

La recherche en santé travail

Présentation des résultats de projets de recherche
dans le domaine de la santé au travail

Rencontres scientifiques

Dossier du participant

24
octobre 2018

Maison de la RATP
Espace du Centenaire
189, rue de Bercy - 75012 Paris

Éditorial

Enjeu pour la prévention et la prise en charge des pathologies, le maintien dans l'emploi ou la performance économique et sociale des entreprises, la santé au travail est au centre de nombreuses questions scientifiques.

Pour analyser les déterminants qu'ils soient chimiques, biologiques, physiques ou organisationnels et sociaux, repérer les populations vulnérables, déterminer les conditions d'exposition et les mécanismes de toxicité ou pathologiques, l'ensemble des disciplines scientifiques sont nécessaires : sciences biologiques et médicales, physiques et chimiques, de l'ingénierie et des systèmes, humaines et sociales.

De la mise en évidence des mécanismes fondamentaux, à l'évaluation du risque, chacune de nos institutions contribue à la production de données et de connaissances pour une meilleure prise en compte du lien entre santé et travail. L'organisation conjointe de ces Rencontres scientifiques s'inscrit dans la nécessaire continuité entre la recherche fondamentale et l'expertise.

En matière de santé au travail, la mission première de l'Anses est de fournir aux autorités l'information nécessaire à la prise de décision concernant la prévention des risques professionnels et d'appuyer les principales politiques publiques en la matière. L'agence élabore notamment des valeurs de référence pour protéger les travailleurs et se mobilise fortement pour accompagner et mettre en œuvre le troisième Plan Santé Travail (PST3). Pour une veille efficace, en particulier sur les risques émergents, l'agence s'appuie sur le réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles (rnp3p). Enfin, comme le montreront ces Rencontres scientifiques, depuis 2006, à travers le pilotage du Programme national de recherche environnement santé travail (PNR-EST), l'Anses contribue à soutenir la recherche en Santé travail en amont de l'évaluation des risques, sur les dangers et les expositions, avec le soutien financier des ministères en charge du travail et de l'environnement. Ceci permet à l'agence de disposer de résultats et d'animer une communauté de recherche faite de spécialistes, qui sont mobilisables pour les activités d'expertise.

Dès 2005, l'ANR, quant à elle, s'est engagée dans le soutien à la recherche dans ce domaine à travers un programme dédié, inscrit dans le volet recherche du PNSE¹ et du PST¹. Depuis 2007, des projets ont été financés dans différents appels à projets et instruments. Ils abordent les expositions et leurs effets sur le système respiratoire, immunitaire, endocrinien, nerveux ou reproducteur. Des pathologies plus spécifiques sont aussi explorées telles que le vieillissement prématuré, les perturbations du rythme circadien, les atteintes musculo-squelettiques, les effets chroniques du stress. L'analyse des conditions de reconnaissance d'une maladie professionnelle, des transformations du travail et du marché de l'emploi, du cadre juridique et normatif contribuent à décrire les pénibilités, les vulnérabilités et les modes de prise en charge. Ce secteur suscite aussi des innovations technologiques ou organisationnelles qui contribuent à réduire les expositions.

A travers leurs missions respectives, l'Anses et l'ANR partagent la même ambition de soutenir l'excellence scientifique et la recherche, en appui à l'évaluation des risques sanitaires dans l'environnement professionnel. Si des progrès indéniables ont été accomplis en matière de santé au travail ces dernières années, la recherche scientifique reste indispensable pour développer les connaissances des dangers, des risques et des expositions en milieu professionnel. Ces Rencontres sont l'occasion de présenter aux différentes communautés scientifiques et aux parties-prenantes, les résultats des projets financés. Il s'agit bien de contribuer à l'amélioration de la sécurité et de la prévention afin que le travail soit au service du développement humain et social, et condition de l'innovation.

Roger Genet
Directeur général de l'Anses

Thierry Damerval
Président-directeur général de l'ANR

Session 1 – Dimensions sociales et organisationnelles de la santé au travail

Bronchopneumopathie chronique obstructive et impact socio-professionnel

*Lise Monneraud¹, Bénédicte Clin-Godard², Jean-Charles Dalphin³, Patrick Brochard⁴, Antoine Gislard⁵, Nadège Lepage⁶, Christophe Paris⁷, Isabelle Thaon⁷, Elise Sergent⁸, Ari Chaouat⁷, Chantal Rahérison⁴, Hervé Normand², Amèle Mouadil², Jean Quieffin⁵, Philippe Hubscher⁵, Arnaud Scherperreel⁶, Bernard Maitre⁹, Sylvie Bastuji⁹, Florence Canoui-Poitrine⁹, Bernard Chérubini², Jorge Boczkowski^{9,11}, Bruno Housset^{8,10,11}, Jean-Claude Pairon^{8,10,11}, **Pascal Andujar^{8,10,11}***

¹Université de Bordeaux UMR 1219, Inserm, Institut de santé publique d'épidémiologie et de développement, Bordeaux, ²CHU de Caen, Caen, ³CHU de Besançon, Besançon, ⁴CHU de Bordeaux, Bordeaux, ⁵CHU Le Havre, Le Havre, ⁶CHRU de Lille, Lille, ⁷Inserm U1085, université de Rennes 1, université d'Angers, EHESP, ⁸CHI de Créteil, Créteil, ⁹AP-HP CHU Mondor, Créteil, ¹⁰Université Paris-Est Créteil, équipe Physiologie de la BPCO et autres conséquences de l'inhalation de particules de l'environnement, Créteil, ¹¹Université Paris-Est, Créteil

Biographie

Pascal Andujar est professeur des universités et praticien hospitalier en médecine et santé au travail à l'Université de Paris-Est Créteil et dans le service de pathologies professionnelles et de l'environnement du Centre hospitalier intercommunal de Créteil. Il effectue ses travaux de recherche sur la bronchopneumopathie chronique obstructive d'origine professionnelle dans l'équipe 4 de l'Unité Inserm U955 à la Faculté de médecine de Créteil.

Résumé

La bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) est une pathologie respiratoire très fréquente d'installation insidieuse et largement sous-diagnostiquée, avec un diagnostic le plus souvent tardif et l'apparition d'un handicap progressif. D'où, la nécessité d'une recherche sociologique visant à évaluer l'impact socio-professionnel de la BPCO (professionnelle et non professionnelle) chez ces patients et de proposer des outils utiles d'évaluation de la pénibilité, thématique d'actualité, pour aider le médecin du travail (en cas de maintien dans l'emploi) ou les partenaires sociaux et les pouvoirs publics dans la définition de cas justifiant d'être ajoutés à ceux bénéficiant d'une retraite anticipée.

Patients et méthodes

L'objectif est d'analyser l'impact socio-professionnel des BPCO professionnelles et la pénibilité en deux étapes utilisant deux approches complémentaires de l'impact socio-professionnel de la BPCO professionnelle sur la carrière professionnelle :

- **approche qualitative sociologique avec une analyse compréhensive individuelle** par des entretiens sur une fraction de cas de BPCO représentatifs de la cohorte BPROFETIO.
- **approche quantitative avec une étude cas-témoins** analysant les changements de poste de travail exposant ou non à des aérocontaminants, les reclassements professionnels, les mises en invalidité, les départs en retraite précoce et les licenciements/chômage, à partir des cas de BPCO de la cohorte française multicentrique BPROFETIO et en recrutant parallèlement des sujets témoins.

Discussion

L'approche qualitative se fonde sur un matériau discursif recueilli au cours d'entretiens semi-directifs avec des patients atteints de BPCO et suivis dans le cadre hospitalier. L'échantillon se compose de 69 entretiens avec des patients recrutés au CHU de Bordeaux (n=34) et au CHI Créteil (n=35). Les sujets ont été interrogés sur la base du volontariat, donc sans sélection a priori. Les données de terrain ont été analysées au regard d'une revue de littérature portant sur deux domaines de recherche complémentaires que sont la santé au travail et la sociologie de la maladie. Cette approche permet un approfondissement des connaissances s'agissant de l'impact psychosocial de la BPCO et plus largement de la maladie chronique : il s'agit de mesurer les conséquences de la maladie, selon une approche phénoménologique, d'une part sur la construction identitaire de l'individu et sa trajectoire de vie (construction de soi, estime de soi, dépression éventuellement associée) et, d'autre part, sur le déroulement et l'ajustement de sa carrière professionnelle. Ceci passe par l'élaboration de conclusions détaillées sur la manière dont la population atteinte vit avec et « fait avec » la maladie chronique.

L'approche quantitative cas-témoins, quant à elle, permet de mieux évaluer l'impact socio-professionnel de la BPCO en fin de carrière professionnelle par rapport aux sujets témoins, en termes d'inactivité professionnelle significativement plus importante du point de vue statistique, avec, à l'âge de 58 ans, des taux de chômage, d'invalidité et d'arrêts en maladie prolongés plus importants chez les sujets BPCO par rapport aux sujets témoins, et à l'âge de 60 ans, un taux de retraite plus important chez les sujets BPCO par rapport aux sujets témoins. De façon globale, les sujets BPCO ont également une carrière professionnelle plus courte que les sujets témoins.

Publications issues de ce programme

- Monneraud L, Brochard P, Raheison C, Housset B, **Andujar P**. Expérience de maladie chronique et vie professionnelle : les ajustements professionnels des travailleurs atteints de BPCO. **Sci Soc Sante** 2016;34:39-63.

- Monneraud L, Brochard P, Raheison C, Housset B, **Andujar P**. Comment fait-on avec la BPCO ? Positionnements identitaires, normalisation et stratégies d'invisibilisation de la maladie chronique. **Anthropologie et Santé** 2017, n°14 (<http://journals.openedition.org/anthropologiesante/2588>).

Projet sélectionné dans le cadre de l'APR 2012 du PNR-EST.

L'histoire des maladies industrielles entre invisibilité et scandale, mobilisation et procès : silicose et maladies de l'amiante en France et au Japon

Bernard Thomann

Professeur à l'Institut national des langues et civilisations orientales, Centres d'études japonaises, (EA 1441) et membre d'Esopp (Ehess), Paris

Biographie

Bernard Thomann est historien, professeur à l'INALCO, chercheur invité à l'Université de Tokyo (2002/2005) et professeur invité à la Tokyo University for Foreign Studies (septembre 2017-février 2018). Ses recherches portent sur l'histoire de la santé et des politiques sociales dans le Japon moderne et contemporain, l'histoire du travail, des maladies professionnelles et l'histoire sociale et sanitaire de l'industrie minière. Son dernier livre est « La naissance de l'Etat social japonais : Biopolitique, travail et citoyenneté dans le Japon impérial (1868-1945) » (Presses de SciencePo, 2015).

Résumé

La question de la relative invisibilité des maladies professionnelles est un enjeu de santé publique de premier plan, comme le scandale de l'amiante l'illustre de façon particulièrement tragique. Le projet SMAFJ a permis de mener une réflexion de vaste ampleur sur les causes de l'invisibilité des maladies professionnelles en s'attachant à deux maladies, la silicose et les maladies de l'amiante qui furent les deux grandes tueuses au vingtième siècle et qui le restent aujourd'hui encore, en particulier dans les pays émergents. Le choix de ces deux maladies repose sur leur différence. La silicose est avant tout une maladie professionnelle alors que les maladies de l'amiante ne se limitent pas seulement aux expositions sur le lieu de travail, mais concerne également des expositions hors travail, dites environnementales. Ces dernières sont d'ailleurs souvent à l'origine d'une prise de conscience plus forte et de la transformation d'un problème technique, jusque-là réservé aux experts de santé au travail, en une véritable affaire nationale hautement médiatisée, autour de 1994-96 dans le cas de la France, très exactement dix ans plus tard au Japon. La notion de maladies industrielles nous a servi à articuler cette relation entre expositions sur le lieu de travail et victimes environnementales sur un continuum qui a largement contribué à sortir la maladie professionnelle du domaine restreint de l'expertise professionnelle pour devenir un objet de débat public.

Une analyse historique sur la difficulté que rencontra la silicose pour être d'abord reconnue comme maladie professionnelle, puis pour être appréhendée dans sa véritable ampleur, nous a permis de vérifier l'hypothèse que, par de nombreux aspects, le traitement institutionnel de la silicose a constitué la matrice de celui qui a été ensuite appliqué à l'autre grande forme de pneumoconiose qu'est l'asbestose. Une approche sociologique a permis d'éclairer, d'une part, la situation spécifique en France et au Japon de la silicose et des maladies de l'amiante au sein des systèmes de reconnaissance en maladies professionnelles, et d'autre part, les diverses difficultés que les victimes ont rencontrées lorsqu'elles ont tenté des recours à ces dispositifs institutionnels. Les recherches ont largement fait appel à la sociologie des mobilisations et des mouvements sociaux pour mettre en lumière, d'une part, l'attitude ambiguë des syndicats face à ces questions de santé au travail et, d'autre part, les formes de mobilisation qui ont réussi à parvenir à surmonter les barrières cognitives entretenant l'invisibilité. L'approche conjointe des historiens et sociologues a permis d'étudier la genèse et le déroulement des grands procès sur la silicose et l'amiante.

Projet financé par l'ANR.

Parcours, santé, compétences : nouvel enjeu pour les entreprises

Catherine Delgoulet, maître de conférences-HDR¹, Cathy Toupin, maître de conférences², Corinne Gaudart, directrice de recherche³, Philippe Cabon, maître de conférences-HDR¹, Lucie Cuvelier, maître de conférences³, Céline Mardon, ingénieure de recherche⁴, Anne-Françoise Molinie, ingénieure de recherche⁴, Lucie Reboul, doctorante³, Serge Volkoff, chercheur invité⁴

¹LATI Université Paris Descartes, Paris, ²PARAGRAPH Université Paris 8, Saint-Denis, ³LISE CNRS et Cnam, Paris, ⁴CEET-CRTD Cnam Paris

Biographie

Catherine Delgoulet est ergonomiste, maître de conférences à l'Université Paris Descartes et habilitée à diriger des recherches depuis 2015. Elle mène ses recherches au LATI (Laboratoire travail adaptations individu) sur le vieillissement au travail ou en formation et sur la conception de dispositifs de production/services et d'apprentissage. Ses travaux s'inscrivent dans le programme scientifique du GIS-CREAPT. Elle est membre du Conseil scientifique du GIS-EVREST.

Résumé

Le thème de l'apparition de problèmes de santé et du maintien en emploi devient plus prégnant dans un contexte de vieillissement de la population et d'accélération des changements organisationnels. Au-delà des dimensions visibles que sont les restrictions d'aptitude, les aménagements de postes, les inaptitudes, etc., le projet FragiTrav, en s'inscrivant dans les préoccupations d'entreprises françaises, s'attache à la prise en compte de phénomènes plus « invisibles » qui se jouent au plus près des situations de travail et en marge des dispositifs institutionnels de santé. Il défend une approche conditionnelle et évolutive des liens santé-travail (Volkoff & Molinié, 2011) et vise à éclairer non pas des fragilités individuelles, mais des processus de fragilisation selon trois voies (Delgoulet *et al.*, 2014) : les fragilisations (1) « par » le travail, (2) « par rapport » au travail, (3) « dans » le travail.

Méthodes

Le dispositif d'étude s'est appuyé sur une méthodologie participative, en collaboration avec quatre entreprises des secteurs de l'industrie, des services et du transport, selon une double démarche : (1) des études de terrain, menées en collaboration avec des acteurs de la santé des sites ; (2) des ateliers coopératifs thématiques réunissant l'équipe de recherche et des représentants des entreprises.

Des outils d'analyse quantitatifs (bases des données des entreprises) et qualitatifs (enquêtes de terrain, analyses ergonomiques de l'activité) ont été mobilisés afin de produire des connaissances sur les processus de fragilisation, et de soutenir des politiques de prévention durables.

Résultats

Les critères actuels d'évolution (e.g. une mobilité « ascendante ») des parcours professionnels masquent les dimensions de santé. Ils entrent en concurrence avec les critères de santé lorsque ces derniers sont institutionnalisés (AT, MP, restrictions médicales...) et perçus comme des obstacles organisationnels (Molinié & Gaudart, à paraître). L'activité de l'encadrement intermédiaire est centrale pour la construction de la santé. Sous certaines conditions organisationnelles et collectives, elle poursuit des finalités à long terme (de parcours en santé et compétences) et s'appuie sur l'expérience des encadrants eux-mêmes (Reboul *et al.*, 2017 a et b). Une typologie d'usage des indicateurs de santé est établie selon quatre fonctions : alerte, affinement, modération, veille (CR Atelier Coopératif, 2017).

La fragilisation n'est pas un état et ne relève pas des caractéristiques individuelles ou d'une catégorie de travailleurs spécifique : c'est un processus aux multiples temporalités, qui s'accordent plus ou moins entre elles, et dont la mise en cohérence échoit à chacun dans son activité, que ce soit du point de vue de la dimension individuelle ou collective (De Coninck, 2001). L'étude des processus de fragilisation revient ainsi à s'interroger sur les conditions qui soutiennent des parcours en santé et permettent le développement des compétences (Molinié, Gaudart & Pueyo, 2012). La défense dans l'entreprise d'une conception plurielle de la santé décloisonne les périmètres des acteurs de la production, RH et de la santé au travail. Elle ouvre à de nouvelles modalités de transformations du travail.

Conclusion

Ce projet a ainsi permis de 1) fournir des repères pour penser les processus de fragilisation, leur apparition et leur évitement, en termes diachroniques et collectifs, là où les dispositifs répondent aujourd'hui à des enjeux immédiats au cas par cas ; 2) participer à l'amélioration des dispositifs de prise en charge en exploitant des données en santé au travail que possède chaque entreprise et en identifiant les bénéfices des régulations « invisibles », pour la santé des salariés et la performance économique des systèmes socio-techniques ; 3) créer un espace - élaboration de nouvelles pratiques avec des entreprises connaissant des transformations et des problèmes similaires. Plus largement les conclusions de ce projet pourront contribuer aux débats publics sur le développement des compétences au long de la vie, la flexibilisation des parcours et la prise en compte des pénibilités (Volkoff & Delgoulet, à paraître).

Références

- Delgoulet, C., Volkoff, S., Caron, L., Caser, F., Jolivet, A., & Théry, L. (2014). Conditions de travail et maintien en emploi des seniors : les enjeux d'un décloisonnement des approches et des expérimentations. Quelques enseignements issus de monographies d'entreprises françaises. *Relations Industrielles/Industrial Relations*, 69(4), 687-708.

- Volkoff, S., & Delgoulet, C. (à paraître). L'intensification du travail, et l'intensification des changements dans le travail : quels enjeux pour les travailleurs expérimentés ? *Psychologie du Travail et des Organisations*.

Projet financé par l'ANR.

Apport de l'ergonomie dans les représentations partagées entre médecins et préventeurs dans le processus de retour au travail après maladies chroniques

Audrey Petit^{1,2}, Mohzen Zare^{1,3}, Vincent Guene^{1,4}, Yves Roquelaure^{1,2}

¹Inserm U1085, Université d'Angers, Université de Rennes, EHESP, Institut de recherche en santé, environnement et travail, équipe Epidémiologie en santé au travail et ergonomie (ESTER), Angers, ²Centre de consultation de pathologie professionnelle du CHU d'Angers, Angers, ³Université de Bourgogne Franche-Comté EA4661, Université de technologie de Belfort-Montbéliard, Laboratoire édition, littératures, langages, informatique, arts, didactique, discours (ELLIADD), Montbéliard, ⁴Centre de médecine physique et réadaptation fonctionnelle de l'Arche, Saint Saturnin

Biographie

Audrey Petit est professeur des universités et praticien hospitalier, responsable médical du Centre de ressource pour les maladies professionnelles et le maintien en emploi du CHU d'Angers. Elle coordonne un réseau de prise en charge rééducative et de maintien en emploi à destination des travailleurs lombalgiques chroniques : réseau régional Lombaction sur les Pays de la Loire. Elle réalise ses activités de recherche au sein de l'Équipe Inserm d'Epidémiologie en santé au travail et ergonomie (ESTER, Université d'Angers), rattachée à l'Institut de recherche santé, environnement & travail (Irset, Rennes I).

Résumé

La transition entre le milieu de soins et le milieu de travail après des arrêts de travail répétés ou prolongés représente la phase critique du processus de retour au travail, à l'origine de nombreux échecs. Il s'agit d'une problématique multifactorielle, intimement liée à l'interaction entre les différents intervenants, du milieu de soins et du milieu de travail, impliqués dans le processus de retour au travail.

L'objectif de ce projet a été la formalisation d'un outil de partage des informations sur la situation médicale et de travail afin d'établir une représentation partagée de la situation du patient-travailleur entre les différents intervenants impliqués dans le processus de retour au travail et faciliter ainsi leurs interactions.

Matériels et méthodes

Une méthode modulaire d'Analyse du travail et des obstacles au retour au travail (ATORT) a été développée. Elle repose sur un logiciel permettant le remplissage d'auto-questionnaires validés par le patient-travailleur afin de fournir une synthèse d'informations concernant 1) les données de santé : niveau d'incapacité fonctionnelle perçue, retentissement de la douleur sur les différentes sphères de la vie, y compris professionnelle, qualité de vie, peurs et croyances vis-à-vis de la maladie ; 2) les données sur les conditions de réalisation du travail : organisation générale du travail, contraintes biomécaniques, psychosociales et organisationnelles, marges de manœuvre existantes ou envisageables et obstacles au retour au travail.

Résultats

Cet outil permet de comparer les données cliniques et fonctionnelles d'un patient aux valeurs seuils des questionnaires lorsqu'elles existent (code tricolore) ou à lui-même dans le cadre du suivi, mais également de comparer les données de la situation de travail à une population de travailleurs de même profil (âge, sexe, secteur d'activité, profession).

Les résultats sont présentés sous la forme d'une fiche de synthèse facilement et rapidement compréhensible par les différents acteurs impliqués dans le processus de retour au travail (du milieu de soins et du milieu de travail). Cet outil semble acceptable et pertinent pour les professionnels concernés.

La comparaison des résultats relatifs à la situation de travail d'un patient-travailleur donné par rapport à une population de référence et de même profil favorise les évaluations croisées entre les patients-travailleurs et les professionnels en charge de l'analyse du travail et du maintien en emploi.

Conclusion

Les résultats de la méthode ATORT permettent une représentation partagée de la situation de travail et favorisent les échanges entre les acteurs du maintien en emploi dans le cadre d'une démarche ergonomique participative. Cette méthode devrait permettre de faciliter la collaboration interdisciplinaire entre les acteurs du champ médico-social et les acteurs de l'entreprise grâce à un support commun.

Références

- Zare M, Bodin J, Cercier E, Brunet R, Roquelaure Y. Evaluation of ergonomic approach and musculoskeletal disorders in two different organizations in a truck assembly plant. *Int J Ind Ergon.* 2015; 50:34-42.
- Zare M, Malinge-Oudenot A, Höglund R, Biau S, Roquelaure Y. Evaluation of ergonomic physical risk factors in a truck manufacturing plant: case study in SCANIA Production Angers. *Ind Health.* 2016; 54(2):163-76.
- Petit A, Mairiaux P, Desarmenien A, Meyer JP, Roquelaure Y. French good practice guidelines for management of the risk of low back pain among workers exposed to manual material handling: Hierarchical strategy of risk assessment of work situations. *Work.* 2016 Feb 15; 53 (4):845-50.
- Roquelaure Y. Promoting a Shared Representation of Workers' Activities to Improve Integrated Prevention of Work-Related Musculoskeletal Disorders. *Saf. Health Work.* 2016 Jun; 7 (2):171-4.
- Michel C, Guèné V, Michon E, Roquelaure Y, Petit A. Return to work after rehabilitation in chronic low back pain patients. Does the interprofessional collaboration work? *J. Interprof. Care.* 2018 Jul;32(4):521-524.

Projet sélectionné dans le cadre de l'APR 2012 du PNR-EST.

La santé au travail au prisme de l'émergence d'un nouveau modèle de droit du travail

Patrice Adam, professeur de droit privé¹, Alexia Gardin, professeure de droit privé², Frédéric Géa, professeur de droit privé¹, Lola Isidro, maître de conférences¹, Barbara Palli, maître de conférences²

¹Institut François Gény, Université de Lorraine, Nancy, ²Institut François Gény, Université de Lorraine, Metz

Biographie

Frédéric Géa est professeur de droit privé à l'Université de Lorraine, où il dirige depuis 2014 le laboratoire de recherche en droit privé, l'Institut François Gény (EA 7301). Ses travaux de recherche portent sur le droit du travail et la théorie du droit. Directeur de la mention de master Droit social, il est membre du comité scientifique de la revue Droit social, du comité éditorial de la Revue de Droit du Travail, du comité scientifique de la Revue Interdisciplinaire d'Etudes Juridiques, ainsi que du Bureau de l'Association Française de Droit du Travail. Il assure la responsabilité scientifique du projet ANR sur l'avenir du droit du travail.

Introduction

Notre droit du travail connaît, depuis quelques années, des transformations profondes. C'est une nouvelle idée – un nouveau modèle – qui émerge, à la faveur d'une double influence : celle d'un modèle néolibéral, d'un côté, celle d'un modèle néolaboriste, d'un autre côté. S'il se constitue à la faveur d'une tension entre ces orientations antagonistes, ce nouveau modèle ne se place pas moins sous l'étendard du dialogue social. Comment s'y trouve appréhendée la santé au travail ? Comment se traduisent ici les injonctions prônant la recherche d'une meilleure efficacité et d'une plus grande adaptation (et/ou adaptabilité) du droit du travail ?

Matériels et méthodes

L'approche qui a été privilégiée consiste à décrypter, au travers des évolutions récentes de notre droit du travail français, les changements de conception qui semblent affecter le domaine de la santé au travail. La loi El Khomri du 8 août 2016 et la réforme initiée par les ordonnances Macron du 22 septembre 2017 constituent, de ce point de vue, un terrain privilégié de réflexion, même si les infléchissements qui peuvent être décelés en jurisprudence méritent aussi considération. La manière dont a été réformé le droit de l'inaptitude médicale ainsi que la fusion des instances représentatives du personnel – à la lumière de la problématique de la santé au travail offrent un prisme extrêmement éclairant pour l'étude de ces infléchissements.

Résultats

Ce que l'on constate avant tout, c'est une plus grande latitude laissée aux acteurs du travail – et, par extension, aux acteurs de la santé au travail. Cette dynamique peut être rapportée à un mouvement de procéduralisation, mais elle est également inspirée par le souci d'assouplir les obligations de l'employeur. Ce domaine est, comme d'autres, largement tributaire de ce que négocient les partenaires sociaux au sein de l'entreprise (y compris en matière de qualité de vie au travail).

La fusion des instances représentatives du personnel – avec la disparition des délégués du personnel, du comité d'entreprise et du CHSCT, transmués en comité social et économique – se révèle, de ce point de vue, des plus sensible, notamment au regard du risque d'une centralisation excessive des représentants des salariés ou d'une « dilution » des enjeux liés à la santé au travail dans une approche (par trop) globale.

Dans ce contexte, la place et la signification que se voit assigner l'objectif de prévention (des risques professionnels) suscitent inquiétudes et interrogations, qu'au demeurant nourrit le passage du C2P au C3P.

Conclusion

Le domaine de la santé au travail fait, à l'instar d'autres champs, l'objet d'une recomposition au plan normatif. De plus en plus, ce sont les acteurs du travail qui sont invités à s'approprier les dispositifs existants et à élaborer des solutions adaptées aux besoins de l'entreprise. L'enjeu essentiel est de les amener à appréhender au mieux les enjeux correspondants et à être en mesure de relever les défis qui en découlent.

Références

- A. Gardin, « Santé et sécurité au travail et fusion des IRP : quelles adaptations par la négociation ? », *Revue de Jurisprudence Sociale*, 6/18, p. 467.
- A. Gardin et L. Isidro, « Adapter le droit de la santé au travail ? », in F. Géa (dir.), *Ordonnances Macron : un nouveau droit du travail ?*, coll. *Thèmes et commentaires*, Dalloz, 2018 (à paraître).
- F. Géa, « Une nouvelle théorie juridique de l'inaptitude médicale ? », *Les Cahiers sociaux*, avril 2017, p. 211.

Projet financé par l'ANR.

Session 2 – Horaires atypiques et rythmes biologiques

Perturbation du rythme circadien et du sommeil en lien avec les horaires de travail chez les infirmières et aides-soignantes de l'AP-HP

Pascal Guénel¹, Emilie Cordina¹, Guillen Aristizabal¹, Damien Léger², Brice Faraut², Caroline Gauriau², René Adam³, Amal Attari³, Francis Lévi⁴, Sandra Komarzynski⁴, Barbel Finkenstadt⁴

¹Inserm U1018, CESP, Équipe cancers et environnement, Villejuif, ²Centre du sommeil et de la vigilance, Équipe vigilance-fatigue-somnolence et santé publique, Paris, ³Inserm UMRS 776, Équipe rythmes biologiques et cancers (RBC), Villejuif, ⁴Warwick University, United-kingdom

Biographie

Pascal Guénel est épidémiologiste, Directeur de recherche Inserm. Il dirige l'Équipe cancer et environnement du Centre de recherche en épidémiologie et santé des populations.

Résumé

En 2007, le « travail posté impliquant des perturbations du rythme circadien » a été classé par le Centre international de recherche contre le cancer comme cancérogène probable chez l'Homme. Cependant, des interrogations persistent sur les répercussions biologiques et physiologiques du travail de nuit et du travail à horaires décalés. Le projet CIRCADIEM propose ainsi d'étudier les effets de différents types d'horaires de travail sur le rythme circadien et le sommeil chez des femmes soumises à des horaires de travail non standard.

Méthodes

Le recrutement de 215 infirmières et aides-soignantes de l'hôpital Paul Brousse volontaires s'est déroulé entre novembre 2016 et décembre 2017. Les sujets se répartissent en trois groupes horaires principaux : équipe de nuit fixe (n=95) ; équipe de jour alternant matin/après-midi (n=96) et équipes de jour à horaires divers (n=24). Des informations socio-démographiques, médicales, de consommation de tabac et d'alcool, sur le sommeil et le chronotype ont été obtenues à l'aide d'un questionnaire standardisé. Le rythme circadien a été mesuré au cours d'une semaine de travail à l'aide d'un enregistrement en continu de l'activité (accéléromètre) et la température cutanée, obtenu à l'aide d'un dispositif électronique porté de jour comme de nuit par la participante sur une semaine de travail standard (dispositif PICADo). Enfin, des prélèvements sanguins en début et fin de poste ont permis de doser des marqueurs biologiques d'inflammation. La biobanque ainsi constituée permettra également d'étudier les gènes qui contrôlent le rythme circadien.

Résultats

Les premiers résultats montrent de fortes disparités entre les travailleurs de nuit et les travailleurs de jours alternants concernant la durée, la dette ou la privation de sommeil liée au travail, ainsi que des différences sur la période du rythme circadien (durée du cycle), l'amplitude des variations d'activité ou de température cutanée, l'indice de dichotomie (mesurant la qualité du repos pendant le sommeil). Ces premiers résultats seront complétés par d'autres et permettront d'évaluer l'impact des horaires de travail sur le rythme circadien.

Projet financé par l'ANR.

Importance de l'horloge circadienne dans la régulation du métabolisme et du cycle cellulaire : apport à l'étude des effets du travail de nuit sur les maladies métaboliques, cardiovasculaires et de cancers

Jonathan Behaegel^{1,2}, Emna Ben Abdallah⁵, Gilles Bernot², Jean-Paul Comet², Franck Delaunay¹, Sandrine Dulong³, François Fages⁴, Céline Feillet¹, Aline Gréchez-Cassiau¹, Sophie Guérin¹, Francis Lévi³, Xia-Mei Li³, Morgan Magnin⁵, Yunhua Marchand³, Olivier Roux⁵, Anthony Ruberto¹, Sylvain Soliman⁴, Michèle Teboul¹, Pauline Traynard⁴, Yuan Zhang³

¹IBV, Université Côte d'Azur, CNRS, Inserm, Nice, ²I3S, Université Côte d'Azur, CNRS, Nice, ³Inserm, Villejuif, ⁴INRIA, Orsay, ⁵Ecole centrale, Nantes

Biographie

Franck Delaunay est professeur de physiologie animale à l'Université Côte d'Azur et dirige l'équipe de recherche "Biologie du système circadien" à l'Institut de biologie Valrose (UCA/Inserm/CNRS). Il a auparavant travaillé à l'ENS Lyon, à l'Université de Rennes et au Karolinska Institute de Stockholm. Ses recherches actuelles visent à comprendre le rôle des horloges circadiennes périphériques des mammifères. Il est l'auteur d'une cinquantaine de publications internationales (<https://scholar.google.fr/citations?hl=fr&user=l7nDR6QAAAAJ>).

Résumé

Notre horloge interne joue un rôle essentiel dans la coordination temporelle de nombreuses fonctions physiologiques et cellulaires et leur synchronisation avec le rythme jour/nuit. Des liens clairs ont été établis entre la perturbation voire la disruption de la coordination circadienne et le développement de pathologies métaboliques et cancéreuses chez l'animal et l'homme.

Matériels et méthodes

Pour le projet CHRONOMET visant à mieux comprendre les liens entre horloge circadienne et homéostasie métabolique nous avons utilisé une combinaison d'approches et de méthodes s'appuyant sur des modèles génétiques (souris knockouts), des techniques d'exploration fonctionnelle, de biologie moléculaire et cellulaire et de génomique fonctionnelle. Le projet HYCLOCK a mis en œuvre une approche de biologie des systèmes dans laquelle des modèles mathématiques et des méthodes issues de l'informatique sont développées et utilisées en relation avec des séries temporelles et d'autres données obtenues expérimentalement *in vivo* et *in vitro*.

Résultats

Le projet CHRONOMET a permis de démontrer le rôle de plusieurs facteurs de transcription dans la régulation circadienne de la physiologie métabolique. Ainsi nous avons démontré que le récepteur nucléaire REV-ERB α régule le métabolisme de la choline dans le foie, une molécule importante de biosynthèse des phospholipides. Nous avons également découvert que le récepteur nucléaire LXR α est impliqué dans le dimorphisme sexuel de la physiologie circadienne. Enfin l'invalidation conditionnelle du facteur KLF10 dans le foie a permis de montrer que celui joue un rôle important dans l'organisation du transcriptome circadien dans cet organe métabolique majeur.

La modélisation mathématique du couplage dynamique entre le cycle cellulaire et l'horloge circadienne réalisée dans le cadre projet HYCLOCK a permis de proposer une nouvelle hypothèse pour expliquer l'influence du cycle cellulaire sur l'horloge impliquant le facteur REV-ERB α . HYCLOCK a également permis de développer une approche de modélisation entièrement nouvelle dite hybride dans laquelle le temps chronométrique peut être pris en compte dans le contexte de modèles mathématiques discrets. Cette méthode présente l'énorme avantage de permettre l'automatisation de la paramétrisation des modèles et de réaliser celle-ci de manière exhaustive.

Conclusion

Le projet CHRONOMET renforce indiscutablement la notion selon laquelle la coordination circadienne joue un rôle important dans la physiologie métabolique hépatique.

Projet financé par l'ANR.

Session 3 – Dangers et risques spécifiques liés à divers milieux de travail

Rôle du microenvironnement cellulaire et de l'inflammation sur la réponse immunitaire dans l'allergie aux produits chimiques

Marc Pallardy, Professeur¹, Saadia Kerdine-Römer, Professeur¹, Marc Vocanson, chargé de recherche², Hervé Groux, CEO Immunosearch³, Bernard Marienn Directeur de recherche⁴, Jean-Pierre Lepoittevin, Professeur⁵, Elena Gimenez-Arnau, chargé de recherche⁵

¹Inserm UMR 996, Université Paris-Sud, Châtenay-Malabry, ²Inserm UMR 1111, Lyon, ³Immunosearch, Grasse, ⁴CNRS UMR 6097, ⁵CNRS UMR 7177

Biographie

Après des études en pharmacie, Marc Pallardy, a obtenu un doctorat en Toxicologie en 1997 à l'Université de Paris-Sud et ensuite effectué un post-doctorat au Chemical Industry Institute of Toxicology aux Etats-Unis. Il est professeur à l'Université Paris-Sud depuis 1997. Il a dirigé l'UMR-S 996 « Inflammation, Chemokines and Immunopathology » de l'Inserm de 2011 à 2015. Il a 132 publications dans des revues nationales et internationales.

Résumé

Parmi l'ensemble des allergies, la dermatite de contact est généralement induite par un contact avec un produit chimique présent dans l'environnement et provoquant des lésions de la peau, des muqueuses au moyen de réactions allergiques et/ou irritantes. Ce projet vise à comprendre comment la réactivité chimique des molécules allergisantes modifie le microenvironnement cellulaire de la peau et impose des décisions clés concernant les réponses immunitaires à ces produits chimiques. Nous avons cherché à identifier les événements clés de l'interaction des molécules chimiques sensibilisantes avec les processus et l'intégration de ces événements dans des modèles murins *in vivo* utilisant des souches génétiquement modifiées.

Le consortium était composé de 5 partenaires représentant différentes expertises : allergie, immunologie, toxicologie, génomique et chimie.

Matériels et méthodes

Pour remplir ces objectifs le projet était divisé en 6 tâches :

Tâche 1: Profil de réactivité peptidique des molécules allergisantes.

Tâche 2: Expression des gènes nrf2-dépendants et rôle du stress oxydant dans les cellules dendritiques en réponse aux molécules allergisantes.

Tâche 3: Réponse biologique *in vivo* et *in vitro* de la peau aux molécules sensibilisantes par une approche génomique (expression gène et miRNA).

Tâche 4: Mesure de la réponse *in vivo* dans les modèles animaux suivants : Local Lymph Node Assay et Mouse Ear Swelling Test (souris sauvage WT et modifiées génétiquement pour le gène nrf2, souris nrf2 KO).

Tâche 5: Analyse *in vivo* de la réponse immune chez les souris WT et nrf2 KO.

Tâche 6: Intégration et analyse des résultats: modèle fonctionnel de la réponse aux molécules allergisantes, établissement des corrélations *in vivo* et *in vitro*.

Résultats

Pour toutes les molécules testées nous avons obtenus des ^{13}C substitués en position (s) réactive ou à côté de la position de réactif. Ces produits nous ont permis d'élucider les structures de formation des produits conjugués à des peptides prototypes. Nous avons aussi obtenu, dans un modèle de cellules dendritiques et avec la lignée THP-1, des données sur le lien entre la réactivité chimique des molécules avec les acides aminés et l'expression des gènes dépendants du facteur anti-inflammatoire Nrf2. Ensuite, nous avons déterminé l'expression des gènes dans un modèle de peau reconstruite permettant d'aborder le compartiment des kératinocytes. Nos résultats montrent que la méthode SENS-IS via l'emploi d'une signature génique permet de distinguer les molécules irritantes des molécules allergisantes. In vivo, chez les souris sauvages et chez les souris dépourvues en facteur Nrf2, nous montrons que Nrf2 joue un rôle majeur dans la protection contre les molécules allergisantes. Ceci confirme les résultats retrouvés *in vitro* suggérant que Nrf2 est induit par les molécules allergisantes pour protéger de la réaction inflammatoire.

Conclusion

Nous avons identifié de nouveaux biomarqueurs de l'hypersensibilité de contact en utilisant une approche génomique *in vitro* et avons pu mettre en place une signature génétique permettant de prédire le potentiel d'un produit chimique en tant que sensibilisant. Nous avons également établi des corrélations entre la réactivité chimique et l'expression génique dépendante de nrf-2, suggérant un mécanisme permettant à la réactivité chimique de se traduire par une activité biologique dans les cellules du système immunitaire.

Projet financé par l'ANR.



Danger lié à l'inhalation de mycotoxines produites par *Stachybotrys chartarum* lors de son développement dans les fourrages

Sylviane Bailly¹, Brankica Aleksic¹, Marjorie Draghie², Sandrine Roussel³, Florence Grenouillet³, Enric Robine², Jean-Denis Bailly¹

¹École nationale vétérinaire de Toulouse UMR 1331, Inra/Institut national polytechnique de Toulouse El-Purpan, Université Paul Sabatier, Toxalim, Toulouse, ²Centre scientifique et technique du bâtiment, Marne la Vallée, ³CNRS UMR 6949 Université de Franche Comté, Chrono-environnement, Besançon

Biographie

Jean-Denis Bailly est professeur en hygiène des aliments à l'École nationale vétérinaire. Il fait partie de l'équipe Biosynthèse et toxicité des mycotoxines de l'UMR 1331 Toxalim. Ses travaux visent à mieux comprendre les mécanismes biotiques et abiotiques impliqués dans la régulation et la synthèse des mycotoxines afin de mieux évaluer le risque lié au développement des moisissures et identifier des leviers de maîtrise de la contamination des aliments ou de l'environnement.

Résumé

La flore fongique des foins est constituée d'espèces contaminant les plantes au champ et d'autres capables de se développer au cours du stockage. L'espèce fongique la plus importante sur le plan sanitaire est certainement *Stachybotrys chartarum*. Cette moisissure est capable de produire plusieurs toxines de la famille des trichothécènes macrocycliques.

Dans l'espèce équine, ces toxines peuvent entraîner des intoxications dont les symptômes vont de la simple baisse des performances sportives à la mort brutale, sans signe avant-coureur. Depuis quelques années, une augmentation du nombre d'intoxications équines à ces toxines a été notée. Ce constat traduit certainement une augmentation de la fréquence de contamination des foins qui pourrait résulter des changements climatiques ou être liée à une modification des pratiques agricoles. Au-delà de l'exposition des chevaux, la présence fréquente de *Stachybotrys chartarum* et de ses mycotoxines dans les foins peut être responsable d'une exposition des éleveurs par voie aérienne, liée à l'inhalation de particules contaminées mises en suspension lors de la manipulation de ces substrats.

Dans ce contexte, notre projet a pour objectif de caractériser le danger lié à l'inhalation de mycotoxines produites par *Stachybotrys chartarum* lors de son développement dans les fourrages. Nous avons inclus dans le projet l'analyse de souches issues d'environnements intérieurs afin de comparer les risques toxiques associés à ces différentes modalités d'exposition à cette espèce fongique. Ainsi, en utilisant 20 souches de *Stachybotrys* isolées de fourrages et 15 souches d'environnements intérieurs, nous avons réalisé :

- la caractérisation métabolique, biochimique et génétique de souches d'origines différentes. Ces travaux ont permis de montrer que la proportion de *S. chartarum* dans les fourrages est moins importante que celle observée dans les environnements intérieurs. Cependant, la majorité des souches de *S. chartarum* isolées de fourrages sont capables de produire de grandes quantités de toxines, pouvant expliquer la fréquence des intoxications animales et soulignant la nécessité d'évaluer le risque associé pour les professionnels qui manipulent régulièrement des fourrages.

- l'étude du transfert « substrat-air » des mycotoxines produites par *Stachybotrys chartarum* lors de la manipulation des foins contaminés.

Ces études, réalisées au laboratoire, ont démontré qu'une partie des toxines produites par *S. chartarum* sur les fourrages peut être aérosolisée. Ces toxines sont retrouvées dans des particules dont la taille correspond à des spores ou des fragments mycéliens. Cependant, des toxines ont aussi pu être quantifiées sur des particules submicroniques qui peuvent pénétrer profondément dans l'arbre respiratoire. Ainsi, les palefreniers et les éleveurs peuvent inhaler des particules toxiques lors de la distribution du foin aux animaux.

- la caractérisation de la cytotoxicité des toxines produites par *Stachybotrys chartarum*.

Les études de cytotoxicité réalisées sur des cellules pulmonaires et digestives ont permis de démontrer que les toxines produites par *S. chartarum* sont très toxiques. Les IC₅₀ observées sont plusieurs centaines de fois inférieures à celles d'autres mycotoxines pouvant contaminer les fourrages ou les environnements intérieurs. La toxicité par inhalation semble légèrement supérieure à celle observée après ingestion.

Ainsi, nos travaux montrent qu'il est possible, pour les éleveurs, d'être exposés à des mycotoxines par inhalation de particules contaminées lors de la manipulation des fourrages. Il convient, désormais, d'évaluer le risque associé et d'identifier les mesures préventives adaptées.

Publications et communications scientifiques

- Aleksic B., Bailly S., Draghi M., Pestka J.J., Oswald I.P., Robine E., Bailly J.D., Lacroix M.Z. Production of four macrocyclic trichothecenes by *Stachybotrys chartarum* during development on different building materials as measured by UPLC-MS/MS. *Building & environment*, 106, 265-273, 2016.

- M. Draghi, B. Aleksic, S. Bailly, M. Lacroix, S. Ritoux, J.D. Bailly, E. Robine : Study of mycotoxins aerosolized during the shaking of hays contaminated with *Stachybotrys chartarum*, EAC, 2016, Tours, 4-9 septembre 2016.

- Bailly S., Roussel S., Aleksic B., Lacroix M., Grenouillet F., Oswald I.P., Bailly J.D. Identification and toxinogenic potential of *Stachybotrys* strains isolated from fodders: comparison with strains from indoor environments. Soumis.

Article de vulgarisation/formation professionnelle

- Bailly S., Bailly JD. Moisissures des fourrages secs : *Aspergillus fumigatus* et *Stachybotrys chartarum*, deux espèces toxigènes majeures. *Point Vétérinaire*, 2013, Prévention Nutritionnelle en élevage bovin, 116-119.

- Bailly JD. Toxicité des mycotoxines chez les équidés. *Nouveau Praticien Vétérinaire – Equine*, 12, 23-29, 2018.

Projet sélectionné dans le cadre de l'APR 2013 du PNR-EST.

Evaluation des risques des professionnels exposés aux produits utilisés dans les activités de soin et de décoration de l'ongle

Dominique Brunet¹, Nicolas Bertrand², Jean-François Certin³, Eddy Langlois⁴, Matteo Redaelli², Sophie Robert², Alain-Claude Roudot⁵, Jean-Marc Saporì⁶, Lauranne Verines-Jouin¹

¹Anses, Maisons-Alfort, ²INRS, Paris, ³Retraité, ancien ingénieur-conseil Carsat des Pays de Loire, ⁴INRS, Nancy,

⁵Université de Bretagne occidentale, Brest, ⁶Centre antipoison et de toxicovigilance de Lyon, Lyon

Biographie

Docteur-ingénieur en chimie, Dominique Brunet a exercé des activités de recherche en synthèse organique et des fonctions d'ingénieur sécurité dans l'industrie pharmaceutique. Après avoir contribué durant 3 ans à l'élaboration de la réglementation du risque chimique en milieu de travail au sein du ministère du travail, elle intègre l'Anses en 2005. Adjointe au chef de l'unité d'évaluation des substances chimiques, elle est chargée plus particulièrement des expertises en santé au travail.

Résumé

Une expertise a été réalisée en 2017 par l'Anses sur les risques des professionnels exposés aux produits utilisés dans les activités de soin et de décoration de l'ongle. Ces professionnels, des prothésistes ongulaires et des esthéticiennes, réalisent divers types de soins et de décoration de l'ongle : pose de vernis classique ou semi-permanent, soins de manucure et pose de prothèses ongulaires par différentes techniques (technique « gel », technique « résine »...), stylisme ongulaire. Cette population majoritairement féminine se répartit dans toutes les classes d'âge, principalement entre 18 et 35 ans. Ces professionnels peuvent être salariés ou indépendants, exerçant dans des locaux dédiés ou au domicile des client(e)s. Les établissements d'activité de soin et de décoration de l'ongle sont de petites tailles, employant souvent au plus cinq personnes.

Résultats

Un recensement dans différentes bases de données a permis d'identifier environ 700 substances dans la composition des produits ou dans les atmosphères de travail. Parmi celles-ci 60 sont des substances soit classées cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR), soit classées sensibilisantes, soit inscrites sur une liste de perturbateurs endocriniens potentiels : des (méth)acrylates, des phtalates, des parabènes, des cétones, des aldéhydes, des alcanes...

Les données du Réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles (RNV3P), en cohérence avec les données de la littérature, indiquent que les groupes de pathologies les plus fréquemment diagnostiqués chez ces travailleurs, outre les troubles musculo-squelettiques liés à des postures assises et des mouvements répétitifs du poignet, sont :

- les affections cutanées, incluant principalement des dermatites allergiques de contact,
- les affections des voies respiratoires et ORL, incluant principalement des asthmes,
- et les céphalées.

Dans plus de la moitié des cas, la pathologie diagnostiquée est imputée à une exposition à des (méth)acrylates. La présence de cette famille chimique a été confirmée dans les atmosphères de travail par une campagne de mesures réalisée chez des professionnels entre juillet 2015 et octobre 2016. Cette campagne a mis en évidence la présence de divers composés organiques (semi) volatils (CO(s)V) dans l'air, dont certains sont des agents CMR ou neurotoxiques. Jusqu'à 42 CO(s)V ont pu être identifiés dans un même local de travail. Les résultats de la campagne montrent également que la ventilation générale, la ventilation localisée de type table aspirante, le port de gants et de masques de protection contre les poussières, sont peu fréquemment mis en œuvre.

In fine, l'Anses émet une série de recommandations sur le renforcement des mesures de prévention et de protection, sur la formation et l'information des professionnels et plus largement sur la sécurité chimique des produits cosmétiques.

L'avis de l'agence et le rapport d'expertise collective associé sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.anses.fr/fr/system/files/CONSO2014SA0148Ra.pdf>



Rôle des nanoparticules dans les atteintes pulmonaires induites par l'exposition aux fumées de soudage

Sophie Lanone

Directeur de recherche, Inserm U955, Créteil

Biographie

Sophie Lanone est directrice de recherche Inserm au sein de l'Institut Mondor de recherche biomédicale à Créteil. Elle dirige actuellement une équipe qui s'intéresse aux conséquences respiratoires de l'inhalation de particules de l'environnement, à travers des recherches sur la physiopathologie des BPCO post-tabagique et professionnelle ; les conséquences respiratoires d'expositions à des nanoparticules d'origine anthropique ; et les origines précoces de la BPCO et autres conséquences respiratoires d'expositions aux particules de l'environnement.

Résumé

Le soudage est un procédé industriel utilisé pour relier deux pièces métalliques entre elles, et qui s'accompagne de l'émission dans l'air de «fumées de soudage», mélange complexe de très fines particules métalliques (de taille micro et nanométrique) et de gaz.

Méthodes

Des données métrologiques montrent l'existence de particules primaires de taille nanométrique dans les aérosols particuliers émis par les différents procédés de soudage utilisés (jusqu'à 11% en masse et 80% en nombre). Connaissant la toxicité potentielle des nanoparticules (NP), et sachant que les soudeurs présentent des atteintes pulmonaires (cancer, fibrose notamment), l'objectif général du projet a été d'analyser le rôle de la composante nanoparticulaire des fumées de soudage dans les altérations histologiques pulmonaires observées chez les patients soudeurs.

Nous avons donc développé une approche utilisant les soudeurs comme modèle d'exposition humaine à des NP. Cette approche pluri-disciplinaire reposait sur la forte interaction entre des médecins (pour la sélection des patients sur interrogatoire professionnel), des physiciens (pour la caractérisation des NP dans les prélèvements de tissus pulmonaires), des chimistes (pour la synthèse des NP représentatives) et des biologistes (pour l'étude des effets biologiques de ces NP).

Vingt et un patients soudeurs et 21 témoins non exposés ont été inclus dans cette étude. L'exposition professionnelle de chacun des sujets a été extensivement documentée. Un prélèvement pulmonaire a été obtenu pour chaque patient, et une analyse histologique approfondie a été réalisée. La présence et la caractérisation des NP ont été documentées par l'utilisation de techniques d'imagerie photonique, microscopie électronique à transmission couplée à des analyses par rayons X. Des NP représentatives de celles trouvées dans les prélèvements pulmonaires ont été synthétisées chimiquement, et ont permis d'exposer des cellules pulmonaires en culture ainsi que des souris (instillations oro-pharyngées répétées de façon hebdomadaire) afin d'étudier les mécanismes moléculaires sous-jacents aux effets des NP.

Résultats

Nous avons mis en évidence, sur des coupes de poumon issues de patients soudeurs, la présence de NP (20-25 nm de diamètre) de Fer, Manganèse et/ou Chrome, essentiellement dans des macrophages, en association avec des altérations histologiques de type fibrose ainsi que dans les espaces alvéolaires. Les macrophages semblent être les cellules les plus sensibles à une exposition à des NP similaires, puisque cela entraîne leur activation (micro-array), avec sécrétion de cytokines proinflammatoires (Luminex®) et activation de leur migration. Cette activation pourrait participer au remodelage pulmonaire observé chez les patients soudeurs comme en témoigne les résultats de l'exposition répétée de souris à ces NP.

Ce travail met en évidence pour la première fois un lien entre l'exposition humaine à des NP et des effets pulmonaires à long terme.

Projet financé par l'ANR.

Session 4 – Innovation technologique et organisationnelle au service de la prévention

Linguistique et intelligence artificielle au service de la prévention des risques industriels : comment améliorer la rédaction des documents techniques ?

Patrick Saint-Dizier

CNRS, Institut de recherche en informatique de Toulouse

Biographie

Patrick Saint-Dizier, directeur de recherches au CNRS, spécialiste en informatique linguistique : sémantique, argumentation et rhétorique, rédaction de documents techniques. Auteur de 12 livres et de nombreux articles scientifiques.

Résumé

Le projet LELIE est dédié à l'analyse et à la prévention des risques en milieu industriel tels qu'ils sont détectables à partir des documents techniques élaborés par ces industries, en particulier les documents procéduraux qui sont de loin les plus importants. Les risques couvrent aussi bien les accidents du travail, que les risques écologiques, sociaux, psychologiques et économiques. Le projet se concentre sur l'analyse des textes procéduraux (liés à la production, la maintenance, l'installation, etc.) *via* des formalismes et des technologies d'analyse de la langue naturelle et de l'intelligence artificielle. Il est complété par une analyse fine des processus en ergonomie cognitive. L'analyse des risques est réalisée sur trois niveaux qui peuvent chacun à leur façon entraîner des défaillances :

1. Détection de modes de rédaction inappropriés des instructions, par exemple : expressions complexes (trop de pronoms, double négation, etc.), informations implicites, portées ambiguës (pour les conditions, les expressions temporelles, etc.).
2. Détection d'incohérences métier dans les procédures en regard des pratiques usuelles. En particulier, le projet s'attache à repérer des façons inhabituelles de réaliser une action.
3. Détection du non-respect d'exigences métier et de sécurité dans les procédures. Cette dernière tâche consiste à s'assurer en particulier que les consignes ou avertissements de sécurité indiqués dans une base d'exigences métier (ou fiches de sécurité) sont bien mentionnés et respectés dans les procédures. Le travail est basé sur une analyse linguistique des documents procéduraux et sur la détection d'incohérences par le biais d'un moteur d'analyse de consistance de l'intelligence artificielle.

Concernant le point 1, les principaux phénomènes couverts par LELIE V3.0 sont liés aux normes de rédaction en langue contrôlée, ils incluent en particulier :

- une grande variété de types de termes inappropriés (buzz, trop longs, verbeux, familiers, inutiles, hypothétiques, etc.),
- le traitement des termes vagues, flous ou les usages sous-spécifiés,
- les phrases complexes, avec diverses métriques de complexité,
- le problème des références incertaines introduites par les pronoms ou autres termes (dans la phrase),
- le style : position de mots ou de structures de discours imposées,
- formes complexes de coordination, négation, etc.,
- futurs, modaux, déverbaux et passifs à éviter dans certaines constructions,
- cohésion lexicale simple avec métriques de cohésion,

- recherche de phrases ou clusters de phrases similaires (pour doublons ou incohérences),
- quelques outils d'analyse de corpus.

LELIE (français et anglais) est disponible gratuitement sous licence Creative Commons BY NC 2.0.

Références

- P. Saint-Dizier, Challenges of Discourse processing: the case of technical documents, 2014, Cambridge Scholars.
- P. Saint-Dizier, Mining Incoherent Requirements in Technical Specifications: Analysis and Implementation, Data and Knowledge Engineering Journal, Elsevier, 2018.

Projet financé par l'ANR.



Exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques industriels

Kassem Jomaa¹, Giacomo Di Benedetto², Melina Bouldi³, Fabien Ndagijimana¹, Patrice Donati³, Riccardo Scorretti²

¹IMEP-LAHC – UMR 5130 CNRS, Grenoble, ²Lab. AMPERE – UMR 5005 CNRS, Lyon, ³INRS, Vandœuvre-lès-Nancy

Biographie

Né à Prato (Italie) en 1973, Riccardo Scorretti a obtenu un diplôme d'ingénieur en informatique à l'Université de Firenze (Italie) en 1999. Il a obtenu son doctorat à l'Ecole centrale de Lyon en 2003 (spécialité génie électrique), où il travaille depuis 2005 en tant que chargé de recherche CNRS.

Introduction

Ce projet porte sur la caractérisation en situation réelle de l'exposition de travailleurs aux champs radiofréquences rayonnés par des systèmes industriels. La directive 2013/35/EU de juin 2013 a défini des valeurs limites d'exposition (VLE) et des valeurs déclenchant l'action (VA) pour différentes bandes de fréquence. Le respect des VA garanti le respect des VLE (non mesurables). Le respect des VA peut se vérifier en mesurant les valeurs de champs électromagnétiques aux postes de travail. Le problème est que lorsque les VA ne sont pas respectées, il est nécessaire de réaliser des calculs très complexes, qui nécessitent de caractériser plus précisément le rayonnement. Cette procédure est longue et couteuse : notre objectif est de concevoir une instrumentation permettant de vérifier rapidement le respect des VLE en milieu industriel.

Matériels et méthodes

Notre démarche consiste à réaliser un système de mesure constitué d'un mannequin articulé instrumenté, que l'on viendrait colloquer à la place du travailleurs, et qui permettrait d'obtenir rapidement l'ensemble des mesures nécessaires. Par la suite, les valeurs de champs électromagnétiques à l'intérieur du corps du travailleur sont calculées numériquement, de sorte à pouvoir établir le respect des VLE.

Résultats

Nous avons pris comme système-modèle une presse HF fonctionnant à 27MHz, car il s'agit d'une machine de forte puissance particulièrement rayonnante.

Nous avons déjà réalisé trois campagnes de mesure sur un tel dispositif chez l'INRS partenaire de l'étude. Nous ciblons plus particulièrement la plage des fréquences intermédiaires 1MHz-100MHz, dans laquelle l'exposition a lieu en champ proche. Cette configuration est particulièrement compliquée, non seulement du point de vue de la mesure, mais aussi car la répartition du champ électromagnétique est particulièrement compliquée. Nos modélisations numériques montrent que le champ se comporte approximativement de manière quasi-statique à l'extérieur du corps (sur un volume limité). Ainsi, nous avons imaginé un certain nombre de méthodes numériques qui devraient nous permettre de quantifier l'exposition du travailleur à partir de mesures de champ.

Conclusion

Nous espérons que la suite de nos travaux permettra de valider notre démarche. Nous disposerons alors d'un outil qui devrait permettre de vérifier le respect des limites d'exposition en milieu industriel beaucoup plus rapidement par rapport à l'instrumentation existante.

Références

- Di Benedetto. *et al.* (Septembre 2017). Electromagnetic field radiated by HF press. ISEM 2017, Chamonix (France).
- Scorretti (Septembre 2018). An algorithm for posturing computational phantoms. EMF-Med 2018, Split (Croatia).
- Jomaa *et al.* (Octobre 2018). Caractérisation de l'exposition de travailleurs au champ radiofréquence généré par une presse HF. Journée scientifique de la SFRP, Montpellier (France).

Projet sélectionné dans le cadre de l'APR 2015 du PNR-EST.



Concilier hygiène industrielle et qualité de l'ambiance de travail : la technologie Froiloc au service de la réduction des TMS dans l'industrie alimentaire

Johan Carlier, IR^{2,2}, Dominique Heitz, CR (HDR)^{2,2}, P. Georgeault¹, A. Guibert¹, L. Wallian¹, G. Arroyo¹

¹Irstea, équipe ACTA, Rennes, ²Inria-Irstea-IRMAR, équipe Fluminance, Rennes

Biographie

Dominique Heitz est docteur en mécanique des fluides de l'université de Poitiers et habilité à diriger les recherches de l'université de Rennes 1 depuis 2015. Depuis 1999, il est chercheur à Irstea Rennes, depuis 2009 il est membre de l'équipe Fluminance (Inria, Irstea, IRMAR) et, depuis 2013, responsable de l'équipe ACTA Irstea qui travaille sur l'Aérodynamique et le Contrôle des Atmosphères Turbulentes. Ses recherches portent sur les techniques de mesure, d'analyse et de modélisation des écoulements environnementaux et industriels turbulents.

Résumé

Plus de la moitié des achats alimentaires réalisés dans les pays développés sont des denrées périssables présentées à la vente en ambiance froide. Leur production et leur conditionnement nécessitent des ambiances froides et, pour les produits nus craignant la contamination par l'air, un environnement ultra propre.

Les industriels ont, depuis les années 90, considérablement amélioré les conditions sanitaires de leurs productions. Mais ces progrès dans l'hygiène des productions créent un coût humain de moins en moins supportable sous la forme de troubles de santé liés au travail en ambiance froide. Les troubles musculo-squelettiques (TMS) en sont l'expression la plus spectaculaire.

Le développement de la technique FROILOC® permet de traiter cette contradiction entre objectif sanitaire de maintien d'ambiances froides, éventuellement ultra propres, et besoin impérieux de remonter la température des ambiances subies par les opérateurs des ateliers de transformation, découpe et conditionnement. La localisation des flux d'air propres et froids sur les zones entourant les produits limite fortement la diffusion du froid dans l'ambiance et vise un gain énergétique.

Froiloc-C prolonge le projet régional FROILOC®, Bretagne qui a prouvé la faisabilité en usine d'une protection localisée de ligne de conditionnement de produits alimentaires, par un balayage d'air froid filtré. Un premier prototype a permis de maintenir 1°C sur les produits alimentaires et 16°C dans l'ambiance environnante de travail, sans séparation physique autre que l'écoulement dirigé du flux froid. FROILOC-C, a permis d'approfondir la connaissance et la maîtrise des principes de soufflage, guidage et recyclage de l'air froid et propre, de manière à décliner la technologie dans une large gamme de configurations de lignes de production.

Résultats

La simulation numérique des écoulements et des zonages de température a apporté une connaissance détaillée des mécanismes qui conditionnent l'écoulement de l'air et le transport de la chaleur et des polluants, en fonction des conditions géométriques, thermiques et dynamiques appliquées. Un ensemble d'expérimentations sur pilote de laboratoire ont permis de mesurer, en relation directe avec les enseignements de la simulation, les influences relatives des mécanismes mis en jeu pour garantir, pour différentes géométries de ligne, le meilleur confinement de la zone froide et ultra propre.

La technologie brevetée FROILOC® est basée sur le contrôle coordonné de plusieurs mécanismes physiques mis en œuvre dans un flux d'air froid soufflé et recirculé sur une zone sensible, la technique est adaptable à différentes situations industrielles. Ainsi, la combinaison impact-guidage-réaspiration a pu être décrite et analysée, avec élaboration de prescriptions pour conserver la performance maximum pour que le dispositif puisse être adapté à différentes dimensions de zones sensibles et qu'il soit robuste lorsque l'opérateur intervient dans le flux d'air pour manipuler les produits. Le renforcement de la séparation entre froid local et ambiance chaude, sous l'effet de l'accélération naturelle des rideaux d'air froid descendant, a également été mise en évidence et modélisée.

Le brevet FROILOC® a été étendu à l'international et une marque a été déposée. Une licence a été cédée à un équipementier, ETI nationale du froid et du génie climatique. Deux publications peuvent être citées : Travail et Sécurité - INRS : « Confort thermique à la chaîne », Travail & Sécurité n°748, mars 2014, p.28-29. ; Techniques de l'Ingénieur : « Protection localisée par flux d'air » (en cours d'édition).

Projet financé par l'ANR.

Développement d'un système d'aide à la planification des tournées pour améliorer la santé et la sécurité dans le transport routier de marchandises

Virginie Govaere, Liên Wioland, responsables d'études et de recherche

INRS, Vandoeuvre les Nancy

Biographies

Virginie Govaere et Liên Wioland sont membres du Département Homme au travail de l'INRS. Virginie Govaere travaille sur les effets des technologies de l'information et de la communication ou systèmes d'information au travail sur la santé et la sécurité des salariés. Ses principaux travaux s'inscrivent dans le secteur de la logistique et des Supply Chain.

Liên Wioland s'est spécialisée des mutations organisationnelles et technologiques dans le secteur du transport routier de marchandises et leurs effets sur la santé et la sécurité des salariés.

Introduction

Les entreprises de Transport Routier de Marchandises (TRM) présentent une sinistralité supérieure à la moyenne nationale. Le projet SMART-Planning vise à intégrer les enjeux de santé-sécurité dès la planification de la tournée et à fournir une aide adaptée à l'activité des planificateurs, intégrant les enjeux économiques, environnementaux et de santé ou sécurité des salariés.

Le premier objectif est de modéliser les contraintes intégrées par le planificateur ainsi que la dynamique du choix réalisé parmi un ensemble de solutions possibles.

Matériels et méthodes

Une analyse ergonomique, réalisée chez les partenaires industriels, a permis d'identifier les contraintes. Cette analyse a été complétée par des entretiens (planificateurs, conducteurs et dirigeants). Un questionnaire visant un recueil des évaluations des déterminants SST a été diffusé en ligne *via* les fédérations professionnelles du TRM. Enfin, pour analyser les compromis, des scénarios de planning journaliers présentant des caractéristiques « contrôlées » sur les dimensions économique, environnementale, SST ont été construits.

Résultats

L'activité des planificateurs est segmentée. L'intensité du travail et la charge informationnelle véhiculée par les différents outils sont des constantes. Les contraintes sont considérées par les planificateurs comme dépendantes les unes des autres et traitées globalement. Leur hiérarchisation est contingente au contexte. La santé et la sécurité des salariés ne sont pas spontanément évoquées, la dimension physique. Les dimensions mentales et émotionnelles sont considérées comme inhérentes au métier de conducteur et les planificateurs soulignent que la dimension émotionnelle relève d'une gestion individuelle. Toutefois, la prise en compte de la dimension santé et sécurité dans la planification est effective pour la majorité des planificateurs même si une variabilité de l'intégration des dimensions est constatée. Les stratégies des entreprises conduisent les planificateurs à adapter constamment la gestion des contraintes et la prise en compte des différentes dimensions.

Conclusion

L'analyse des conditions d'élaboration des compromis faits par les planificateurs lors de l'élaboration d'une tournée semble une piste robuste. Les résultats confirment l'importance du contexte lors de la planification ; que ce soit au travers des contraintes, des ressources, des compromis, il apparaît peu adapté d'affecter des poids *a priori* à ces différents éléments intervenant dans la planification des tournées et des plannings journaliers. Les propositions visant à intégrer le contexte sont actuellement en cours et doivent encore être évaluées en situation opérationnelle.

Projet financé par l'ANR.



Industrie du futur et robotique collaborative : qualité du travail, santé et compétences des opérateurs ou comment adapter les dispositifs techniques et managériaux ?

Flore Barcellini¹, Caroline Moricot², Anne-Cécile Lafeuillade¹, Marca Saraceno², Richard Bearee⁴, Tahar-Hakim Benchekroun¹, Willy Buchmann¹, Gérard Dubey², Céline Rosselin², Thierry Pillon², Ali Siadat³

¹Centre de recherche sur le travail et le développement-Le Cnam, Paris, ²CETCOPRA – Université Paris 1, Paris, ³ENSAM, LCFC, Metz, ⁴ENSAM, LSIS, Lille

Biographie

Flore Barcellini, professeure des universités en ergonomie au CNAM, y dirige le département Travail. Membre du Centre de Recherche sur le Travail et le Développement et chercheure associée à l'Institut Interdisciplinaire de l'Innovation, elle s'intéresse aux transformations du travail liées à des innovations sociales (travail dans les communautés en ligne, transitions agro-écologiques, fab-lab) ou technologiques (travail à distance, avec des robots collaboratifs) (Barcellini, 2015), dans la perspective de l'ergonomie constructive (Falzon, 2013).

Introduction

La transition vers des usines du futur engage à une réflexion sur les transformations du travail et sur la place des opérateurs impliqués dans un « agir » en coopération avec des nouveaux dispositifs, dont les cobots. Le projet HECTOR renvoie à différents enjeux :

- politiques et sociaux : penser de manière systémique les questions de santé/sécurité/développement et de management des transitions vers les industriels du futur ;
- de santé/sécurité au travail et de gestion des compétences à travers l'investigation du rôle effectif de la cobotisation dans le travail dans la réduction/augmentation de certaines pathologies du travail (TMS, RPS), le développement des compétences et l'enrichissement du travail (les cobots et la conduite de leur introduction pouvant favoriser un travail « bien fait » et en santé ou au contraire le rigidifier) ;
- de management/conduite des transitions permettant de créer les conditions de réalisations d'un travail soutenable et d'organisations plus agiles. Dans quelles mesures les modèles de management de la transition peuvent-ils intégrer les humains dans les processus de prise de décision et de conception, leur permettre de développer un travail de qualité, qui fasse sens pour eux ?

• des enjeux technologiques liés en particulier aux possibilités d'adaptation dynamique des outils de conception (simulation) production et des cobots à la diversité des situations rencontrées par les opérateurs dans le cours de leur action et par les entreprises dans leurs perspectives d'évolutions. Cela implique d'intégrer les enjeux humains, santé/sécurité et organisationnels dès les phases de conception ou de mutation des systèmes de production.

Objectifs/méthodes

L'objectif de ce projet de recherche collaborative, alliant SHS (sociologie, anthropologie, ergonomie) et SPI (Génie Industriel), est de produire des connaissances permettant de soutenir les mutations des organisations productives à moyen et long termes en s'intéressant plus particulièrement :

- aux transformations du travail (production, maintenance, ingénierie, management) en lien avec l'introduction de cobots dans les PME ;
- à la place du travail dans ces projets de transformations ;
- à la production de modèles et de méthodes permettant la conception de situations de travail collaboratif « humains-robots » favorisant le travail « en santé », la performance, et le développement de compétences.

Penser le futur des industries et agir sur leur développement nécessite de comprendre ce qui est « déjà la » et d'accompagner la transition vers ce qui « pourrait être ». Les trois premières tâches de notre projet s'appuient sur des diagnostics politiques, sociaux, technologiques, organisationnels et sur la collaboration effective humains-cobots qui serviront à l'élaboration de démarches permettant d'agir sur la conduite des transitions vers des industries donnant une place à la diversité d'acteurs impliqués et au travail « bien fait ».

Références

- Barcellini, F. (2015). Développer des Interventions Capacitantes en Conduite du Changement : Comprendre le travail collectif de conception, agir sur la conception collective du travail. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Bordeaux, 17 avril 2015.

- Barcellini, F., Détienne, F. et Burkhardt, J-M. (2013). A situated approach of roles and participation in Open Source community. Human-Computer Interaction. DOI:10.1080/07370024.2013.812409.

Projet financé par l'ANR.

NOTES



NOTES

