

## Congrès

# LES RISQUES BIOLOGIQUES PROFESSIONNELS, ÉTAT DES LIEUX DES CONNAISSANCES

Nancy, France, 5 au 7 juin 2019

*Compte-rendu de la conférence « Les risques biologiques » organisée par l'INRS*

Selon l'enquête Sumer de 2017, 19,3% des travailleurs se déclaraient exposés à des risques biologiques dans le cadre de leur activité. La conférence consacrée aux risques biologiques qui s'est tenue à Nancy du 5 au 7 juin 2019 a réuni plus de 200 participants issus d'une vingtaine de pays. Elle a permis de dresser un état des lieux sur ces risques en milieu professionnel, en abordant au cours de quatre sessions successives les effets des agents biologiques sur la santé des travailleurs exposés, les méthodes et les stratégies pour l'évaluation qualitative et quantitative des risques biologiques, les caractéristiques des expositions au poste de travail, et les mesures de prévention disponibles pour réduire les expositions. Cet article apporte un éclairage sur le contenu des contributions orales.

**BIOLOGICAL RISKS IN THE WORKPLACE: STATE OF KNOWLEDGE - INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOLOGICAL RISKS HELD BY INRS - According to the Sumer 2017 survey, 19.3% of workers indicated that they are exposed to biological risks within the framework of their jobs. The biological risks conference held in Nancy from 5 to 7 June 2019 brought together more than 200 participants from about twenty countries. It gave an overview of these risks in the occupational environment, with four successive sessions addressing the effects of biological agents on the health of exposed workers, the methods and strategies for the qualitative and quantitative assessment of biological risks, the characteristics of exposure at workstations, and the prevention measures available for reducing exposure. This article goes over the content of the oral contributions.**

PHILIPPE  
DUQUENNE  
INRS,  
département  
Ingénierie  
des procédés\*

**\*Contributions:**

Catherine  
Aubry, Sarah  
Burzoni, Benoît  
Courrier, Patricia  
Dirrenberger,  
Marie-Cécile  
Bayeux-Dunlas,  
Valérie Demange,  
Louis Laurent,  
Jean-Pierre  
Leclerc,  
Ronan Levilly,  
Pauline Loison,  
Sophie Ndaw,  
Xavier Simon,  
Isabelle Sponne  
(INRS).

**Effets des agents biologiques sur la santé des travailleurs**

**Jean-François Gehanno** (CHU de Rouen) a dressé un panorama de la littérature sur les risques infectieux. Les personnels soignants sont particulièrement exposés à la transmission interhumaine de diverses maladies d'origine virale, mais aussi bactérienne, comme la tuberculose. Sont également concernés les techniciens réalisant des analyses biologiques, notamment à cause de l'aérosolisation de micro-organismes lors d'opérations de routine. Les personnes en contact avec des animaux

(domestiques, sauvages, d'élevage) sont également une population à risque, divers micro-organismes pouvant être transmis de l'animal à l'homme. Parmi les travaux évoqués, ceux portant sur la leptospirose et la maladie de Lyme. Ce panorama a été complété par **Isabelle Thaon** (CHU de Nancy), qui a évoqué les risques immunoallergiques et toxiques. Des allergènes (protéines, espèces fongiques, bactéries), auxquels le travailleur est exposé sur son lieu de travail, peuvent être à l'origine d'une réaction du système immunitaire et entraîner une pneumopathie d'hypersensibilité,



qui se traduit par des symptômes tels que la sensation de gêne respiratoire ou la toux. De nombreux cas de pneumopathies d'hypersensibilité ont été observés pour certaines professions. Par exemple, le secteur de l'agroalimentaire est souvent cité avec notamment « la maladie du poumon de fermier » ou « la maladie du poumon de fromager ». Ce n'est pas le seul secteur concerné et des cas ont été rapportés ailleurs (liés aux contaminants des huiles de coupe dans l'industrie mécanique ou chez les joueurs d'instruments à vent, par exemple). D'autre part, dans le secteur agricole, on observe dans les populations, exposées à des poussières contenant des matériaux organiques, des syndromes toxiques liés à l'exposition à des poussières organiques, qui se manifestent quelques heures après l'exposition par des symptômes respiratoires et un état pseudo-grippal. Contrairement au cas de pneumopathie d'hypersensibilité, la radiographie des poumons ou la spirométrie, tests explorant la fonction respiratoire, ne laissent pas apparaître d'anomalie (Cf. 1 - *Pour en savoir plus*).

**Élisabeth Bouvet** (HAS, Université Paris-Diderot) a présenté les dernières données disponibles et les perspectives concernant les risques biologiques chez les soignants. Ainsi, dans les pays industrialisés, le risque de transmission par voie sanguine des virus du sida ou des hépatites B et C a fortement diminué, à la suite de la réduction des accidents exposant au sang, liée à l'application de précautions standard, à l'utilisation de matériels

de sécurité, à la mise à disposition d'un traitement après exposition, ainsi qu'à la vaccination contre l'hépatite B. En outre, les patients sont moins contaminants, du fait de traitements efficaces. Si le risque de tuberculose semble maîtrisé dans ces mêmes pays, la vigilance doit cependant être maintenue, étant donné la multirésistance aux antibiotiques de certains cas importés (1 à 2% des cas déclarés en France).

La grippe et la rougeole nécessitent une prise de conscience importante, avec une meilleure adhésion de l'ensemble des professionnels de santé et de la population générale aux programmes de vaccination.

**Dominique Abiteboul** (INRS) a fait le point sur l'infection à cytomégalovirus (CMV) dans les métiers de la petite enfance. Souvent bénigne, cette infection est préoccupante chez les immunodéprimés et les femmes enceintes. C'est l'infection congénitale la plus fréquente dans les pays économiquement développés. Une revue de la littérature a montré qu'en milieu professionnel, les femmes travaillant au contact de jeunes enfants en crèche ont un risque accru de contracter une infection à CMV. Le strict respect des mesures d'hygiène et l'information des femmes enceintes constituent les seules recommandations qui fassent consensus. Le dépistage de l'infection à CMV n'est recommandé ni en population générale ni en milieu professionnel, comme l'a rappelé le Haut Conseil de santé publique en 2018.



**Gaëtan Deffontaines** (CCMSA) a présenté les recommandations d'un groupe d'experts réuni à l'initiative de la Caisse centrale de la mutualité sociale agricole en 2018, relatives au suivi médical des travailleurs après exposition à la tuberculose bovine. À la suite de l'instauration de mesures sanitaires, la prévalence des foyers de tuberculose bovine dans les élevages en France est tombée sous le seuil de 0,1% dans les années 1990. Cette prévalence tend à augmenter depuis une quinzaine d'année, mais l'incidence de cas humains de tuberculose à *Mycobacterium bovis* reste très faible en France. Ces mesures portent notamment sur le suivi médical après exposition à un réservoir animal en élevage bovin, en abattoir ou dans le secteur de la chasse. Pour les travailleurs exposés, étant donné la faible transmissibilité de *M. bovis* à l'homme, il n'y a aucune indication de dépistage au cours du suivi médical individuel, pas non plus de vaccination préventive.

**Caroline Herr** (Bavarian Health and Food Safety Authority) a décrit, dans une partie de son exposé, un certain nombre de risques émergents qui méritent une attention particulière. Sont notamment citées : l'exposition à des légionnelles dans des systèmes utilisant de l'eau (comme les stations de lavage de véhicules), la contamination par des animaux sauvages, des zones de stockage en plein air de matériaux destinés à être recyclés, et la propagation de bactéries antibiorésistantes dans le secteur de l'élevage.

### Méthodes pour l'évaluation qualitative et quantitative des risques biologiques

#### Mesures d'exposition

**Anne-Mette Madsen** (NRCWE, Danemark) a dressé un état des connaissances concernant les méthodes d'évaluation quantitative des expositions à des agents biologiques. Les méthodes de mesure les plus courantes reposent sur un prélèvement par filtration et une analyse des bactéries et moisissures cultivables, ainsi que des endotoxines. Ces mesures sont utilisées pour objectiver et documenter les expositions des travailleurs dans un grand nombre de secteurs d'activités. L'identification des micro-organismes présents dans l'air des lieux de travail est désormais facilitée par l'émergence de nouvelles techniques plus rapides et plus exhaustives, telles que la spectrométrie de masse Maldi-Tof et le séquençage de l'ADN à haut débit, couplé à des analyses bio-informatiques. De même, l'analyse par qPCR<sup>1</sup> avec oligonucléotides spécifiques permet la quantification des taxons microbiens ciblés. Dans le cadre de l'évaluation de l'exposition, il importe également de disposer de données sur la viabilité et la capacité des micro-organismes à être cultivés, ainsi que sur leurs propriétés inflammatoires. Dans tous les cas, les résultats de différentes approches

(mesure des concentrations, identification, marqueurs d'inflammation et dépôts de particules dans les voies respiratoires) doivent idéalement être combinés en relation avec la survenue de problèmes respiratoires, de nausées ou de diarrhées pour appréhender la complexité des expositions aux bioaérosols dans les environnements de travail.

**Caroline Duchaine** (Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Laval, Québec) a apporté des compléments sur les méthodes de mesure des bioaérosols. Le standard est la méthode par culture qui reste à privilégier s'il s'agit de comparer des résultats à des données anciennes. Récemment sont apparues des techniques moléculaires, comme la qPCR, visant à analyser les acides nucléiques contenus dans les aérosols. Elles permettent de détecter des espèces non cultivables, d'obtenir des résultats sur des masses d'échantillons dans des temps courts et de mieux appréhender la composition d'un aérosol. En revanche, les taxons minoritaires peuvent ne pas être détectés et les différents états physiologiques des micro-organismes (morts, vivants, dormants, etc.) ne sont pas différenciés. En pratique, les deux techniques, par culture et biologie moléculaire, sont complémentaires. L'auteur argumente sur la manière dont les résultats d'une analyse de bioaérosols sont influencés par divers choix expérimentaux : la technique de prélèvement (filtre ou liquide), l'extraction des acides nucléiques, le choix des amorces pour la duplication des ADN, les traitements informatiques, etc.

**Caroline Herr** (Bavarian Health and Food Safety Authority) a abordé la problématique des risques liés aux bioaérosols en milieu du travail. Les méthodes et outils pour mesurer l'exposition doivent encore progresser : protocoles de mesures représentatifs du profil et de la durée d'exposition, méthodes de dosages standardisées, nouvelles méthodes d'analyse, etc. La revue de la littérature met également en évidence un manque de standardisation de la mesure des effets sur la santé. Ces difficultés dépassées, il sera peut-être possible d'établir des seuils d'exposition fondés sur des relations dose-réponse.

#### Progrès et performances des méthodes

**Clara Pogner** (CHB, Autriche) a exposé dans quelle mesure les essais menés en conditions contrôlées au laboratoire, dans des chambres expérimentales confinées, pouvaient contribuer à l'évaluation de nouveaux systèmes de détection quantitative des bioaérosols. Différentes méthodes (comptage par microscopie, Mycometer et culture) ont été mises en œuvre pour la quantification des champignons dans des bioaérosols générés à partir de cultures mixtes contenant trois espèces différentes

(*Aspergillus brasiliensis*, *Cladosporium sphaerospermum*, *Penicillium rubens*). Les résultats soulignent l'utilité des approches en laboratoire pour l'examen des caractéristiques des méthodes de mesures des bioaérosols, mais une validation dans des conditions réelles d'exposition reste nécessaire. Ce dernier point a été conforté par les travaux présentés par **Xavier Simon** (INRS, France), qui portaient sur la comparaison des méthodes de prélèvement sur filtre dans une cassette fermée (CFC)<sup>2</sup> avec des biocollecteurs en voie liquide, pour la mesure des concentrations en micro-organismes cultivables. Les mesures comparatives ont été réalisées à points fixes dans quatre atmosphères professionnelles présentant des concentrations et des biodiversités microbiennes variées. Les résultats suggèrent la pertinence d'un dispositif de filtration tel que la CFC pour mesurer les concentrations en champignons cultivables (spores hydrophobes et résistantes aux dommages physiologiques induits par l'environnement). Les concentrations en bactéries cultivables mesurées par les biocollecteurs en voie liquide sont proches de ou inférieures à celles obtenues à partir de CFC.

Deux communications ont porté sur la comparaison des deux méthodes de dosage des endotoxines : l'essai par chromogénie cinétique au Lysat d'amœbocytes de limules (LAL) et la méthode au facteur C recombinant (rFC). Les essais ont été menés à partir d'échantillons prélevés en entreprises. Les données présentées par **Annette Kolk** (IFA, Allemagne) proviennent d'environ 850 échantillons analysés entre 2007 et 2017. Elles indiquent des différences entre les mesures effectuées par les deux méthodes. Il existe notamment des variations selon les secteurs investigués ; elles apparaissent principalement si les concentrations en endotoxines sont plutôt élevées avec les deux méthodes. **Verena Liebers** (IFA, Allemagne) a présenté des résultats issus de l'analyse d'environ 130 échantillons et a complété son étude par des essais de laboratoire. Ceux-ci indiquent une corrélation significative entre les deux méthodes, mais l'auteur précise que la comparaison des résultats obtenus avec les méthodes LAL et rFC pourrait être biaisée parce que les niveaux de concentration mesurés pour un même échantillon peuvent être différents d'une méthode à l'autre.

Sur ce même sujet des endotoxines, **Olivier Schlosser** (Suez, France) a présenté une étude visant à établir si la concentration en poussières inhalables pouvait être un indicateur de la concentration d'endotoxines dans l'air et contribuer à l'évaluation et à la gestion du risque lié aux endotoxines. Les mesures ont été effectuées dans deux secteurs du traitement des déchets : celui du compostage des boues d'épuration (8 sites, 110 prélèvements), et celui du séchage thermique des boues

(8 sites, 81 prélèvements). Les résultats indiquent que le niveau de poussières représente un facteur déterminant hautement significatif de la concentration d'endotoxines dans les secteurs investigués. Ils suggèrent que la mesure de la poussière peut aider efficacement au choix des mesures de prévention contre les risques liés aux endotoxines dans les activités professionnelles considérées dans l'étude. En revanche, la mesure des poussières ne remplace pas celles des endotoxines dans une démarche d'évaluation du risque et la mesure spécifique des endotoxines demeure nécessaire pour évaluer l'exposition dans le compostage et le séchage des boues.

Les travaux de **Carla Viegas** (H&TRC, Portugal) ont montré que la biosurveillance constitue un autre moyen pour évaluer l'exposition aux mycotoxines. Cette démarche consiste à détecter le composé parent (mycotoxine) et ses métabolites dans les milieux biologiques facilement accessibles, comme le sang et l'urine. L'auteur a présenté les données issues de plusieurs projets de recherche menés dans différents environnements professionnels. Les résultats indiquent que l'exposition aux mycotoxines peut se faire par voie alimentaire, mais aussi par d'autres voies et dans des environnements professionnels spécifiques. La biosurveillance peut aider à dévoiler plusieurs aspects pertinents de l'exposition, notamment les mélanges les plus courants et le rôle de l'environnement professionnel dans l'exposition totale aux mycotoxines.

### Évaluation des risques biologiques

Concernant l'évaluation des risques biologiques, **Sarah Burzoni** (INRS, France) a présenté un état des lieux et une analyse critique des principales démarches qui ont été publiées sur l'évaluation qualitative du risque biologique en milieu professionnel. À ce jour, aucune de ces démarches n'intègre de manière exhaustive l'ensemble des paramètres permettant de réaliser une évaluation complète. Ce travail a toutefois permis de définir les composantes d'une démarche « idéale ». Un retour d'expérience sur le déploiement d'une méthodologie pour l'évaluation qualitative du risque biologique en entreprise a été proposé par deux coordinatrices en biosécurité travaillant dans un groupe Français, **Corine De Souza** et **Corinne Le Caër** (Sanofi, France). Elles ont présenté une méthodologie d'évaluation adaptée aux activités de Recherche et de développement qui a été déployée de manière homogène sur différents sites. Cette évaluation des risques comprend plusieurs étapes, qui nécessitent de bien comprendre et décrire les activités de travail menées, les agents biologiques manipulés et leur mode de transmission, les moyens de prévention et de protection





© Fabrice Dimier pour l'INRS/2019

utilisés, la fréquence d'exposition, la probabilité qu'un scénario accidentel se produise, etc. Un outil informatique, mutualisé au sein du groupe, permet de consigner l'ensemble des modalités de cette évaluation et de calculer automatiquement le score de risque. **Stefan Mayer** (BGHW, Allemagne) a ensuite présenté une méthode pragmatique d'évaluation des risques biologiques, fondée sur l'analyse de l'exposition aux bioaérosols sur les lieux de travail. Cette méthode repose sur le fait que le risque augmente avec le niveau, la durée et la fréquence d'exposition. Afin de classer le niveau de risque, il est proposé d'utiliser un tableau qui croise trois niveaux d'exposition ( $< 10^5$ , entre  $10^5$  et  $10^6$ ,  $> 10^6$  UFC/m<sup>3</sup> pour les moisissures cultivables; et  $< 10^3$ , entre  $10^3$  et  $10^4$ ,  $> 10^4$  UE/m<sup>3</sup> pour les endotoxines), avec trois durées d'exposition (courte, moyenne et longue). Enfin, **Udo Jäckel** (BAuA, Allemagne) a apporté des éléments de réflexion concernant la contribution des mesures quantitatives d'exposition aux bioaérosols à l'évaluation des risques biologiques. L'auteur a souligné que les méthodes de mesure disponibles apportent des éléments concrets sur les niveaux d'exposition des travailleurs aux entités microbiennes. En revanche, les données recueillies ne permettent pas de préciser les risques engendrés par ces expositions. Les progrès, qui s'avèrent encore nécessaires sur la caractérisation des expositions (fréquences, durées et niveaux) et sur les méthodes et stratégies de mesures (analyses de composés microbiens, quantification de groupes spécifiques et étude de la biodiversité), ont été évoqués à partir d'exemples émanant de recherches menées dans son institut.

La session a également été marquée par la présentation de travaux relatifs à la toxicologie des métabolites microbiens. **Stefanie Klar** (BAuA, Allemagne) a présenté un modèle *in vitro* permettant d'étudier la toxicité de métabolites bactériens. La méthodologie, fondée sur les mesures en temps réel de la viabilité et de l'intégrité cellulaire par impédancemétrie, a été réalisée sur une lignée de cellules pulmonaires humaines (souche NuLi1), exposées à plusieurs souches bactériennes produisant ou non des toxines. Les résultats présentés montrent la pertinence du modèle et des analyses d'impédancemétrie et de viabilité pour l'évaluation de la toxicité de bactéries potentiellement présentes en milieu de travail. Par ailleurs, cette méthode est transférable pour l'évaluation d'autres bioaérosols d'origine professionnelle.

### Expositions professionnelles aux agents biologiques

La connaissance des agents biologiques présents sur les lieux de travail et auxquels les travailleurs sont susceptibles d'être exposés est essentielle pour une meilleure connaissance des situations exposantes, pour l'évaluation des risques et pour déployer les stratégies de prévention. **Philippe Duquenne** (INRS) a introduit la session sur les caractéristiques des bioaérosols aux postes de travail en rappelant combien la compréhension des situations exposantes est un élément-clé dans la gestion du risque biologique. L'exposé a permis de faire le point des connaissances sur les propriétés des bioaérosols et sur les facteurs qui les influent. Des données ont été publiées dans

des secteurs d'activités diversifiés. Les niveaux de contamination des ambiances de travail et les expositions individuelles sont les plus documentés. Les connaissances concernant la composition en espèces et la distribution en taille des bioaérosols ont progressé ces dernières années, mais doivent encore être développées. De même, il reste à mieux préciser les facteurs influençant ces expositions et, d'une manière générale, à mieux comprendre les situations exposantes, afin de gérer les risques biologiques associés. Il est rappelé qu'aucune VLEP n'existe pour interpréter les résultats de mesure. Des valeurs guides pragmatiques ont été proposées (par exemple, 200 et 1 000 UE/m<sup>3</sup> pour les endotoxines en France), mais sans consensus international. Les perspectives de travail concernent la poursuite des travaux engagés vers une meilleure connaissance des expositions, la prise en considération des poly-expositions et les possibles conséquences des phénomènes observés, comme la progression de l'antibiorésistance ou le réchauffement climatique.

Les communications orales qui ont suivi ont abordé plusieurs sujets d'actualité. La présentation des résultats de l'enquête Sumer (Surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels<sup>3</sup>), par **Sigolène Morand** et **Sarah Memmi** (Inspection médicale du travail – Dares, France), a révélé une augmentation de la proportion de travailleurs se déclarant exposés aux agents biologiques entre 1994 et 2017. Cette progression est notamment marquée dans le cas de l'exposition potentielle (« *les agents biologiques soit font partie de l'activité elle-même, soit sont liés à l'environnement dans lequel elle se déroule* »), en comparaison à l'utilisation « délibérée » (« *le processus industriel nécessite l'utilisation d'agents biologiques* »). Une interprétation possible de cette progression est que les risques biologiques sont de mieux en mieux connus par les préventeurs et que travailleurs sont d'avantage en capacité de les repérer dans les entreprises. Les enquêtes indiquent également que les mesures de protection se sont améliorées. Toutefois, de nombreuses situations exposantes subsistent, pour lesquelles ces mesures ne sont pas appropriées, même dans le cas de l'utilisation « délibérée ». En tout état de cause, les résultats des enquêtes peuvent être utilisés pour définir des populations de travailleurs pour lesquelles des actions de prévention semblent nécessaires (professions « vertes », travailleurs à domicile, etc.) et apportent également des pistes concrètes pour la prévention.

**Michèle Tremblay** (Direction régionale de santé publique de Montréal, Canada) a présenté une étude sur la surveillance des expositions professionnelles accidentelles à des liquides biologiques, menée au Québec entre 1999 et 2018 parmi des

travailleurs municipaux. L'étude était fondée sur l'exploitation des données issues d'un questionnaire visant à évaluer le risque post-exposition et les mesures prophylactiques en cas d'exposition de travailleurs aux liquides biologiques. Plus de 14 000 cas ont été évalués. Le travail a permis de construire un projet, en vue d'identifier les professions municipales les plus à risque de contamination par des agents pathogènes afin de renforcer les messages de prévention. Une approche similaire devrait être entreprise dans le secteur de la santé, pour lequel des risques plus importants ont été identifiés.

**Anne Straumfors** (Stami, Norvège) a décrit l'exposition aux moisissures dans l'industrie céréalière norvégienne. Les mesures ont été obtenues à partir d'échantillons d'air à poste fixe sur la durée des postes de travail. L'utilisation du séquençage à haut débit (approche par biologie moléculaire) a permis de caractériser la biodiversité fongique. La variabilité spatio-temporelle a été explorée en réalisant des mesures sur trois sites climatiquement différents et pendant deux saisons (hiver et automne). Ainsi, de fortes variations saisonnières et climatiques des communautés fongiques ont été observées, certains taxons étant davantage spécifiques de certaines saisons et zones climatiques. Ce premier aperçu du large spectre d'espèces fongiques observé au poste de travail dans l'industrie céréalière ouvre de nombreuses perspectives d'études ultérieures.

**Sophie Ndaw** (INRS) a présenté une étude relative à la biosurveillance des expositions aux mycotoxines de travailleurs évoluant dans les installations de stockage de grains. L'équipe a développé une méthode d'analyse des mycotoxines et de leurs métabolites dans les urines, fondée sur la chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse à haute résolution (LC-HRMS) après une étape d'hydrolyse. La faisabilité et la performance de la méthode ont ensuite été évaluées à partir d'échantillons d'urine provenant des travailleurs. Les résultats de l'étude de terrain indiquent que les contaminants le plus souvent détectés sont les mycotoxines déoxynivalénol et zéaralénone, ainsi que l'ochratoxine A. L'aflatoxine B1, la fumonisine B1, la toxine T-2 et la toxine HT-2 sont les mycotoxines les plus rarement détectées. Cependant, les co-expositions sont fréquentes dans le secteur investigué. L'application de la méthode dans le cadre d'études d'évaluation à grande échelle permettra d'obtenir des données d'exposition réalistes pour les mycotoxines en milieu professionnel.

**Patricia Dirrenberger** (INRS) a présenté les résultats de six campagnes de mesures effectuées dans cinq unités de méthanisation-compostage situées en France. Les résultats indiquent des situations contrastées d'une entreprise à l'autre et, pour une



même entreprise, d'un poste à l'autre. Les concentrations ambiantes mesurées sont comprises entre < 20 et 3000 UE/m<sup>3</sup> pour les endotoxines, entre < 1x10<sup>3</sup> et 3x10<sup>6</sup> UFC/m<sup>3</sup> pour les bactéries et champignons mésophiles cultivables et moins de 0,1 à 25 ppmv pour l'ammoniac. L'étude montre que 16 % et 13 % des expositions individuelles mesurées sur l'ensemble des sites sont supérieures à 10<sup>6</sup> UFC/m<sup>3</sup>, respectivement pour les bactéries et les champignons mésophiles cultivables; 7 % sont supérieures à 10 ppmv pour l'ammoniac. Sur certains postes de travail, on observe une polyexposition avérée.

La présentation de **Dierk Poether** (BAuA, Allemagne) sur ce même secteur d'activité a conforté ces valeurs de concentrations. Elle apporte des données relatives à la biodiversité dans les bioaérosols émis dans les entreprises visitées, montrant une dominance des genres appartenant au taxon des *Bacillales* ou des *Lactobacillales* pour les eubactéries (analyses des séquences de l'ARNr 16S) et des genres *Aspergillus* et *Penicillium* pour les champignons. En termes de risques professionnels, l'attention est attirée sur la biodiversité fongique et ses variations au cours du temps dans le secteur de la méthanisation des déchets.

**Anne Oppliger** (Unisanté, Suisse) a décrit un travail dans les élevages porcins suisses. Il s'agissait d'étudier l'influence d'un contact proche des éleveurs avec des porcs, à partir de l'analyse de leur microbiote nasal. Les expositions ont été évaluées à partir de prélèvements par écouvillonnage nasopharyngé, pour deux familles de micro-organismes différents (moisissures et bactéries). Le séquençage haut débit a été utilisé pour caractériser l'exposition aux communautés bactériennes. Une approche originale « *une seule santé* » a été adoptée: des prélèvements par écouvillonnage nasopharyngé ont été effectués sur les éleveurs porcins et les animaux, couplés à des prélèvements d'air à point fixe. Ces mesures ont permis de constater que les éleveurs de porcs présentaient une diversité microbienne plus importante que les témoins (personnes qui ne sont pas en contact avec des porcs). De plus, ils présentaient un microbiote plus proche de celui des porcs et l'air des lieux de travail que celui des éleveurs de bovins ou des populations non-exposées. Une influence saisonnière a également été constatée dans la composition des échantillons provenant des élevages.

**Carla Viegas** (H&TRC, Portugal) a restitué des travaux d'étude portant sur l'industrie du liège au Portugal. La caractérisation des espèces fongiques dans des prélèvements nasaux a été réalisée selon deux méthodes analytiques, par culture et par une approche de biologie moléculaire. Dans ce dernier cas, l'ADN d'espèces fongiques, connues pour provoquer des pneumopathies d'hypersensibilité,

a été amplifié spécifiquement par PCR. Ces deux approches complémentaires ont permis d'obtenir une image plus complète du mycobiote nasal des travailleurs.

## Prévention des risques biologiques en milieu de travail

### Épuration de l'air et des surfaces

Les moyens de protection vis-à-vis des aérosols contaminés par des agents infectieux ont été discutés par **Sergei Grinshpun** (Université de Cincinnati, États-Unis). La stratégie principale consiste soit à traiter l'aérosol pour détruire les micro-organismes qu'il transporte, soit à éliminer l'aérosol par filtration. En ce qui concerne les procédés de destruction des micro-organismes, les plus efficaces comprennent l'irradiation par les UV, relativement performant mais qui présente des limites, comme une perte d'efficacité quand l'air est trop humide ou se déplace trop rapidement, et les traitements thermiques. Il est à noter que certains micro-organismes se présentent sous forme de spores très résistantes et qu'il est parfois nécessaire d'atteindre des températures de l'ordre de 400°C pour les inactiver. Les autres procédés, comme le traitement par l'ozone, l'oxydation photocatalytique, l'ionisation de l'air ou les micro-ondes, donnent des résultats insuffisants. L'intervenant a également présenté des recherches visant à inactiver un nuage chargé en agents biologiques dangereux et relâché à des fins malveillantes. Le principe consiste à injecter dans le nuage un composé capable de dégager beaucoup d'énergie et également de produire des composés biocides, par exemple un mélange iode/aluminium.

En ce qui concerne les procédés fondés sur la filtration, l'orateur a abordé deux questions relatives aux masques :

- les procédures de certification de leur efficacité. Il souligne l'importance de prendre en considération globalement le masque et non pas seulement l'élément filtrant, de manière à tenir compte des fuites entre le masque et la peau. Pour réaliser de telles certifications est développé un mannequin couplé à une pompe simulant la respiration. L'orateur décrit des masques avec une conception améliorée permettant d'accroître l'étanchéité au niveau de la peau ;
- la capacité du filtre à retenir ou à éliminer des agents biologiques. Il existe différentes méthodes, fondées sur l'incorporation de substances biocides dans le filtre, l'utilisation de sources micro-ondes (voire d'un four à micro-ondes) ou infrarouges, ou encore la charge électrique des fibres, s'il s'agit de virus.

Les présentations qui suivent ont apporté des éclairages sur ces questions. **Alan Beswick** (HSL, Royaume-Uni) a abordé la problématique des pro-

cédures de décontamination des surfaces, souvent mises en œuvre en vue de réduire l'exposition des travailleurs aux micro-organismes infectieux. Il a notamment présenté des études relatives aux performances des méthodes employées pour la décontamination de l'équipement de laboratoire (ozonation, fumigation avec des formaldéhydes, traitement au peroxyde d'hydrogène, etc.). Ces études indiquent que la fumigation reste nécessaire dans certaines situations de travail et que des traitements sont possibles, avec de nouveaux systèmes moins volumineux et moins coûteux. Il est primordial de valider l'efficacité de chaque système vis-à-vis des micro-organismes ciblés, en utilisant des modèles microbiens adaptés et des scénarios de test réalistes. La détérioration des matériels par les substances biocides est également à prendre en compte. Ces données ont été complétées par **Marie-Ève Dubuis** (Université Laval, Canada) qui a présenté ses recherches sur l'inactivation des virus aéroportés par l'utilisation de l'ozone. L'ozone est un gaz ayant un grand pouvoir désinfectant dans l'eau et l'étude visait à investiguer l'effet de la concentration en gaz et de l'humidité relative (HR) de l'air sur des aérosols viraux modèles, produits en laboratoire. Les premiers essais, menés en utilisant quatre phages modèles (Phi6, PhiX174, PR772 et MS2) à une concentration en ozone de 1,13 ppm, ont permis de valider le système d'exposition; ils montrent aussi que l'inactivation la plus importante se produit avec une HR de 85%. D'autres essais, menés avec le norovirus murin (MNV-1), montrent un effet combiné de la concentration en ozone, de l'humidité relative de l'air et de la durée d'exposition sur l'inactivation des virus. Le dispositif expérimental développé permet d'améliorer les connaissances relatives à l'effet de l'ozone sur l'inactivation des virus aéroportés et ouvre des perspectives prometteuses pour l'évaluation des performances des méthodes de décontamination de l'air en général.

### Les appareils de protection respiratoire

Le choix et l'ajustement des appareils de protection respiratoire (APR) a été discuté tout d'abord par **Marie-Cécile Bayeux** (INRS). Il a été montré l'importance du choix de masques adaptés au visage et de leur bon ajustement. Malheureusement, à ce jour, de nombreux centres hospitaliers ne disposent que d'un seul modèle de masque et les essais d'ajustement ne sont pas réalisés. Il serait utile d'aider les établissements à choisir des modèles adaptés à la morphologie des soignants. On peut également se poser la question de la mise à disposition d'un protocole d'essai simplifié, afin de tenir compte des contraintes des établissements de soins et de favoriser la réalisation d'un essai d'ajustement pour les soignants prenant en charge des patients

atteints d'infections transmissibles par inhalation. Sur ce même thème, **Alex Birrel** (*Clean Space Technology Pty Ltd*) a présenté un nouveau type d'APR à ventilation assistée, muni d'un système de vérification continue de la qualité de l'ajustement, avec 100 mesures de la pression par seconde. Les performances de cet APR ont été quantifiées sous la forme d'une corrélation expérimentale, entre la variation de pression à l'intérieur et à l'extérieur du masque et les valeurs d'un *fit-test*<sup>4</sup> utilisant un capteur de particules.

### Exemples de mesures déployées en entreprises pour la prévention des risques biologiques

La fin de la session a été consacrée à la présentation de trois exemples de mise en œuvre de mesures de prévention des risques biologiques. **Isabelle Balty** (INRS) a présenté une étude réalisée sur les postes d'accrochage de volailles menée dans une quinzaine d'abattoirs, afin de mesurer les expositions des opérateurs et d'évaluer en parallèle les caractéristiques aérodynamiques des locaux d'accrochage. En effet, l'accrochage génère des poussières contaminées par des bactéries dans l'air des ateliers. L'inhalation de ces poussières peut provoquer des atteintes de l'état général des travailleurs ou des symptômes respiratoires comme des infections (ornithose), des effets inflammatoires, des symptômes respiratoires aigus et des altérations irréversibles de la fonction respiratoire. Les résultats des campagnes de mesures indiquent des niveaux d'expositions souvent supérieurs à 5 mg/m<sup>3</sup> pour les poussières inhalables et à plusieurs milliers d'UE/m<sup>3</sup> pour les endotoxines. Ces niveaux d'exposition nécessitent des mesures de prévention dans les ateliers considérés. L'étude a permis de prévention techniques et suggère aussi de sensibiliser et d'informer les travailleurs à la fois sur les risques biologiques, notamment l'ornithose, et sur la conduite à tenir en cas d'apparition de symptômes (cf. En savoir plus). Dans les centres de tri de déchets, en situation réelle, **Brigitte Falcon** (Cramif) a montré que des mesures de prévention permettaient de limiter fortement les expositions aux agents biologiques et, en particulier, aux bioaérosols. Les préconisations incluent:

- la réduction du temps de séjour des déchets et la qualité des locaux de stockage, afin de limiter la prolifération microbienne;
  - la limitation des phénomènes de dispersion des poussières, grâce au confinement des sources d'émission (trémies, convoyeurs, bennes) et au captage localisé, la ventilation et l'organisation du travail, ainsi que la formation des opérateurs.
- Dans un secteur proche, **Christine David** (INRS) a abordé le thème des déchets d'activité de soins à risque infectieux (Dasri) qui font l'objet d'une





filière de traitement dédiée. Néanmoins, des Dasri se retrouvent dans les centres de traitement des ordures ménagères et sont à l'origine de piqûres ou de coupures chez les travailleurs. L'augmentation de la visibilité des Dasri sur les tapis de tri manuel, la régulation des flux à trier, la formation des opérateurs à leur reconnaissance et la mise en place d'une procédure en cas de découverte d'un Dasri permettent de réduire ces risques.

### Conclusion

En fin de conférence, **Louis Laurent** et **Philippe Duquenne** (INRS) ont souhaité rappeler quelques points forts évoqués à de multiples reprises lors des présentations.

Le risque biologique est commun à de très nombreux secteurs d'activité. Il est aussi vieux que l'activité humaine, notamment dans l'agroalimentaire, le soin, le traitement des déchets. À ces risques « anciens », toujours bien présents, s'ajoutent des questions plus récentes, comme l'effet du changement climatique, la montée en puissance des « métiers verts », le développement de l'antibiorésistance et l'apparition de maladies émergentes.

Le risque biologique se démarque du risque chimique par un certain nombre de caractéristiques. La perception en entreprise progresse mais n'est pas toujours suffisante. Cela est dû à des facteurs divers, comme le caractère « naturel » de certaines sources d'exposition, le fait que les effets des agents biologiques peuvent passer inaperçus ou ne pas être attribués à l'exposition, au caractère parfois inattendu des contaminants, à l'absence de relation dose-effet clairement établie. Ainsi, le lien entre exposition et effets sur la santé reste complexe. Si, dans beaucoup de présentations, les mesures d'exposition ont été considérées, il demeure difficile de définir des valeurs limites d'exposition, sur la base d'études de la relation dose-réponse. En matière de prévention, il est plutôt fait appel à des comparaisons à des valeurs d'expositions moyenne dans un secteur d'activité. C'est dans ce contexte qu'un certain nombre de présentations ont porté sur des méthodologies d'évaluation du risque, lorsque des agents biologiques sont présents.

L'évaluation des expositions est un champ d'étude très actif, avec des difficultés inhérentes à la variété des agents biologiques présents et à la variabilité qui caractérise le vivant. Divers travaux portent sur des développements méthodologiques visant, sinon à standardiser les méthodes de mesures, au moins à mieux comprendre les différences entre les résultats issus de diverses techniques. Diverses présentations ont ainsi abordé le dosage des endotoxines, les méthodes de prélèvement des agents biologiques, les outils d'analyse

par culture ou de l'ADN. Une mention spéciale a d'ailleurs été accordée aux outils de la biologie moléculaire. Si les méthodes traditionnelles, fondées sur la capacité des micro-organismes à se développer en culture, restent le standard pour évaluer les expositions à des agents biologiques, les outils moléculaires ont montré leur intérêt pour la caractérisation des expositions aux micro-organismes, et pour l'analyse de leur biodiversité, qui peut être riche en enseignements quant à l'origine des expositions.

Cette conférence a également permis de discuter de pratiques de prévention dans le milieu professionnel ou de développements techniques pour réduire les expositions. De manière générale, une approche systémique est nécessaire, compte tenu de la complexité des risques biologiques. L'optimisation des activités pour réduire l'exposition, l'adoption de bonnes pratiques pour éviter des contaminations dans le secteur de la santé (liées au patient et au traitement des déchets contaminants), la vaccination dans le cas d'un risque infectieux identifié, le recours à des moyens techniques pour éliminer ou neutraliser des agents infectieux, sont autant d'éléments à prendre en considération. ●

1. La PCR quantitative (ou qPCR), ou PCR en temps réel, est une méthode particulière de réaction en chaîne par polymérase permettant de mesurer la quantité initiale d'ADN dans un échantillon de micro-organismes donné (source Wiki).
2. À propos de prélèvement en « cassette fermée » : voir l'article (note technique) à ce sujet dans le numéro précédent de la revue.
3. Voir à propos de l'enquête Sumer 2017: Références en santé au travail, sept. 2019, 159, pp. 53-78.
4. Le « fit-test » est un essai d'ajustement, dont le but est de vérifier - grâce à des mises en situation de travail courantes - si le masque est bien adapté (forme, taille...) à la morphologie de la personne qui le porte.

---

### POUR EN SAVOIR +

1. Paris C. – Le syndrome toxique des poussières organiques. *Références en santé au travail*, 2014, 140, TR 57, pp. 109-124. Accessible sur : [www.rst-sante-travail.fr](http://www.rst-sante-travail.fr)
  2. Balty I. et al. – Étude de cas: exposition aux poussières émises par les volailles aux postes d'accrochage en abattoirs. *Hygiène et sécurité du travail*, décembre 2017, 249, pp. 72-76. Accessible sur : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)
  3. Duquenne P. et al. – Dossier: les risques biologiques au travail. *Hygiène et sécurité du travail*, septembre 2018, 252, pp. 22-52. Accessible sur : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) (revue HST).
-