au travail, pp.37-38. <https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche> . [anses-01713154](https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche)

charbon, silice) ou d'autres composés chimiques (ex. vanadium, cadmium, hydrocarbures aromatiques polycycliques). Cependant, les mécanismes physiopathologiques associés aux BPCO professionnelles ont été peu explorés. Sont-ils différents de ceux impliqués dans la BPCO post-tabagique ? Sont-ils différents selon l'agent étiologique incriminé ?



Illustration 19 : Exposition professionnelle dans le secteur du BTP (Crédits : Fotolia)

Les mécanismes de la BPCO

Du point de vue physiopathologique, la BPCO est caractérisée par une inflammation pulmonaire chronique⁶⁷. Elle est associée notamment à la modification des balances protéases/antiprotéases et oxydants/antioxydants en faveur des protéases et des oxydants. Récemment, un autre phénomène physiopathologique a été identifié : la sénescence (vieillesse) cellulaire accélérée, suite à un raccourcissement des télomères⁶⁸. Ces processus biologiques

⁶⁷ Liée notamment à des aérocontaminants aboutissant à une destruction alvéolaire, une sécrétion accrue de mucus et/ou une fibrose des petites voies aériennes.

⁶⁸ Fragments répétitifs d'ADN qui protège les chromosomes, ceux-ci sont situés à l'extrémité de chaque bras de chromosome

s'observent aussi bien *in situ* dans le poumon, mais aussi à distance dans la circulation systémique.

Mais il n'existe pas, à ce jour, d'étude associant un phénotype clinique, fonctionnel et/ou biologique à certaines BPCO professionnelles. Or, des résultats encore préliminaires (à partir d'une fraction de sujets de la cohorte MB2PROF⁶⁹) suggèrent des phénotypes inflammatoires (fibrinogénémie) et sénescents systémiques différents selon le type d'exposition (tabagisme, secteur BTP et milieu agricole).

Le projet de recherche : SEISMIC-COPD

Ce projet de recherche est donc particulièrement original puisque les mécanismes physiopathologiques spécifiques aux BPCO professionnelles ne sont pas encore connus. Son objectif principal est d'identifier des biomarqueurs d'inflammation et de sénescence spécifiques aux BPCO professionnelles, en prenant exemple sur deux secteurs d'activité à risque (milieu agricole et BTP), par rapport aux BPCO post-tabagiques par des approches génomiques et protéomiques.

Méthodologie

1. Réalisation d'une étude cas-témoins⁷⁰ avec 238 cas de BPCO et 221 sujets témoins : l'ensemble des échantillons biologiques a été rapatrié sur le centre de ressources biologiques de Créteil.
2. Vérification de la qualité des plasmas et des ADN génomiques après extraction : ont été exclus de l'étude les prélèvements sanguins non conformes et les plasmas mal conservés. Au final, 213 sujets BPCO ont été répartis en trois groupes d'exposition : BTP (n=67), milieu agricole (n=68) et sans exposition professionnelle à risque (n=63) ; 215 sujets témoins ont été répartis sur ces mêmes groupes : BTP (n=63), milieu agricole (n=62) et sans exposition professionnelle à risque (n=90).

⁶⁹ Marqueurs biologiques des bronchopneumopathies chroniques obstructives professionnelles (projet de recherche financé par le PNR EST, 2009).

⁷⁰ Nichée dans la cohorte multicentrique MB2PROF.

3. Analyse de l'inflammation systémique par la technique Luminex®. Des dosages sériques des protéines de l'inflammation sont en cours.

L'étape suivante consistera à analyser la longueur relative des télomères des leucocytes circulants par PCR quantitative pour l'ensemble des sujets.

En explorant pour la première fois l'inflammation et la sénescence systémique, ainsi que les profils des protéines plasmatiques chez les sujets BPCO à composante professionnelle, la mise en évidence de biomarqueurs spécifiques pourrait caractériser d'une part, des mécanismes physiopathologiques différents selon le type d'exposition et permettre, d'autre part, de mettre en place des thérapeutiques (mieux) adaptées et plus ciblées en fonction des différentes origines de la maladie.

Exposition professionnelle aux produits de nettoyage

Exposition professionnelle aux produits de nettoyage, marqueurs biologiques et gènes dans l'asthme

Rachel NADIF, Inserm UMR-S 1168 VIMA

Régis Matran, EA 4488 / **Florence Demenais**, Inserm U 946 / **Valérie Siroux**, Inserm U 1209

Étude en cours depuis 2017 – Financement : 176.534 € – Contact : rachel.nadif@inserm.fr

Mots-clés : exposition professionnelle, produit chimique, produit de nettoyage, désinfection, biomarqueur, interaction, gène, environnement, asthme, physiopathologie, phénotype, étiologie, mécanisme action, composé irritant, sensibilisant, stress oxydant, poumon, épithélium, épidémiologie, matrice emploi exposition

L'asthme est une maladie inflammatoire chronique qui touche plus de quatre millions de personnes en France, avec une prévalence de 7% chez les adultes. C'est une maladie complexe, hétérogène⁷¹ et multifactorielle. Des facteurs environnementaux, comportementaux et génétiques ainsi que leurs interactions sont impliqués dans l'apparition et l'expression de la maladie, mais des recherches sont encore nécessaires pour identifier correctement ces facteurs, évaluer leurs parts respectives et comprendre les mécanismes d'action par lesquels ils affectent la santé respiratoire.

Les mécanismes d'action potentiels

Près de cinq cents agents à risque pour l'asthme professionnel ont déjà été identifiées. Parmi les nombreux agents contenus dans les produits de nettoyage et de désinfection, certains sont des sensibilisants, mais la plupart agiraient comme des irritants respiratoires. Parmi les mécanismes d'action suggérés à ce jour :

- Un rôle des *voies oxydante et nitrosante* est l'une des hypothèses prédominante. L'inhalation de substances chimiques et

⁷¹ Il existe plusieurs sous-types d'asthme définis par des mécanismes fonctionnels ou physiopathologiques distincts.

de composés irritants est en effet susceptible d'induire la libération d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) à travers l'épithélium et le stress oxydant est connu comme l'un des mécanismes potentiels responsable de lésions épithéliales.

- Un rôle des *voies oxydante et nitrosante* a été suggéré dans des modèles murins d'exposition au chlore. Pour mieux comprendre par quels mécanismes les produits de nettoyage et de désinfection affectent la santé respiratoire, il semble pertinent d'étudier plusieurs marqueurs de réponse et de dommages liés à ces deux voies⁷².

Sur le plan mécanistique, l'étude des *interactions gènes-environnement* permet aussi d'identifier les mécanismes biologiques par lesquels l'environnement affecte la santé respiratoire. Mais ces études d'interactions sont difficiles à réaliser car elles doivent garantir une puissance statistique satisfaisante. Bien que l'exposition aux produits de nettoyage et de désinfection soit un risque pour l'asthme et que les voies oxydante et nitrosante soient des mécanismes potentiels par lesquels cette exposition affecte la santé respiratoire, aucune étude épidémiologique ne s'est intéressée aux :

- Associations entre les expositions professionnelles à ces produits et des sous-types d'asthme intégrant des biomarqueurs spécifiques de ces deux voies ;
- Effets modificateurs d'un grand nombre de gènes impliqués dans ces deux voies.

Le projet de recherche : PROBIOGEN

Le projet estimera, pour la première fois, dans une large étude épidémiologique sur l'asthme, chez plus de 1.000 participants, les associations entre les expositions professionnelles aux produits de nettoyage et de désinfection et des sous-types particuliers d'asthme identifiés à partir de caractéristiques cliniques mais aussi de plusieurs biomarqueurs par des méthodes de classification. L'originalité de l'identification de ces sous-types réside dans le fait qu'elle

intégrera des caractéristiques biologiques liées aux voies oxydante et nitrosante.

Méthodologie

Le projet de recherche s'appuie sur les données recueillies au premier suivi de l'étude épidémiologique des facteurs génétiques et environnementaux de l'asthme⁷³ : EGEA2 – enquête durant laquelle des prélèvements de sang ont été réalisés pour doser les biomarqueurs.

Les biomarqueurs considérés ici sont des indicateurs d'effet biologique précoce ou de dommages des voies oxydante et nitrosante. Ils seront mesurés dans le sang ou le condensat de l'air exhalé, au plus proche du poumon.

Par ailleurs, des informations très détaillées sur les expositions professionnelles des participants sont disponibles pour l'ensemble de la carrière, permettant d'étudier différentes fenêtres d'exposition. Ces expositions seront évaluées par plusieurs méthodes dont une nouvelle matrice emplois-expositions et une expertise, pour limiter notamment les biais de mémoire.

Enfin, pour mieux comprendre les interactions complexes entre les facteurs environnementaux et génétiques, une nouvelle approche dite « *par pathway* » sera appliquée. Elle consistera à établir une liste (aussi exhaustive que possible) des gènes impliqués dans les voies oxydante et nitrosante puis, à identifier ceux qui modulent les associations entre les expositions professionnelles et les sous-types d'asthme.

⁷² Ex. la protéine des cellules de Clara (CC-16), les isoprostanés et produits d'oxydation, la 3-nitrotyrosine.

⁷³ EGEA : <https://egeanet.vjf.inserm.fr/index.php/fr/>

L'exposition aux nanoparticules en milieu aéroportuaire

Suivi longitudinal d'une cohorte en milieu aéroportuaire : exposition professionnelle aux nanoparticules atmosphériques et santé respiratoire

Nicolas MOLINARI, Université de Montpellier

Pascal Chanez, Univ. Aix-Marseille / **Véronique Chanel**, CEA, LABM, Grenoble / **Samir Derrough**, CEA, DRT/DSP/SMR/SRSE, Grenoble / **Michel Klerlein**, Air France, Aéroport Roissy Charles de Gaulle

Étude en cours depuis 2017 – Financement : 200.000 euros – Contact : nicolas.molinari@inserm.fr

Mots-clés : exposition professionnelle, nanoparticule, particule ultrafine, particule fine, aéroport, pollution atmosphérique, combustion, freinage, moteur diesel, aluminium, chrome, cadmium, inhalation, appareil respiratoire, stress oxydant, biomarqueur, peroxydation lipidique, cohorte, étude longitudinale, prévention, Marseille, Paris

Il est connu que le taux de nanoparticules (NP) est élevé dans l'environnement aéroportuaire et qu'il est comparable quantitativement à celui d'une grande métropole. Les NP sont majoritairement émises par les combustions des moteurs d'avions, mais aussi par le freinage de ces derniers⁷⁴, ainsi que par l'ensemble des véhicules diesel utilisés sur piste. Il s'agit de nanoparticules d'émissions secondaires dites « *particules ultrafines* » (PUF). Cette pollution nanoparticulaire génère une préoccupation de santé publique du fait de son impact potentiel cardio-vasculaire et respiratoire sur la population générale.

L'exposition en milieu aéroportuaire

Depuis juin 2012, les PUF des gaz d'échappement des véhicules diesel ont été déclarées cancérigènes pour l'homme (groupe 1) par le CIRC. Outre les NP émises par les moteurs, certains métaux sont omniprésents en milieu

⁷⁴ En particulier, le refroidissement des moteurs par ventilation dès l'arrêt.

aéroportuaire. L'aluminium (Al) est le métal le plus présent du fait de la constitution des carlingues d'avions, pour la très grande majorité de la flotte. Le chrome (Cr) est utilisé comme un anti-corrosif dans les peintures, les vernis et les mastics. Enfin, le cadmium (Cd) est présent dans certaines pièces des moteurs et son relargage peut être occasionné lors de l'usure des pièces. Au-delà des postes directement concernés par l'exposition professionnelle aux métaux (ex. chaudronniers, peintres), la question se pose de savoir si l'environnement aéroportuaire entraîne de façon globale, une exposition à ces métaux par inhalation.



Illustration 20 : Fret aérien (Crédits : Fotolia)

La surveillance biologique

La caractérisation de l'exposition aux NP aux postes de travail est un sujet récent pour lequel les stratégies sont encore relativement émergentes. Outre la surveillance atmosphérique, la surveillance biologique est l'approche permettant de déterminer au mieux l'exposition individuelle aux toxiques du travail. La surveillance biologique regroupe l'utilisation de :

- **Biomarqueurs d'exposition** qui renseignent sur le niveau d'exposition des personnes⁷⁵ ;
- **Biomarqueurs d'effets précoces** qui visent à mettre en évidence de potentielles altérations biologiques liées à l'exposition.

⁷⁵ Dans la surveillance des expositions professionnelles, les milieux biologiques généralement utilisés sont l'urine et le sang, avec une préférence pour l'urine lorsque cela est possible, en raison de son caractère non-invasif.

Dans le cas des NP, aucune préconisation de surveillance biologique n'est actuellement disponible, mais la nécessité de développer rapidement des méthodes standardisées est, de plus en plus, soulignée. Les études toxicocinétiques suggèrent que les NP sont préférentiellement absorbées par voie respiratoire et orale, avec une translocation systémique possible pouvant conduire à une accumulation dans les tissus périphériques ou une excrétion (fécale et/ou urinaire). Pour le cas des NP inhalées, les matrices respiratoires doivent également être explorées ; à ce titre, le condensat d'air exhalé (CAE) apparaît comme un outil de recherche intéressant.

Le projet de recherche : NAnERO

Très peu d'études ont évalué l'impact de l'activité aéroportuaire sur la fonction respiratoire. Aucune étude de surveillance biologique de l'exposition n'a été rapportée, ni de suivi longitudinal d'exposition aux NP aéroportuaires sur un échantillon de grande taille, notamment dans un cadre pluridisciplinaire. L'objectif principal du projet NAnERO est donc de déterminer si cette exposition professionnelle altère la fonction respiratoire des travailleurs au travers d'un suivi longitudinal. C'est pourquoi l'acquisition de données de mesures de l'exposition associées à des explorations fonctionnelles respiratoires (EFR) et de biométrie dans ce milieu, sous l'égide des médecins du travail d'Air France, en collaboration avec des cliniciens spécialistes des pathologies respiratoires, des biologistes, des chercheurs et des statisticiens, apparaît comme une initiative importante.

Méthodologie

Entre 2011 et 2013, notre réseau de partenaires a mené une première étude sur l'évaluation de la santé respiratoire des salariés de la société Air France travaillant dans les aéroports de Marseille et Paris⁷⁶. Cette étude a permis d'inclure 471 salariés volontaires (travaillant sur le tarmac de l'aéroport ou dans les bureaux) pour lesquels un questionnaire relatif au mode de vie, une spirométrie, une mesure du

monoxyde de carbone (CO) et monoxyde d'azote (NO) exhalés et un prélèvement de condensat d'air exhalé (CAE) ont été réalisés. Pour cette nouvelle étude (phase 2), le potentiel d'inclusion est de l'ordre de 300 à 350 salariés⁷⁷.

Alors que le développement des biomarqueurs d'exposition vise à doser les NP elles-mêmes dans les matrices biologiques, le développement de biomarqueurs d'effets précoces passe par l'étude des marqueurs de toxicité. Une caractéristique commune aux particules est leur propension à générer du stress oxydant au niveau cellulaire. Parmi les nombreuses approches pour évaluer ce stress oxydant, le dosage des isoprostanes (et plus communément de la 8-isoprostane) est particulièrement d'intérêt car ce sont des molécules stables, présentes dans de nombreux tissus et fluides biologiques, et spécifiques de la peroxydation lipidique.

À terme, ce projet doit permettre de mettre en place des actions de prévention tant pour la santé humaine que pour l'environnement, avec une portée potentiellement internationale.

⁷⁶ No identification ANSM 2011-A00646-35.

⁷⁷ L'ensemble des salariés inclus lors de la phase 1 sera invité à participer à la 2^{ème} étude à l'exception de ceux présentant une pathologie respiratoire ou toute suspicion de pathologie respiratoire. Environ 25% des 471 sujets inclus lors de la première étude ont quitté l'entreprise et 15 salariés présentent un Volume Expiratoire Maximal par Seconde (VEMS) inférieur à 80% de la valeur théorique.

L'asthme aggravé par le travail

Déterminants environnementaux et professionnels de l'asthme de l'adulte

Christophe PARIS, Centre de Consultations de Pathologie Professionnelle et Environnementale, CHU Rennes

Raphaëlle Varraso, Inserm U1168, Villejuif / **Pilar Galan**, Équipe de Recherche en Épidémiologie Nutritionnelle (EREN) UFR SMBH, Université Paris 13, Bobigny

Étude en cours depuis 2017 – Financement : 200.000 euros – Contact : christophe.paris@inserm.fr

Mots-clés : asthme, adulte, aggravation, déterminant, exposition professionnelle, allergène, farine, résine polyuréthane, latex, persulfate, bois, facteur risque, produit chimique, peinture, solvant, prévention, maladie professionnelle, prévalence, contrôle, sévérité

S'il existe de nombreux facteurs environnementaux⁷⁸ associés à l'asthme, l'environnement professionnel est également un facteur de risque établi de l'asthme de l'adulte. En France, les travaux de l'Observatoire National des Asthmes Professionnels (ONAP) rendent compte de l'évolution des causes d'asthme professionnel et des métiers impliqués. Les principaux allergènes décrits sont la farine de blé et les additifs (20,3%), les résines polyuréthanes (14,1%), le latex (7,2%), les persulfates alcalins (5,8%) et le bois (3,7%). De manière parallèle, certaines professions apparaissent comme plus souvent à risque en France comme les boulangers, les coiffeurs, les travailleurs du bois ou les professions de santé. Cette sur-représentation de certaines catégories professionnelles a également été observée dans d'autres études européennes.

Une sous-déclaration

La comparaison de ces données aux autres sources, notamment de la sécurité sociale du Régime général, a permis de souligner

l'importance de la sous-déclaration en maladie professionnelle pour cette pathologie. Or, il apparaît que l'asthme professionnel (AP) est particulièrement fréquent dans de nombreux groupes professionnels, touchant aussi bien les secteurs industriels qu'artisans. Les données issues d'autres régimes sont encore plus parcellaires : en particulier, pour le régime des artisans, commerçants et professions libérales. Les évolutions récentes, encore contrastées, démontrent la nécessité d'une prévention toujours renforcée dans certains secteurs.

L'asthme aggravé par le travail

Depuis une dizaine d'années, l'attention s'est portée sur le rôle des expositions professionnelles sur l'évolution et le contrôle de l'asthme et en particulier les exacerbations. Ainsi à côté de l'asthme professionnel (AP) proprement dit, la notion d'asthme aggravé par le travail (AAT) s'est progressivement développée depuis une dizaine d'années. Toutefois, peu de travaux ont été consacrés en France à l'AAT et cette forme d'asthme reste relativement peu connue. L'AAT n'en demeure pas moins une circonstance clinique fréquente, qui peut s'avérer difficile à prendre en charge. Selon quelques études récentes, essentiellement nord-américaines, la prévalence des AAT serait ainsi plus importante que celle des AP. Les circonstances d'expositions professionnelles impliquées dans l'AAT diffèrent habituellement de celles observées pour les AP. Ainsi, Les facteurs déclenchant d'un AAT peuvent être, de manière générale, des expositions non spécifiques à des irritants respiratoires tels que les produits chimiques, les peintures, les solvants pour les plus fréquents. Les profils des patients, et en particulier la sévérité de l'asthme, les conséquences thérapeutiques et professionnelles sont aussi considérés comme différents de ceux de l'AP. Ainsi, le patient ayant un AAT pourra plus facilement faire l'objet de mesures de prévention visant à diminuer les expositions professionnelles, mais sans recourir à une éviction totale qui se traduit le plus souvent par la perte de l'emploi. Dans ce contexte, l'optimisation du traitement anti-asthmatique sera également plus aisée.

⁷⁸ Ex. pollution atmosphérique, produits domestiques, air intérieur, statut socio-économique.

Il existe donc un besoin important de caractériser les déterminants tant professionnels, environnementaux que domestiques de l'asthme et plus particulièrement d'identifier les circonstances professionnelles à l'origine de l'AAT. La mise en évidence de profils plus à risques permettra de renforcer, de manière efficace, la prévention de l'aggravation de l'asthme, tant en population au travail que générale.



Illustration 21 : Asthme et exposition professionnelle
(Crédits : Fotolia)

Le projet de recherche : DEP-Asthma

Le but de ce projet est d'apporter des connaissances nouvelles sur la caractérisation clinique en termes de sévérité et de contrôle de l'asthme professionnel et de l'asthme aggravé par le travail, en précisant notamment le rôle des facteurs professionnels et environnementaux.

Méthodologie

Pour ce faire, le projet DEP-AsthMA s'appuie sur la cohorte de l'étude Nutrinet-Santé⁷⁹. Celle-ci concerne des sujets volontaires de 18 ans et plus, ayant validé leur inscription et le processus d'inclusion (remplissage du kit de questionnaires de base). Les questionnaires spécifiques seront proposés à l'ensemble de la cohorte par l'intermédiaire du site web sécurisé de l'étude. Outre un questionnaire sur les symptômes d'asthme qui comporte plusieurs questions standardisées⁸⁰, l'étude portera sur :

- La recherche d'une rythmicité professionnelle : existe-t-il par exemple une aggravation durant les périodes travaillées ou une amélioration (voire une disparition des symptômes) durant les périodes de congés ?
- Le recueil du *cursus laboris*, c'est-à-dire de l'ensemble des métiers et secteurs d'activité (y compris les stages et les formations professionnelles) de plus de 6 mois ;
- Le repérage systématique des tâches connues comme exposantes aux allergènes et aux irritants respiratoires en milieu de travail ;
- L'évaluation des expositions domestiques (ex. présence de moisissures, utilisation de produits ménagers sous forme de spray, sources d'acariens).

Tous ces questionnaires sont déjà validés dans la littérature internationale. Selon les hypothèses actuelles de prévalence des facteurs environnementaux et professionnels, un échantillonnage de 780 sujets avec un AAT, 460 sujets avec un AP et 1.850 sujets avec un asthme simple est attendu pour cette étude – ce qui permettra de disposer d'une puissance statistique suffisante.

Ce travail va se faire en associant outre l'équipe de Nutrinet-santé, l'équipe de Nicole Le Moual de l'U1168, spécialisée dans les pathologies respiratoires environnementales et professionnelles, et l'évaluation des expositions en particulier par matrice emplois-expositions, et l'équipe ESTER de l'IRSET, U1085.

⁷⁹ Site internet : <https://www.etude-nutrinet-sante.fr/>

⁸⁰ 40.152 sujets ont déjà rempli ce questionnaire, dont 10.013 hommes. La prévalence de l'asthme dans cet échantillon est estimée à 6,7% chez les hommes et 8,1% chez les femmes.

Multi-expositions, facteurs organisationnels, risques et représentations

Dans les milieux professionnels, les multi-expositions sont fréquentes. Ainsi, par exemple, les professionnels de santé sont exposés dans les hôpitaux et les structures médico-sociales à plusieurs contaminants, présents dans l'air intérieur. Ils sont soumis à la pénibilité physique (ex. contraintes posturales, manutentions de charges, mouvements répétitifs) qui peuvent conduire à des troubles musculo-squelettiques (TMS) et des affections chroniques du rachis lombaire « avec un taux de récurrence de lombalgies à un an estimé entre 24 et 84% selon les études »⁸¹.

Les professionnels hospitaliers sont particulièrement soumis à certaines contraintes horaires et à leurs effets différés sur la santé. Selon certaines données, le risque de cancer du sein est « environ 30% plus élevé chez les femmes ayant déjà travaillé de nuit que chez les femmes n'ayant jamais eu ce type d'horaire, et 40% plus élevé chez les femmes ayant travaillé la nuit pendant au moins 4,5 ans »⁸².

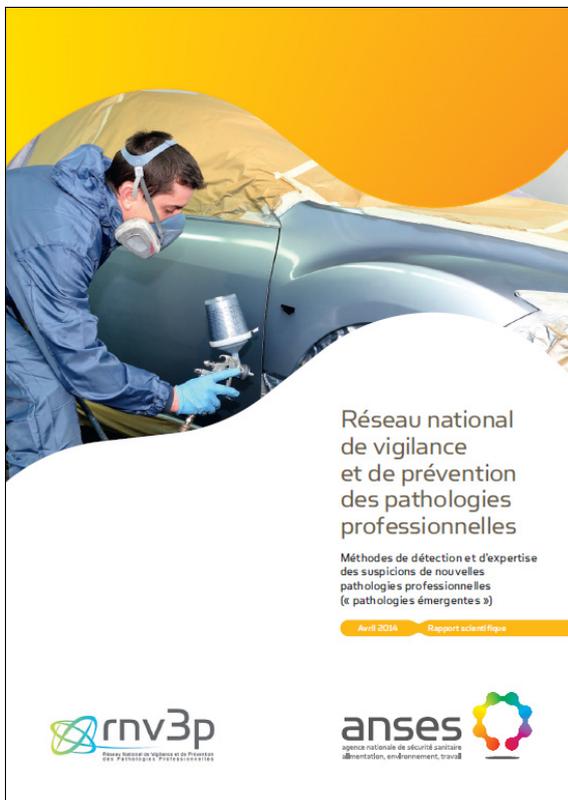


Illustration 22 : rnv3p, méthodes de détection et d'expertise des suspicions de nouvelles pathologies professionnelles (Anses Éditions, avril 2014)



Illustration 23 : Évaluation des risques sanitaires liés au travail de nuit (Anses Éditions, juin 2016)

⁸¹ Dr. Emmanuelle Chaleat-Valayer, *La prévention secondaire des lombalgies chez les professionnels hospitaliers*, in. Les Cahiers de la Recherche, No 8, nov. 2016, pp. 40-41.

⁸² Pascal Guénel. Travail de nuit et cancers du sein : Rôle du travail de nuit et des gènes du rythme circadien dans la survenue des cancers du sein : étude épidémiologique en population générale. *Les cahiers de la Recherche. Santé, Environnement, Travail*, ANSES, 2014, Cancer et environnement, pp.16-17.

<https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche> . [anses-01721783](#)

Le rapport et l'avis publiés par l'Anses en 2016 ont confirmé de nombreux risques sanitaires probables ou avérés liés au travail de nuit. Le risque cancérigène, notamment de cancer du sein a été mis en avant. Néanmoins, l'absence de définition précise et uniforme du travail de nuit ne permet pas d'établir définitivement un lien causal entre travail posté et risque de cancer. Le projet présenté ici par Pascal Guénel propose donc d'étudier les effets du travail de nuit et/ou posté sur le rythme circadien et le sommeil, à partir de prélèvements biologiques et d'enregistrements en continu de paramètres physiologiques, chez le personnel féminin (infirmières et aides-soignantes) de l'AP-HP travaillant en poste de jour ou de nuit (CIRCADIEM, pp. 40-41).

Le Plan santé au travail n° 3 (PST 3 : 2016-2020) donne « *la priorité à la prévention primaire et au développement de la culture de la prévention* ». « *La santé n'est plus, dans ce contexte, abordée uniquement au prisme de la pathologie, mais selon une approche qui privilégie la promotion de la santé et le bien-être des travailleurs* »⁸³. Dans ce cadre, l'importance des approches pluridisciplinaires en santé-travail est d'autant plus grande. Le projet IMPACT-PREV-TMS, présenté ici par Julie Bodin, étudie l'impact potentiel des scénarios de prévention des TMS à l'échelle populationnelle (pp. 44-45). Au-delà des questionnements classiques sur les expositions et les dangers, d'autres équipes de recherche développent des outils destinés à aider les acteurs dans leurs missions. Ainsi, François Beaudeau et ses partenaires réfléchissent, à partir de l'exemple de la fièvre Q en Bretagne, à la mise en place d'un dispositif pluri-professionnel concerté de prévention et de maîtrise des risques chez l'homme après avoir décrit les pratiques et représentations du risque zoonotique des professionnels concernés par la diffusion et la mise en œuvre d'un tel dispositif (c'est-à-dire vétérinaires et médecins) : MedVetFQ (pp. 46-47).

L'importance de la prévention des risques professionnels se mesure également en termes économiques. En France, en 2016, selon les statistiques publiées par la Cnam-TS, plus de 10 millions de journées de travail ont été perdues par incapacité temporaire. Si le nombre de « *nouvelles* » maladies professionnelles prises en charge par la Cnam-TS diminue entre 2015 et 2016 (-4,3%), les pathologies psychiques connaissent *a contrario* « *une hausse de 40% liée à l'augmentation du volume de demandes de reconnaissance* »⁸⁴. Pour évaluer les associations entre facteurs psychosociaux au travail et mortalité toutes causes et par causes, Isabelle Niedhammer et ses partenaires proposent ici, en complément des modèles de Karasek et Siegrist, une nouvelle méthode STRESSJEM qui s'appuie sur l'utilisation de matrices emplois-expositions (pp. 42-43).

Enfin, l'efficacité des dispositifs de surveillance de risques professionnels incertains vis-à-vis de la prévention est une question d'actualité. Le projet SURIPI, présenté ici par Jean-Noël Jouzel, consiste à analyser le fonctionnement de divers dispositifs de surveillance sur cinq terrains d'enquête contrastés : les risques chimiques et les risques psychosociaux en milieu agricole, en milieu bureaucratique, les risques chimiques dans les laboratoires de recherche, les risques psychosociaux chez les cadres d'une grande entreprise et le cas des addictions dans une grande entreprise de service aéroportuaire (pp. 48-49).

⁸³ Plan santé au travail, 2016-2020, premier axe stratégique.

⁸⁴ Cnam-TS, *Données 2016 des accidents du travail et maladies professionnelles*, Communiqué de presse, 14 septembre 2017.

Les effets du travail de nuit sur le rythme circadien et le sommeil

Perturbation du rythme circadien chez les infirmières travaillant de nuit : contribution des facteurs environnementaux, du chronotype, du génotype – marqueurs biologiques

Pascal GUÉNEL, Inserm U1018, CESP, Épidémiologie des cancers, gènes et environnement

Damien Léger, Centre du Sommeil et de la Vigilance, Hôtel Dieu, Univ. Paris Descartes / **Francis Lévi**, Centre de Chronothérapie, Inserm, UMR5776, Rythmes biologiques et cancers, Villejuif

Enquête en cours depuis 2014 – Financement : 198.536 € – Contact : pascal.guenel@inserm.fr

Mots-clés : travail nocturne, travail posté, rythme circadien, horloge biologique, noyau suprachiasmatique, hypothalamus, gène, trouble sommeil, mélatonine, femme, infirmier, horaire décalé, facteur risque, cancer, Ile de France, Paris

En 2007, le « travail posté impliquant des perturbations du rythme circadien »⁸⁵ a été classé par le CIRC comme cancérigène probable sur la base de preuves suffisantes chez l'animal et limitées chez l'Homme. L'évaluation du CIRC concernait tout type de travail pouvant entraîner une désynchronisation entre le rythme social imposé par les horaires de travail et le rythme biologique naturel (rythme veille/sommeil calé sur l'alternance lumière/obscurité), le travail de nuit représentant un cas extrême à l'origine d'une désynchronisation complète. Dans les études épidémiologiques, le travail de nuit ou à horaires non standard est utilisé comme indicateur de la désynchronisation de l'horloge biologique interne afin d'en étudier les effets sur la santé. Il constitue cependant un indicateur imparfait des perturbations du rythme circadien, qui dépendent des caractéristiques précises des horaires de travail, le plus souvent évaluées de manière incomplète (durée, fréquence, intensité du travail de nuit, horaires fixes ou alternants, etc.). Elles dépendent également de

⁸⁵ De l'anglais « Shift work that involves circadian disruption ».

caractéristiques individuelles comme la durée du sommeil, le chronotype (préférence jour ou nuit), ou des polymorphismes sur les gènes de l'horloge biologique qui régulent le rythme circadien au niveau cellulaire⁸⁶.

Le travail de nuit occasionnel ou régulier concerne environ 15% des salariés en France⁸⁷ et constitue une préoccupation majeure de santé publique du fait des effets sanitaires divers, cancéreux ou non cancéreux, qui lui sont associés⁸⁸.



Illustration 24 : Les effets du travail de nuit sur le rythme circadien et le sommeil (Crédits : iStock)

Le projet de recherche : CIRCADIEM

Dans le projet CIRCADIEM nous nous proposons d'étudier les effets sur le rythme circadien de différents types d'horaires de travail chez des femmes soumises à des horaires non standard.

Les perturbations du rythme circadien sont appréciées au cours d'une semaine de travail :

- en enregistrant en continu l'activité et la température corporelle, obtenues à l'aide d'un dispositif électronique porté par le participant sur une semaine de travail standard (dispositif PICADO) ;
- sur la base d'informations détaillées sur le sommeil, le chronotype et d'autres informations socio-démographiques, médicales ou sur le mode de vie obtenues par questionnaire.

⁸⁶ Levi F, Okyar A, Dulong S, Innominato PF, Clairambault J. *Circadian timing in cancer treatments*. Annual review of pharmacology and toxicology. 2010;50:377-421

⁸⁷ DARES. "Le Travail de Nuit en 2012." Dares Analyses - Publication de la Direction de l'Animation de la Recherche, des Etudes et des Statistiques. 2014;(62):1-8

⁸⁸ ANSES. *Évaluation des risques sanitaires liés au travail de nuit*. Rapport d'expertise collective. Juin 2016.

Le projet prévoyait également de recueillir et conserver des prélèvements sanguins pour :

- étudier les variations de marqueurs biologiques d'inflammation et de marqueurs d'immunité en rapport avec les horaires de travail ;
- identifier les polymorphismes (*Single Nucleotide Polymorphism* SNP) sur les gènes impliqués dans la régulation du rythme circadien et étudier dans quelle mesure ils contribuent à la perturbation du rythme chez les personnes travaillant en horaires non standard. L'étude des modifications épigénétiques, permettant d'apprécier l'expression de ces gènes est également envisagée.

Méthodologie

Le recrutement des volontaires infirmières ou aides-soignantes de l'HPB a été effectué par un infirmier-enquêteur spécialement recruté pour le projet. Ce recrutement était réalisé lors de réunions d'information organisées pendant les horaires de travail dans chacun des services hospitaliers et chacune des équipes du matin, d'après-midi, et de nuit. A l'issue de la réunion d'information, des rendez-vous étaient pris par l'infirmier-enquêteur avec les volontaires. La participation s'est déroulée sur une semaine de travail (J1 à J7) :

- J1 : à l'occasion de la prise de poste, l'infirmier-enquêteur établissait le consentement et remettait le matériel d'enquête (questionnaire, agenda sommeil-travail, et dispositif PICADo).
- J1 à J7 : port de PICADo tout au long de la semaine de jour comme de nuit pour l'enregistrement chaque minute de l'activité et de la température corporelle.
- J7 (J5-J8) : 1^{er} prélèvement sanguin lors de la prise de poste, 2^{ème} prélèvement sanguin lors de la fin du poste. L'enquêtrice remettait le questionnaire, l'agenda sommeil-travail et le dispositif PICADo à l'infirmier enquêteur.

Les prélèvements sanguins 1 et 2 ont été utilisés pour la NFS et le dosage des lymphocytes NK. Des aliquots ont également été congelés en vue des analyses génétiques et du dosage de marqueurs d'inflammation (CRP, IL6) qui seront

effectués ultérieurement. Les aliquots sont stockés au Centre de Ressources Biologiques EPIGENETEC des Saints-Pères (Paris).

Retombées :

Nous avons constitué une base de données originale sur le rythme circadien d'infirmières et d'aides-soignantes soumises à des horaires de travail non standard. Cette base de données portant sur un échantillon de plus de 200 individus suivis au cours d'une semaine de travail est sans équivalent à notre connaissance.

Les analyses statistiques sont maintenant en cours et permettront de mettre en relation les horaires de travail avec les perturbations du rythme circadien mesurés à l'aide d'indicateurs objectifs. Les étapes ultérieures de dosages de marqueurs d'inflammation, et de génotypage des gènes circadiens sont programmées.

Facteurs psychosociaux au travail et mortalité

Facteurs psychosociaux au travail et mortalité en France

Isabelle NIEDHAMMER, Inserm U1085, Angers

Laurence Chérié-Challine, Santé Publique France, Direction Santé Travail, Saint-Maurice / Anthony LaMontagne, Deakin University, Burwood (Australie)

Étude en cours depuis 2016 – Financement : 199.805 € – Contact : isabelle.niedhammer@inserm.fr

Mots-clés : facteur psychosocial, exposition professionnelle, mortalité, modèle, matrice emploi exposition, maladies cardiovasculaires, pathologie de l'appareil circulatoire, appareil cardiovasculaire, suicide, France

De par l'évolution des économies tendant vers une tertiarisation, l'apparition de nouvelles formes d'organisation du travail, une concurrence et une flexibilité accrues dans l'ensemble des pays industrialisés, les facteurs psychosociaux au travail font l'objet d'une demande sociale importante. Ils se définissent par les contraintes psychologiques, mentales et sociales induites par l'organisation du travail.

Pour évaluer les facteurs psychosociaux, des modèles conceptuels ont été élaborés dans le but d'étudier certaines dimensions jugées cruciales de l'environnement psychosocial au travail et d'aboutir à des questionnaires validés.

Le modèle de Karasek

Ce modèle permet d'évaluer trois principales dimensions de l'environnement psychosocial au travail :

- **La demande psychologique** définie par la charge psychologique associée à l'accomplissement des tâches, aux tâches imprévues, aux interruptions, aux demandes contradictoires... ;
- **La latitude décisionnelle** qui comprend à la fois l'autonomie décisionnelle (ou contrôle) et la possibilité d'utiliser et de

développer ses compétences et qualifications ;

- **Le soutien social** défini par l'aide et la reconnaissance des collègues et du supérieur hiérarchique.

Selon Karasek, la combinaison d'une forte demande psychologique et d'une faible latitude décisionnelle (situation de cumul appelée « *job strain* ») conduit à une situation à risque. Quant à la troisième dimension (à savoir le soutien social), elle pourrait agir comme un modérateur des effets des deux facteurs de stress précédents. Elle permet aussi d'identifier une autre situation de cumul, dont les effets seraient marqués pour la santé : l'« *iso strain* », soit la combinaison d'isolement social (faible soutien) et de « *job strain* ».

Le modèle de Siegrist

Ce modèle (aussi appelé modèle du déséquilibre efforts-récompenses) élargit l'évaluation des facteurs psychosociaux au travail pour couvrir des dimensions plus larges du contexte socio-économique de travail. Il postule que les efforts réalisés en milieu de travail s'inscrivent dans un contrat de réciprocité sociale et propose donc de se focaliser sur le déséquilibre entre deux composantes de l'environnement psychosocial de travail :

- **Les efforts** liés aux contraintes de temps, interruptions, responsabilités, etc ;
- **Les récompenses** en termes d'estime, de perspectives de promotion et de salaire et de sécurité de l'emploi.

Si ces deux modèles restent, à ce jour, des instruments privilégiés dans l'évaluation des facteurs psychosociaux au travail, une tendance plus récente consiste à élargir l'évaluation de ces facteurs psychosociaux au travail à d'autres dimensions telles que les violences au travail (physiques, sexuelles et psychologiques), le temps de travail prolongé ou encore la précarité de l'emploi qui permettent de compléter l'exploration de l'environnement psychosocial au travail.

Les matrices emplois-expositions

Une méthode dans l'évaluation des facteurs psychosociaux au travail s'appuie sur l'utilisation de matrices emplois-expositions⁸⁹. Celles-ci constituent une approche pertinente dans l'étude des facteurs psychosociaux au travail et de la mortalité ; elles permettent de fournir une ou plusieurs mesures d'une exposition donnée (ex. prévalence, fréquence, durée) en fonction d'intitulés d'emploi. On parle en effet de matrice, puisqu'elle se présente sous la forme d'une matrice dans laquelle chaque intersection entre lignes (intitulés d'emplois) et colonnes (expositions) fournit une ou plusieurs estimations de l'exposition.



Illustration 25 : Situation de cumul ou « Job strain »
(Crédits : iStock)

Le projet de recherche : STRESSJEM

La littérature épidémiologique apporte des éléments convaincants sur les effets pathogènes des facteurs psychosociaux au travail sur la

⁸⁹ Approche utilisée classiquement en épidémiologie des risques professionnels pour d'autres types d'expositions, notamment de nature chimique.

santé. En termes de morbidité, les effets les plus robustes ont été démontrés sur les maladies cardio-vasculaires et les troubles de la santé mentale. Mais, la littérature est inexistante en France (et rare au niveau international) sur les associations entre facteurs psychosociaux au travail et mortalité toutes causes et par causes.

Méthodologie

À l'aide des données issues des enquêtes SUMER (2003 et 2010)⁹⁰, les objectifs du projet STRESSJEM sont de :

- Construire une matrice emplois-expositions pour les facteurs psychosociaux au travail ;
- Appliquer cette matrice à des données nationales couplant des informations sur la carrière professionnelle et des informations sur la mortalité (Cosmop-DADS)⁹¹ et mener plusieurs études étiologiques sur les associations entre facteurs psychosociaux au travail et mortalité toutes causes et par causes, en particulier pour les maladies cardio-vasculaires et les suicides ;
- Estimer les fractions de la mortalité (toutes causes et par causes) attribuables aux facteurs psychosociaux au travail.

⁹⁰ Surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels (SUMER) : <http://dares.travail-emploi.gouv.fr/dares-etudes-et-statistiques/enquetes-de-a-a-z/article/surveillance-medicale-des-expositions-aux-risques-professionnels-sumer-edition-118967>

⁹¹ Cohorte pour la Surveillance de la Mortalité par Profession (Cosmop) + Déclaration annuelle des données sociales (DADS).

L'impact potentiel des scénarios de prévention des TMS

Impact potentiel des interventions de prévention des troubles musculo-squelettiques (TMS) à l'échelle populationnelle : scénarios de réduction de l'exposition professionnelle aux facteurs de risque de TMS en population active

Julie BODIN, Inserm UMR-S1085, Angers

Aboubakari Nambiema et **Yves Roquelaure**, Inserm UMR-S1085, Angers / **Alexis Descatha**, Inserm UMS 011, UVSQ, Villejuif / **Natacha Fouquet**, Santé Publique France, EpiPrevTMS UMR-S1085, Angers / **Nicole Vézina**, Université du Québec, Montréal (Canada) / **Marie Bellemare**, Université Laval, Québec (Canada)

Étude en cours depuis 2016 – Financement : 194.688 € – Contact : julie.bodin@univ-angers.fr

Mots-clés : stratégie, prévention, troubles musculo-squelettiques, TMS, facteur de risque, risque professionnel, exposition professionnelle, maladie professionnelle

Les troubles musculo-squelettiques du membre supérieur (TMS-MS) constituent aujourd'hui l'une des questions les plus préoccupantes dans les domaines de la santé au travail et de la santé publique en raison des coûts humain et socioprofessionnel considérables : douleurs et gênes dans le travail et dans la vie quotidienne, séquelles fonctionnelles parfois irréversibles, réduction d'aptitude au travail et risque de rupture de carrière professionnelle. En 2016, 38.740 cas de TMS ont été reconnus⁹² en France constituant ainsi la première maladie professionnelle indemnisée⁹³.

⁹² Au titre du tableau RG 57 des maladies professionnelles en France (Affections périarticulaires provoquées par certains gestes et postures de travail).

⁹³ Soit 79 % des maladies professionnelles indemnisées selon la Caisse nationale de l'Assurance maladie des travailleurs salariés. Direction des Risques Professionnels, 2016.

La prévention des TMS

La prévention des TMS-MS est une priorité de santé au travail⁹⁴. Elle nécessite d'approfondir la réflexion sur les stratégies de prévention à l'échelle de la population active. En effet, la proportion de TMS-MS attribuables au travail, et donc théoriquement évitables par des interventions en milieu de travail, varie en fonction des professions, des secteurs d'activité et de l'exposition aux facteurs de risque. Il n'y a pas une cause unique mais une multitude de causes (ex. facteurs biomécaniques, contraintes psychosociales et organisationnelles). Pour les éviter, des solutions de prévention peuvent être mises en place. Mais, peu d'études sont disponibles pour estimer l'impact potentiel de différents scénarios de prévention sur le nombre de cas de TMS-MS.



Illustration 26 : La prévention des TMS, facteurs biomécaniques (Crédits : Getty Images)

⁹⁴ Dans le Plan Santé Travail 2016-2020, les TMS font partie des risques prioritaires sur lesquels la prévention doit être renforcée.

À partir des données disponibles pour les salariés de la région des Pays de la Loire⁹⁵, il a été démontré que la réduction de l'exposition à des facteurs de risque biomécaniques de TMS-MS (force et répétitivité) permettrait en théorie d'éviter jusqu'à 31 % des TMS-MS chez les ouvriers. Néanmoins, pour être efficace, la prévention des TMS-MS nécessite une approche plus globale portant également sur les facteurs de risque psychosociaux et organisationnels.

Constituer un consortium de recherche associant médecins du travail, épidémiologistes, statisticiens, ergonomes et préventeurs permettrait d'étudier les données épidémiologiques sous un angle original et d'obtenir des résultats susceptibles d'enrichir les politiques de prévention des institutions en charge des risques professionnels.

Le projet de recherche : IMPACT-PREV-TMS

L'objectif du projet IMPACT-PREV-TMS est d'évaluer et comparer les effets potentiels de la réduction de l'exposition professionnelle aux principaux facteurs de risque professionnels biomécaniques, psychosociaux et organisationnels sur l'incidence des TMS-MS. Les données de trois études seront utilisées :

- **La cohorte Cosali** a été mise en place dans la région des Pays de la Loire. À l'inclusion, entre 2002 et 2005, 83 médecins du travail de la région ont inclus aléatoirement 3.710 salariés parmi les salariés âgés de 20 à 59 ans travaillant dans des entreprises privées ou publiques de la région et dont la surveillance médicale au travail était assurée par l'un des médecins du travail volontaires. Ces salariés ont répondu à un auto-questionnaire à l'inclusion et au suivi en 2007. Ils ont été revus par leur médecin du travail entre 2007 et 2010.
- **La cohorte Constances** est une cohorte épidémiologique « généraliste » qui sera à terme constituée d'un échantillon représentatif de 200.000 adultes âgés de 18

à 69 ans à l'inclusion⁹⁶, consultants des Centres d'examens de santé de la Sécurité sociale. À l'inclusion, les individus ont complété plusieurs questionnaires et ont bénéficié d'un examen de santé standardisé. Ils reçoivent ensuite un auto-questionnaire à leur domicile tous les ans.

- **L'étude transversale, réalisée en 2009 dans une industrie pharmaceutique**, avait pour objectif de faire un état des lieux du risque de TMS dans l'entreprise et de dépister les postes de travail à risque afin d'engager une stratégie de prévention des TMS et de maintien en activité de salariés souffrant de TMS. Au total, 1.282 salariés ont participé à l'étude et ont répondu à un auto-questionnaire.

Méthodologie

Différents scénarios de prévention de réduction des expositions aux facteurs de risque professionnels seront élaborés, par le consortium de recherche constitué pour cette étude, afin de simuler leur impact potentiel théorique sur le nombre de cas « évitables » de TMS-MS et de symptômes musculo-squelettiques du membre supérieur (SMS-MS). Par exemple :

- la réduction des postures inconfortables de l'épaule de plus de 4 heures par jour à moins de 4 heures par jour ;
- l'amélioration du soutien social hiérarchique.

Le nombre de cas observés de TMS-MS (et de SMS-MS) sera ainsi comparé au nombre de cas attendus selon les différents scénarios de prévention.

Publications :

Roquelaure Y, Fouquet N, Chazelle E, Descatha A, Evanoff B, Bodin J, Petit A. Theoretical impact of simulated workplace-based primary prevention of carpal tunnel syndrome in a French region. *BMC Public Health*. 2018;18(1):426.

⁹⁵ Données de la cohorte Cosali (Cohorte des Salariés Lgériens) mise en place en 2002 par Santé publique France (anciennement, InVs) et l'équipe Ester (Irset - Inserm UMR 1085, anciennement, LEEST).

⁹⁶ Cohorte des CONSULTANTS des Centres d'Examens de Santé mise en place par l'Inserm et la CnamTS en collaboration avec le Centre technique d'appui et de formation des centres d'examens de santé et le Ministère chargé de la santé (DGS).

Risque zoonotique : l'exemple de la fièvre Q dans le Grand-Ouest

Risque zoonotique : état des lieux, représentations et attitudes des médecins et des vétérinaires – L'exemple de la fièvre Q dans le Grand-Ouest

François BEAUDEAU et Marie POUQUET, ONIRIS, UMR Oniris-INRA BIOEPAR, Nantes

Leïla Moret, Hôpital Saint-Jacques, Pôle Hospitalo-Universitaire 11, UMR Inserm 1246 Sphere, Nantes

Étude en cours depuis octobre 2016 –
Financement : 117.000 € – Contact :
francois.beauveau@oniris-nantes.fr

Mots-clés : zoonose, fièvre Q, *Coxiella burnetii*, séroprévalence, facteurs de risque, élevage, bovin, vétérinaire, médecin, gestion des risques, risque professionnel

Les zoonoses sont des maladies ou infections qui se transmettent naturellement des animaux vertébrés à l'homme et inversement. Dans un contexte où plus de 60% des 1.500 agents pathogènes peuvent être transmis des animaux à l'homme, il apparaît important que la gestion des risques sanitaires infectieux zoonotiques fasse l'objet d'une collaboration étroite entre vétérinaires et médecins.

En France, le vétérinaire a obligation légale de déclarer toute suspicion de zoonose relevant de la liste des dangers sanitaires de catégorie 1 (et pour partie de catégorie 2). Ces zoonoses sont au nombre de 22 listées par l'arrêté du 29 juillet 2013⁹⁷. Cependant, cette obligation n'est pas étendue aux autres dangers zoonotiques alors que certains d'entre eux peuvent avoir un impact important en santé publique, comme la récente épidémie de fièvre Q aux Pays-Bas l'atteste.

Les zoonoses non alimentaires

Ces zoonoses concernent en premier lieu, toutes les personnes vivant ou travaillant avec des animaux. Pour celles-ci, les principaux modes de

contamination humaine sont le contact direct avec l'animal malade ou porteur (ex. soin, caresse), l'inhalation d'aérosols contaminés issus des animaux infectés ou de leur environnement, la transmission par vecteurs (ex. arthropodes), le contact à un environnement souillé (ex. par manipulation de matériels, litières) et la manipulation de carcasses, cadavres, produits animaux... Les risques zoonotiques professionnels concernent donc essentiellement les éleveurs, les employés d'abattoir et d'équarissage, les personnels d'animalerie et de laboratoire, les gardes-chasse ainsi que les vétérinaires canins et ruraux.



Illustration 27 : La fièvre Q, une maladie qui peut toucher l'Homme et les animaux (Crédits : Anses, Sophia-Antipolis)

Le cas de la fièvre Q

La fièvre Q est une zoonose causée par la bactérie *Coxiella burnetii*. Elle peut affecter les ruminants domestiques (bovins, ovins, caprins) et se transmettre à l'homme le plus souvent par inhalation d'aérosols et de poussières contaminés. Ainsi, lors de l'épidémie de 2007 à 2010 aux Pays-Bas, plus de 3.500 cas humains ont été recensés, dont 5% avaient une activité en lien avec l'agriculture. Si la fièvre Q est une maladie professionnelle (affectant notamment les éleveurs et les vétérinaires), la dispersion aéroportée de la bactérie lui confère également un potentiel de contamination élargie en population générale. Il y aurait donc un intérêt majeur au partage d'information entre vétérinaires et médecins pour évaluer et gérer la santé des populations humaines, et faire face efficacement aux situations d'exposition, voire de crise.

⁹⁷<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027831750&categorieLien=id>

Dans le Grand-Ouest

Dans le Grand-Ouest de la France, l'infection par *Coxiella burnetti* est endémique chez les bovins. Une étude récente dans le département du Finistère a montré que la prévalence des troupeaux laitiers porteurs d'anticorps anti-*Coxiella* était de 69%, avec de fortes variations spatiales en fonction de la densité locale de bovins. Pour autant, aucune étude visant à estimer la prévalence des humains infectés⁹⁸ n'a été conduite, à notre connaissance, dans de tels départements à forte activité d'élevage. De plus, dans ces départements, il n'existe aucun dispositif de gestion du risque zoonotique qui intègre à la fois des connaissances sur :

- l'exposition au risque à partir d'animaux d'élevage ;
- les pratiques, représentations des professionnels concernés, vétérinaires et médecins, face à ce risque et leurs attentes réciproques pour mieux le gérer.

Le projet de recherche : MedvetFQ

Comment concevoir un dispositif pluri-professionnel concerté de prévention et de maîtrise du risque zoonotique chez l'homme ?

L'hypothèse explorée dans ce projet est que l'objectivation de l'importance du risque zoonotique, combinée à la connaissance des représentations, des attitudes, et des attentes des vétérinaires et des médecins face à ce risque, permettrait de mieux répondre à cette question.

Méthodologie

L'étude est réalisée dans le Finistère et en Loire-Atlantique. Deux volets complémentaires sont prévus :

1. Estimer la prévalence des humains porteurs d'anticorps anti-*Coxiella burnetti* dans trois populations distinctes : éleveurs

de bovins laitiers⁹⁹, vétérinaires praticiens ruraux¹⁰⁰ et population générale adulte¹⁰¹.

2. Décrire les représentations du risque zoonotique, les attitudes actuelles et les attentes des vétérinaires et médecins.

⁹⁸ Aussi bien dans les populations à risque (ex. éleveurs, vétérinaires) que dans la population générale.

⁹⁹ Le projet bénéficie du partenariat technique du Groupement de Défense Sanitaire de Loire-Atlantique (GDS44), organisation professionnelle d'éleveurs.

¹⁰⁰ En 2015, le nombre de vétérinaires praticiens libéraux avec une activité rurale et dont le cabinet se situe dans le Finistère ou en Loire-Atlantique était de 200. La participation d'environ 50 vétérinaires est attendue.

¹⁰¹ Ensemble des adultes majeurs dont le lieu de résidence se situe dans le Finistère et effectuant une démarche volontaire de don de sang auprès de l'EFS.

Risques professionnels, surveillance et incertitude

La surveillance des risques professionnels incertains

Jean-Noël JOUZEL et **Jérôme PELISSE**,
Centre de Sociologie des Organisations, UMR
7116, CNRS Sciences Po, Paris

Renaud Crespin, Romain Juston et Marion Gaboriau, CSO Sciences Po / **Scarlett Salman et Sylvain Brunier**, Univ. Paris Est, Marne-la-Vallée

Étude en cours depuis début 2017 –
Financement : 181.809 € – Contact :
jeannoel.jouzel@sciencespo.fr

Mots-clés : surveillance, risque professionnel, santé publique, dispositif, droit travail, débat, incertitude, ignorance, risque chimique, facteur psychosocial, risques psychosociaux, addiction, épistémologie, méthodologie, sciences sociales

Les enjeux de santé au travail ont abondamment nourri le débat public ces dernières années : « scandale de l'amiante » à la fin des années 1990, « vagues de suicides » médiatisées en 2007-2009, dénonciation des effets sanitaires des pesticides sur la santé des travailleurs agricoles, etc. Nombreux sont les thèmes qui ont fait l'objet d'une mise en débat soutenue dans les arènes politiques, médiatiques et judiciaires.

Parallèlement à ce phénomène de publicisation, plusieurs travaux en sciences sociales se sont attachés à analyser la manière dont cette montée des préoccupations liées à la santé au travail retraduit et déplace des problématiques plus anciennes relatives aux conditions de travail.

Les dispositifs de surveillance

La montée en puissance de ces préoccupations s'est aussi traduite par la mise en place de nombreux dispositifs de surveillance des conditions de travail et de la santé des travailleurs. Ces dispositifs constituent des agencements socio-techniques qui se déploient de façon inédite dans un ensemble très large de situations de travail. Ils s'incarnent dans :

- La mise en œuvre d'enquêtes de grande ampleur portant sur les expositions aux risques professionnels (ex. enquête SUMER¹⁰²) ou sur leurs effets sur la santé (ex. programme Samotrace¹⁰³) ;
- La réalisation d'outils de surveillance dédiés à des facteurs de risques spécifiques (ex. nanomatériaux, pesticides, consommations d'alcools et de psychotropes, risques psychosociaux) ;
- La création ou le renforcement d'organisations scientifiques et administratives dédiées au recueil et au suivi de connaissances sur la santé des travailleurs et de leurs conditions de travail (ex. réseau RNV3P¹⁰⁴).

Or, la multiplication de ces dispositifs de surveillance des risques professionnels, et des acteurs qui les alimentent et les utilisent, la nature des interactions, ou d'absence de liens, entre ces systèmes de surveillance, a peu fait l'objet d'attention de la part des sciences sociales.

Le projet de recherche : SURUPI

L'objectif principal du projet consiste à étudier les dispositifs de surveillance des risques professionnels autour de **trois questions transversales**, étroitement liées :

- Les savoirs et techniques mobilisés par ces dispositifs de surveillance ;
- Le profil et le rôle des acteurs qui développent et mettent en œuvre ces dispositifs ;

¹⁰² Surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels (SUMER) : <http://dares.travail-emploi.gouv.fr/dares-etudes-et-statistiques/enquetes-de-a-a-z/article/surveillance-medicale-des-expositions-aux-risques-professionnels-sumer-edition-118967>

¹⁰³ Surveillance de la santé mentale au travail, programme de Santé publique France : <http://invs.santepubliquefrance.fr/Publications-et-outils/Rapports-et-syntheses/Travail-et-sante/2017/Surveillance-de-la-sante-mentale-au-travail-Le-programme-Samotrace>

¹⁰⁴ Réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles : <https://www.anses.fr/fr/content/r%C3%A9seau-national-de-vigilance-et-de-pr%C3%A9vention-des-pathologies-professionnelles-rnv3p>

- Les usages et les effets politiques de ces dispositifs et des données produites.

Pour aborder ces questions, nous avons choisi de travailler sur la surveillance de deux catégories de risques professionnels caractérisés par un important degré d'incertitude : les risques chimiques, d'une part, et les risques psychosociaux, de l'autre. Quoique très différentes (en raison de la nature de leurs effets, des types de situation de travail et de la population des travailleurs qui entrent en jeu), ces deux catégories de risques professionnels ont en commun une forme d'incertitude inhérente, qui rend difficile ou inopérante si ce n'est pour entretenir l'ignorance, l'imputation causale ou la prédiction statistique des états de santé qu'elles peuvent induire.



Illustration 28 : Pulvérisation agricole (Crédits : Fotolia)

L'enjeu du projet SURUPI est de caractériser les effets sociaux, politiques et juridiques de la montée en puissance de ces dispositifs de surveillance, à partir de l'analyse de leur développement et de leur fonctionnement.

Méthodologie

Plutôt que de limiter l'analyse à quelques dispositifs de surveillance particuliers, ce projet adopte un parti pris plus ambitieux qui consiste à analyser le fonctionnement de divers dispositifs de surveillance sur **cinq terrains d'enquête contrastés** : les risques chimiques et les risques psychosociaux en milieu agricole, en milieu bureaucratique (au sein d'une grande collectivité territoriale), les risques chimiques (notamment liés aux nanoparticules) dans les laboratoires de recherche, les risques psychosociaux chez les cadres d'une grande entreprise (dans le secteur bancaire) et le cas des addictions dans une grande entreprise de service aéroportuaire.

Le projet s'appuie également sur la situation californienne, qui sera mise en perspective avec les terrains français grâce à de courts séjours de recherche. Considéré comme le plus protecteur dans plusieurs domaines de la santé publique, cet Etat présente en effet l'intérêt d'avoir une histoire particulièrement longue d'institutionnalisation de la surveillance de certains risques professionnels comme ceux liés, par exemple, à l'exposition aux pesticides et au « *burn-out* ».

Afin d'enrichir la réflexion, un espace d'élaboration et d'échanges sur les pratiques a été constitué sous la forme de séminaires semestriels (six séances sont prévues, deux ont déjà eu lieu). Ce projet vise donc à construire une réflexion collective originale, qui se veut utile dans une perspective d'amélioration des dispositifs de surveillance des risques professionnels.

Abréviations utilisées

AAT, Asthme aggravé par le travail

ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise d'Énergie

Anses, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

AP, Asthme professionnel

AP-HP, Assistance Publique - Hôpitaux de Paris

BH, Brouillard d'huile

BPCO, Bronchopneumopathie chronique obstructive

BTP, Bâtiment-travaux publics

CAE, Condensat d'air exhalé

CAO, Conception assistée par ordinateur

Carsat, Caisse d'Assurance Retraite et de la Santé au Travail

Cetaf, Centre technique d'appui et de formation (des centres d'examens de santé)

CHI, Centre hospitalier intercommunal

CHU, Centre hospitalier universitaire

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer

CMR, Substances "cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques"

Cnam-TS, Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés

CNRS, Centre national de recherche scientifique

CO, Monoxyde de carbone

Constances, CONSULTANTS des Centres d'Examens de Santé (cohorte)

Cosali, Cohorte des Salariés Ligériens (région Pays de la Loire)

Cosmop, Cohorte pour la Surveillance de la Mortalité par Profession

COV, Composé organique volatil

Cramif, Caisse Régionale d'Assurance Maladie Ile de France

CSTB, Centre scientifique et Technique du Bâtiment

DADS, Déclaration annuelle des données sociales (Insee)

DAS, Débit d'absorption spécifique

DGS, Direction générale de la santé

DVA, Dalles de sol vinyle amiante

EA, Équipe d'accueil

EFR, Exploration fonctionnelle respiratoire

EHESP, École des hautes études en santé publique

EHPAD, Établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes

FAS, Foyer d'accueil spécialisé

FCA, Fibres courtes d'amiante (longueur L inférieure à 5 microns)

FRg, Fibres dites "réglementaires" (de plus de 5 microns de longueur)

GOHNET, De l'anglais, « *The Global Occupational health Network* » (le réseau mondial pour la santé au travail)

HAP, Hydrocarbures aromatiques polycycliques

HF, Haute fréquence

HFSS, De l'anglais, "*High Frequency Structure Simulator*" (simulation des champs électromagnétiques Haute fréquence)

IAS, Infections associées aux soins

IMEP, Institut de la Microélectronique, Electromagnétisme et Photonique

INCa, Institut national du cancer

INRS, Institut national de recherche et de sécurité

INSEE, Institut national de la statistique et des études économiques

Inserm, Institut national de la santé et de la recherche médicale

ISE, De l'anglais, « *Irrelevant Speech Effect* »

LAFP, Laboratoire Amiante Fibres et Particules (ex-LEPI)

LERES, Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé (EHESP)

LSTE, Laboratoire Santé Travail Environnement (Université Victor Segalen, Bordeaux 2)

MAS, Maison d'accueil spécialisée

MB2PROF, Marqueurs biologiques des bronchopneumopathies chroniques obstructives professionnelles (projet de recherche financé par le PNR EST)

MEE, Matrice emploi exposition

META, Microscopie Électronique à Transmission Analytique

NDELA, N-nitrosodiéthanolamine

NFS, Numération de formule sanguine

NO, Monoxyde d'azote

NOe, Monoxyde d'azote exhalé

NK, De l'anglais « Natural Killer »

NP, Nanoparticule

NSC, Noyau suprachiasmatique

OIT, Organisation Internationale du Travail

OMS, Organisation mondiale de la Santé

ONAP, Observatoire National des Asthmes Professionnels

PCQ, De l'anglais "*Psychological Consequence Questionnaire*"

PCR, De l'anglais "*polymerase chain reaction*" (Amplification en chaîne par polymérase ou réaction en chaîne par polymérase)

PM, De l'anglais, "*Particulate Matter*". Particule en suspension, ex. PM10 (diamètre est inférieur à 10 micromètres)

PN, Particule nanométrique

PNM, Particule nanométrique manufacturée

PNNI, Particule nanométrique non intentionnelle

PNR EST, Programme national de recherche en Environnement-Santé-Travail

PNSE, Plan National Santé Environnement

PST, Plan santé au travail

PUF, Particule ultrafine

RF, Radiofréquence

RFID, De l'anglais "*radio frequency identification*" (radio-identification)

RG, Régime général

RNV3P, Réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles

ROS, De l'anglais "*reactive oxygen species*" (espèces réactives de l'oxygène ou dérivés réactifs de l'oxygène)

SMS, Symptômes musculo-squelettiques

SPSE, Service Parisien de santé Environnementale

STI, De l'anglais "*Speech Transmission Index*"

SUMER, Surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels (enquête nationale)

SUVA, Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents

SYRTA, Syndicat du retrait et du traitement de l'amiante

TMS, Troubles musculo-squelettiques

UMR, Unité mixte de recherche

VA, Valeur déclenchant l'action

VEM, De l'anglais "*Video Exposure Monitoring*"

VEMS, Volume Expiratoire Maximal par Seconde

VLE, Valeur limite d'exposition

Table des illustrations

Illustration 1 : Les facteurs de risques professionnels, quelques exemples (Crédits : Fotolia).....	5
Illustration 2 : Les fluides de coupe (Anses Éditions, janvier 2012)	7
Illustration 3 : Effets sanitaires et identification des fragments de clivage d’amphiboles issus des matériaux de carrière (Anses Éditions, décembre 2015)	7
Illustration 4 : Extrait de synchronisation de vidéo et mesures en temps réel.....	9
Illustration 5 : Les produits d’entretien sous forme de sprays (Crédits : iStock)	11
Illustration 6 : Application COBANET	12
Illustration 7 : Presse haute fréquence utilisée pour les mesures	13
Illustration 8 : Champ magnétique mesuré.....	13
Illustration 9 : Modèle numérique de la presse simulé avec HFSS	14
Illustration 10 : Zone d’usinage d’une pièce de grande taille avec machine à commande numérique utilisant des fluides de coupe (Auteur : Gaël Kerbaol, INRS)	17
Illustration 11 : Dalle de sol vinyle amiante (Crédit : LAFP)	19
Illustration 12 : L’exposition du personnel soignant (Crédits : Getty Images)	22
Illustration 13 : Exploration fonctionnelle respiratoire (Crédits : iStock)	24
Illustration 14 : Expositions professionnelles à des gaz, poussières, vapeurs et fumées (Crédits : Getty Images)	25
Illustration 15 : L’exposition aux particules et nanoparticules (Crédits : Getty Images / Fotolia)	26
Illustration 16 : Instrument de mesure développé dans le cadre du projet OxAirDirect.....	28
Illustration 17 : Système photonique, version 1 (mode d’amplification interne basé sur l’utilisation de microbilles nanoporeuses)	29
Illustration 18 : Système photonique, version 2	29
Illustration 19 : Exposition professionnelle dans le secteur du BTP (Crédits : Fotolia).....	31
Illustration 20 : Fret aérien (Crédits : Fotolia)	34
Illustration 21 : Asthme et exposition professionnelle (Crédits : Fotolia).....	37
Illustration 22 : rnv3p, méthodes de détection et d’expertise des suspicions de nouvelles pathologies professionnelles (Anses Éditions, avril 2014)	38
Illustration 23 : Évaluation des risques sanitaires liés au travail de nuit (Anses Éditions, juin 2016)...	38
Illustration 24 : Les effets du travail de nuit sur le rythme circadien et le sommeil (Crédits : iStock)..	40
Illustration 25 : Situation de cumul ou « Job strain » (Crédits : iStock)	43
Illustration 26 : La prévention des TMS, facteurs biomécaniques (Crédits : Getty Images)	44
Illustration 27 : La fièvre Q, une maladie qui peut toucher l’Homme et les animaux (Crédits : Anses, Sophia-Antipolis)	46
Illustration 28 : Pulvérisation agricole (Crédits : Fotolia)	49

Mentions légales

Ce numéro des *Cahiers de la Recherche* a été réalisé par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) dans le cadre de l'animation et de la valorisation du Programme National de Recherche en Environnement-Santé-Travail (PNR EST).

Ont contribué à ce numéro

Pascal Andujar, CHI Créteil, **François Beaudeau**, UMR Oniris-Inra BIOEPAR, Nantes - **Claudine Berr**, Inserm U1061, Montpellier - **Arnaud Florentin**, Univ. de Lorraine, Vandoeuvre-lès-Nancy - **Pascal Guénel**, Inserm U1018 - **Jean-Noël Jouzel**, CSO, UMR 7116, Paris - **Laurent Martinon**, Ville de Paris - **Nicole Le Moual**, VIMA-Inserm U-MRS 1168, Villejuif - **Nicolas Molinari**, Univ. de Montpellier - **Rachel Nadif**, Inserm UMR-S 1168 VIMA - **Isabelle Niedhammer**, Inserm U1085, Angers - **Christophe Paris**, CHU Rennes - **Jérôme Pelisse**, CSO, UMR 7116, Paris - **Marie Pouquet**, UMR Oniris-Inra BIOEPAR, Nantes - **Riccardo Scorretti**, École centrale de Lyon, UMR 5005 - **Pascal Wild**, INRS, Vandoeuvre-lès-Nancy -

Remerciements

Nous remercions l'ensemble des contributeurs, et plus particulièrement Henri Bastos, Lydie Beuzeval (ADEME), Agnès Brion, Paulina Cervantès, Dominique Colin, Fabrice Coutureau-Vicaire, Armelle Degeorges, Hélène Desqueyroux (ADEME), Christine Druesne, Laëtitia Dubois, Aude Guérin, Sophie Guitton, Gaël Kerbaol (INRS), Delphine Lascar, Gérard Lasfargues, Louis Laurent, Ivan Le Gallo, Céline Leterq, Alima Marie, Olivier Merckel, Aurélie Pajon, Nathalie Thieriet, Anne Tilloy

Directeur de la publication :

Roger GENET (Directeur général, Anses)

Conception et réalisation :

Nathalie RUAUX (Direction financement Recherche et Veille, Anses)

Suivez l'actualité de l'Agence sur les réseaux sociaux



[@Anses_fr](https://twitter.com/Anses_fr)



<https://www.linkedin.com/company/french-agency-for-food-environmental-and-occupational-health-&-safety-anses->

Archives ouvertes

HAL-Anses est la plateforme d'auto-archivage permettant le dépôt et la consultation de l'ensemble de la production scientifique des chercheurs et des évaluateurs scientifiques de l'Anses (hors avis).

Découvrez la collection des *Cahiers de la Recherche* sur la plateforme d'archive ouverte HAL-Anses !

The screenshot displays the HAL-Anses website interface. At the top, there is a navigation bar with 'CCSD', 'HAL', and links to 'Epubsconf.org' and 'Sciencesconf.org'. The main header features the 'LES CAHIERS DE LA RECHERCHE' logo and the subtitle 'Santé, Environnement, Travail'. Below the header, there are navigation tabs for 'Page d'accueil', 'Consultation', 'Recherche', and 'Site internet'. The main content area is divided into several sections:

- ACTUALITÉS:** A section titled 'RÉSISTANCES ET MÉTHODES ALTERNATIVES (28/12/17)' with a text block describing the latest issue of the journal, focusing on resistance and alternative methods.
- RECHERCHE:** A search bar with the placeholder text 'Termes de recherche' and a search icon.
- MOTS CLÉS:** A list of keywords including 'Ultraviolet', 'Particule atmosphérique', 'Biocide', 'Cohorte', 'Phtalate', 'Cerveau', 'Gène', 'Pesticide', 'Exposition', 'Radon', 'Cancer', 'Pollution', 'atmosphérique', 'Persistance', 'Moustique', 'Cellule', 'Agriculture', 'Deltaméthrine', 'Femme', 'Général', 'Obésité', 'Campylobacter', 'Produit chimique', 'Contamination', 'Automobile', 'Chikungunya', 'Environnement', 'Allergie', 'Alimentation', 'Médicament antibiotique', 'Combustion', 'Microorganisme', 'Résistance', 'Élevage', 'Champ électromagnétique', 'Toxicologie', 'Toxicité', 'Facteur risque', 'Poussière', 'Moisture', 'Animaux', 'Modélisation', 'Insecticide', 'Dioxyde de titane', 'Cite d'Or', 'Exposition multiple', 'Antibiorésistance', 'Barrière', 'Adjuvant', 'Absorption', 'Sol', 'Translocation', 'Leucémie', 'Surin', 'Asthme', 'Station épuration', 'Silice', 'Nanotechnologies', 'Nouve station', 'Épuration', 'Biphénol A', 'Modèle', 'Métabolisme', 'Poumon', 'Dioxine', 'Tumeur', 'Stress', 'Bronchite', 'Mycotoxine', 'Lymphome', 'Eau usée', 'Ammoniac', 'Lombalgie', 'Inhalation', 'Bruit', 'Bronchopneumopathie obstructive', 'Exposition professionnelle', 'Rhinite', 'Asbest', 'Alimentaire', 'Stress oxydant', 'Dose faible', 'Polychlorobiphényles', 'Trafic', 'Formaldéhyde', 'Adénocarcinome', 'Nanoparticule', 'Escherichia coli', 'Enquête cas témoin', 'Trouble musculosquelettique', 'Agrégation', 'Bactérie', 'Carcinome', 'PCB', 'Radiofréquence', 'Perturbateur endocrinien', 'Dissémination', 'Prévention', 'Biomarqueur', 'Génotoxicité', 'Enfant', 'Appareil respiratoire'.

At the bottom of the screenshot, there is a stack of 'Cahiers de la Recherche' journals and a URL: <https://hal-anses.archives-ouvertes.fr/CAHIERS DE LA RECHERCHE>

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





Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
14 rue Pierre et Marie Curie
94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr  @Anses_fr