

Congrès

BIOAÉROSOLS AU TRAVAIL : MIEUX LES COMPRENDRE POUR LES PRÉVENIR

Compte rendu de la journée technique organisée par l'INRS le 26 novembre 2024.

NAÏMA
BERTHOL
INRS,
département
Études et
assistance
médicales

CHRISTINE
DAVID
INRS,
département
Expertise
et conseil
technique

PAULINE
LOISON,
XAVIER
SIMON
INRS,
département
Métrologie
des polluants

Dans de nombreux secteurs professionnels, les travailleurs peuvent être exposés à des agents biologiques présents dans l'air et potentiellement pathogènes. Il est nécessaire de caractériser ces expositions pour mieux agir en prévention. La présence de bioaérosols aux postes de travail est peu prise en compte. Elle concerne pourtant des atmosphères professionnelles diverses : milieux de soins, collecte et traitement des déchets, industrie agroalimentaire, traitement des eaux usées, etc. Cette journée technique, destinée à informer et à sensibiliser l'ensemble des acteurs de la prévention des risques professionnels, avait pour objectif de partager un état des lieux des connaissances relatives aux bioaérosols pour répondre aux problématiques suivantes :
que sont les bioaérosols ? Quels sont les risques pour les travailleurs exposés ?
Comment les mesurer ? Quelles sont les solutions de prévention ?
Plus de 800 participants se sont inscrits pour assister à cette journée diffusée sur Internet. Un « tchat » permettait d'échanger avec les participants et de répondre à leurs interrogations. Certaines questions ont été traitées en direct par les intervenants. L'ensemble des treize présentations, des quatre moments d'échanges et de la synthèse / conclusion de la journée, est disponible en rediffusion sur le site de l'INRS¹.

*BIOAEROSOLS AT WORK: IMPROVING UNDERSTANDING TO ENHANCE PREVENTION
Report on the technical day organised by INRS on 26 November 2024. In many professional branches, workers may be exposed to airborne biological agents which can be pathogenic. This exposure must be characterised to develop more appropriate prevention strategies. The presence of bioaerosols at workstations is rarely taken into account. Nevertheless, airborne biological agents are encountered in a variety of occupational settings: care sector, waste collection and treatment, agri-food industry, waste water treatment, etc. During this technical day aimed at all stakeholders involved in occupational risk prevention, current knowledge on bioaerosols was shared with the aim of informing and raising awareness. The following questions were answered: What are bioaerosols? What are the risks for exposed workers? How can they be measured? What prevention solutions exist? Over 800 participants signed up to attend this virtual day. A chat room was used to communicate with participants and answer their questions. Some questions were dealt with live by the speakers. All thirteen presentations, the four interactive sessions and the summary/closing remarks for the day can be viewed on the INRS website.*



Session 1 : Bioaérosols au travail : de quoi parle-t-on ?

Évaluation et prévention des risques biologiques [1-2]

Myriam Bouslama (INRS) a rappelé la définition réglementaire des agents biologiques et leur classement en fonction de la gravité du risque infectieux associé. La démarche d'évaluation des risques biologiques est principalement qualitative. Elle se base sur la connaissance de la chaîne de transmission : chaque agent biologique pathogène est susceptible de se transmettre à une personne (l'hôte) à partir d'un réservoir selon des voies de transmission spécifiques. En milieu professionnel, il convient donc d'identifier les réservoirs réunissant les conditions propices à la prolifération des agents biologiques et de repérer les expositions des salariés en fonction des tâches effectuées. Il existe un risque si les expositions correspondent aux voies de transmission des agents biologiques. Dans certains cas, il est également possible de quantifier les agents biologiques. Les actions de prévention peuvent porter sur le réservoir, l'exposition et l'hôte.

Introduction aux bioaérosols

Pauline Loison (INRS) a rappelé que les travailleurs de nombreux secteurs d'activité sont exposés aux bioaérosols, qui sont des particules en suspension dans l'air, constituées en tout ou partie d'entités d'origine biologique : bactéries, moisissures, virus, composés microbiens (endotoxines, β -D-glucanes, mycotoxines, fragments). Ils varient en taille, en composition et en concentration. Un certain nombre de paramètres, notamment environnementaux, influent sur la viabilité et l'intégrité des particules d'origine biologique contenues dans les bioaérosols, mais aussi sur leur persistance et leur distribution dans l'air. Selon la situation de travail ou le secteur d'activité, les concentrations moyennes de bactéries et moisissures cultivables ou d'endotoxines sont susceptibles de varier en fonction de la saison ou du poste de travail. On peut ainsi observer une variabilité dans les communautés microbiennes, dans un même secteur d'activité.

Bioaérosols : effets sur la santé

Éric Durand-Billaud (INRS) a rappelé que, dans la majorité des cas, les bioaérosols inhalés ne contiennent pas d'agent biologique pathogène. Cependant, dans certaines situations, des agents biologiques peuvent entraîner différentes pathologies comme des infections, des allergies, des effets toxiques. Les résultats d'une revue narrative de la littérature comprenant l'analyse d'articles publiés entre 2000 et 2024 sur la thématique « Bioaérosols et effets sur la santé » ont été présentés. Ce travail a permis de lister les activités professionnelles générant des bioaérosols et de répertorier un

certain nombre d'agents biologiques identifiés dans ces bioaérosols : bactéries et leurs composants – endotoxines notamment –, virus et champignons. Des recherches complémentaires seraient nécessaires, en particulier sur la question de la relation dose-effet, pour laquelle persistent de nombreuses incertitudes.

Session 2 : Bioaérosols au travail : comment les mesurer ? [3]

Démarche d'évaluation de l'exposition professionnelle aux bioaérosols [4-9]

Xavier Simon (INRS) a décrit les étapes d'une démarche d'évaluation quantitative des expositions aux bioaérosols. Cette démarche, en sept étapes, repose sur une approche similaire à celle du risque chimique, avec des spécificités propres aux bioaérosols, telles que la préparation du matériel en conditions stériles ou la prise en compte de l'effet de saisonnalité. Il est rappelé que la définition d'un objectif de mesure précis est la première étape nécessaire à cette démarche conditionnant la stratégie de prélèvement à adopter. Celle-ci repose notamment sur un recueil d'informations obtenues lors d'une enquête préalable et/ou lors d'une visite sur site. La campagne de prélèvement planifiée est ensuite réalisée par des préleveurs compétents en privilégiant, lorsque cela est possible, le prélèvement individuel afin de prendre en compte le geste professionnel et les déplacements. Le transport et la conservation des échantillons doivent permettre de maintenir leur intégrité jusqu'à l'analyse. Enfin, il a été expliqué que l'interprétation des résultats repose principalement sur la comparaison aux valeurs mesurées à des points de référence dans des lieux *a priori* non exposés (local tertiaire ou extérieur), mais aussi aux valeurs guides proposées par le réseau de l'Assurance maladie – Risques professionnels. Des exemples d'interprétation dans une fabrique de saucisson et un centre de tri des déchets ménagers ont été présentés.

Méthodes de mesure des endotoxines [10]

Alexandra Pedros (Cramif) a rappelé que les endotoxines sont des constituants de la membrane externe des bactéries à Gram négatif. Ces toxines stables et persistantes peuvent être à l'origine d'affections des voies respiratoires des travailleurs lorsqu'elles sont inhalées. Divers secteurs d'activité sont concernés par leur présence : les déchets, l'agroalimentaire ou la métallurgie, par exemple. Les endotoxines sont prélevées dans toute la France par les contrôleurs de sécurité des Carsat et analysées par le laboratoire des biocontaminants de la Cramif. Une méthode de mesure des endotoxines, développée à l'INRS en 2005, a été optimisée en 2023. Elle consiste à réaliser un prélèvement par filtration représentatif de la fraction inhalable des particules et à quantifier les endotoxines par une analyse biochimique. L'optimisation a porté sur les étapes de préparation,

d'extraction, de transport et de conservation conduisant à de nombreuses améliorations : souplesse logistique lors du transport et de la conservation, gain de temps, gain économique, facilité d'organisation, etc. Un exemple d'intervention dans le secteur du recyclage de vêtements de travail, rendu possible par l'optimisation du protocole, a été présenté.

Méthode de mesure des micro-organismes cultivables

Lise Alonso (INRS) est revenue sur la notion de micro-organismes cultivables, désignant des agents biologiques (moisissures, levures ou bactéries) capables de se développer en laboratoire sur des milieux de cultures en conditions appropriées. Ces organismes sont présents dans de nombreux secteurs d'activité, dès lors qu'il y a présence de matière organique et de conditions favorables à leurs développements. Certains peuvent entraîner des effets sur la santé des travailleurs. Il est rappelé que la méthode « Micro-organismes aérobies » (Cf. *Méthode MétroPol M-147 [3]*), validée par des approches complémentaires de génération en laboratoire et de prélèvement sur le terrain, permet d'évaluer l'exposition des travailleurs à ces organismes. Une optimisation de la méthode actuelle est en cours, afin de pallier des problèmes de spécificité des milieux utilisés. Il est enfin rappelé que la méthode par culture est une méthode encore très utilisée, simple et peu coûteuse, mais qui ne permet de mettre en évidence que 1 % à 10 % de la communauté microbienne totale. Des méthodes basées sur le matériel génétique, comme la qPCR (Cf. *ci-dessous*), peuvent pallier cette limite, et permettre de quantifier la totalité des micro-organismes.

Caractérisation des bioaérosols par PCR quantitative

Alexis Simons (Laboratoire eau, environnement et systèmes urbains, LEESU, université Paris-Est Créteil) a expliqué les enjeux de la méthode de PCR quantitative (qPCR) pour détecter, quantifier et identifier les micro-organismes présents dans les bioaérosols. Cette méthode, basée sur l'utilisation de séquences spécifiques présentes dans le génome des micro-organismes, permet de cibler une espèce précise ou un groupe microbien dans un échantillon. L'orateur a rappelé que la méthode repose sur un processus en trois étapes principales consistant à collecter les échantillons d'air, puis à extraire l'ADN présent, et enfin à amplifier le matériel génétique à l'aide de « mix réactionnels », contenant notamment des amorces spécifiques. Les différents avantages de cet outil, tels que la sensibilité, la rapidité, la spécificité, ainsi que certaines limites (coûts élevés, nécessité d'une préparation rigoureuse, etc.) ont été abordés. Un exemple d'application de la qPCR pour quantifier les bactéries totales et les mycobactéries dans un projet portant sur le secteur de la métallurgie a



© Claude Almodovar pour l'INRS / 2016

été présenté. Cette méthode reste complémentaire d'autres approches, comme la culture ou la mesure des endotoxines afin d'obtenir une meilleure vision des concentrations et des sources d'agents biologiques dans une atmosphère professionnelle.

Session 3 : Prévention des expositions professionnelles

Légionellose : Retour sur un accident du travail mortel et mesures de prévention

Aude Verpillat (Carsat de Bourgogne-Franche-Comté) a évoqué deux salariés décédés suite à une légionellose contractée en inhalant des aérosols d'eau contaminée par la bactérie *Legionella pneumophila*. Dans les deux cas, l'eau des douches des modules sanitaires de chantier contenait plus de 1000 UFC/L² (valeur réglementaire à ne pas dépasser pour l'eau chaude sanitaire des établissements recevant du public). Différentes mesures de prévention ont été prises par les entreprises concernées : condamnation des locaux, désinfection des réseaux d'eau, suivi de la concentration en légionelles et de la température de l'eau, etc. L'INRS, les Carsat et les concepteurs et loueurs de modules de chantier ont rédigé des préconisations visant la conception, l'entreposage et la mise en route des modules sanitaires, afin de limiter les risques de légionellose dans ces installations [11].



Risques biologiques en abattoir de volailles

Sébastien Nicolas (Carsat des Pays-de-la-Loire) a rappelé que des ornithoses, parfois mortelles, ont été déclarées chez des personnes travaillant en abattoir de volailles. Cette infection est transmise par inhalation d'aérosols contaminés par la bactérie *Chlamydia psittaci*, présente dans les fientes d'oiseaux généralement asymptomatiques. Cette maladie peut toucher notamment les éleveurs de volailles ou d'oiseaux d'ornement et les travailleurs en abattoir de volailles (tableaux de maladies professionnelles n° 87 du régime général et n° 52 du régime agricole). L'INRS, les Carsat de Bretagne et des Pays-de-la-Loire ont réalisé un état des lieux des expositions et ont rédigé des préconisations pour prévenir les risques d'ornithose : éviter l'agitation des volailles qui mettent en suspension les fientes (anesthésie au dioxyde de carbone [CO₂], barre ou tôle anti-stress, etc.), capter les aérosols au poste d'accrochage, confiner les zones d'exposition, etc. [12]. Le respect de telles mesures a permis de diminuer significativement les expositions aux poussières inhalables contaminées par la bactérie *Chlamydia psittaci*.

Réduire l'exposition aux agents biologiques : une expérimentation réussie dans la filière linière

Anna Janicka (Carsat des Hauts-de-France) a montré que des mesures de poussières inhalables et de bioaérosols, réalisées dans une entreprise de transformation du lin, ont mis en évidence une exposition importante des préparateurs et des engreneurs, participant à l'étalement du lin en début de chaîne. La récupération des anas³ exposait particulièrement les salariés aux endotoxines. Différentes mesures de prévention ont alors été préconisées, comme une aspiration au niveau du déroulement des balles de lin, une amélioration du débit d'aspiration au niveau

des engreneurs, un arrêt de la ligne en cas de bourrage, couplé à un basculement de l'aspiration vers le point de bourrage, un confinement de la remorque recevant les anas, etc. Des prélèvements effectués, dans les mêmes conditions, après mise en place de ces mesures, montrent une diminution significative des concentrations en poussières et en bioaérosols.

Session 4 : Recherche et perspectives en termes de prévention

Étude d'épurateurs à filtre en contexte épidémique : approches laboratoire et *in situ*

En lien avec une recommandation du Haut Conseil de la santé publique pour les lieux mal ventilés, **Sébastien Ritoux** (Centre scientifique et technique du bâtiment, CSTB) a présenté une étude concernant les performances d'une unité mobile de filtration (UMF) équipée de filtre HEPA⁴ de classe H14 et présentant des débits de traitement d'air d'au moins 5 volumes/heure. Initialement sélectionnée sur la base de ses performances aérauliques, acoustiques et épuratoires intrinsèques, l'UMF a ensuite été étudiée en environnement contrôlé et *in situ* dans une salle de classe. Sans préjuger de la transmission interhumaine d'agents microbiens, les résultats montrent que la mise en œuvre de l'UMF dans une pièce diminue les concentrations en particules et que son positionnement présente une influence notable sur son efficacité globale. En condition de ventilation dégradée, avec impossibilité d'ouvrir une fenêtre pour aérer la pièce, l'usage d'UMF équipée de filtre HEPA H14 peut contribuer significativement à la réduction des polluants particuliers.

Décontamination de l'air des locaux de travail par les épurateurs à UV-C

Denis Bémer (INRS) a réalisé l'inventaire des différentes technologies constitutives des épurateurs d'air intérieur et a rappelé que ces derniers doivent être mis en œuvre en complément d'une ventilation qui assure le renouvellement de l'air. Il a ensuite présenté une étude de laboratoire sur les performances de deux épurateurs à rayonnements UV-C germicides pour éliminer les bioaérosols. Les essais ont été menés avec des micro-organismes modèles et ont démontré l'efficacité de décontamination des épurateurs étudiés. Les plafonniers, qui ne disposent pas de ventilateur intégré, pourraient ainsi être installés dans une zone bien ventilée pour accélérer la cinétique de décontamination. Leur utilisation n'est toutefois pas recommandée, du fait d'une possible exposition aux rayonnements optiques artificiels (ROA) de type UV-C (yeux, peau) des éventuels occupants. Les épurateurs à UV-C avec ventilateur intégré ne présentent pas, quant à eux, de risque vis-à-vis de l'exposition aux ROA et permettent d'envisager une décontamination efficace des bioaérosols, tout en offrant une maintenance réduite.



© INRS / 2024

Perspectives dans l'analyse des bioaérosols

Pierre Le Cann (École des hautes études en santé publique, EHESP) a expliqué qu'il n'existe pas de méthode de mesure universelle de l'exposition professionnelle aux bioaérosols. Les principales techniques de prélèvement (impaction solide sur gélose, impaction en voie liquide et filtration), leurs caractéristiques et leurs performances, ont été présentées. Ces méthodes de collecte doivent être choisies ou adaptées pour être compatibles avec les analyses envisagées. Les principes de plusieurs méthodes d'analyses ont ensuite été détaillés, notamment les plus récentes : PCR digitale, PCR viable, séquençage haut débit. Rapidité, viabilité/infectiosité et exhaustivité ont été présentées comme les défis à relever pour améliorer les analyses de bioaérosols, y compris les virus. Des résultats obtenus par séquençage haut débit ont été commentés (tri des déchets et station d'épuration). Il a été enfin souligné que les changements climatiques conduisent à un air plus chaud et plus humide, conditions favorables à la persistance des bioaérosols dans les atmosphères de travail.

1. Les interventions et les échanges de la journée technique sont accessibles sur le lien ci-contre (Cf. Pour en savoir plus).
2. UFC : unité formant colonie.
3. Anas : fragments de tige de lin.
4. Filtre HEPA : filtre à air à très haute efficacité (en anglais : High-efficiency particulate air).

Synthèse et conclusion de la journée technique

Jérôme Triolet (INRS) a résumé l'ensemble des sujets abordés tout au long de cette journée technique. Les risques liés à l'exposition aux bioaérosols sur les lieux de travail sont parfois encore méconnus, mais ils doivent être pris en compte par les entreprises au même titre que les autres risques, avec l'aide des Carsat, des services de prévention et de santé au travail, et en associant les institutions représentatives du personnel. Pour ce faire, l'INRS et le réseau de l'Assurance maladie - Risques professionnels proposent une démarche de prévention structurée, des bases de données, des outils d'évaluation des risques professionnels, des méthodes de mesures d'exposition associées à des valeurs de référence, ainsi que des connaissances sur les performances de dispositifs de décontamination et d'épuration. L'objectif est de permettre aux entreprises d'évaluer et de réduire les expositions aux bioaérosols afin d'améliorer la prévention des risques biologiques au travail. ●

POUR EN SAVOIR +

- Les échanges de la journée technique sur les bioaérosols sont accessibles sur : <https://www.inrs.fr/footer/actes-evenements/journee-technique-bioaerosols.html#:~:text=Le%2026%20novembre%202024%2C%20I,de%20nombreux%20environnements%20de%20travail>

BIBLIOGRAPHIE

- [1] INRS – Base d'observation des agents biologiques (Baobab). Accessible sur : www.inrs.fr/baobab
- [2] INRS – Outil d'évaluation des risques biologiques. Accessible sur : www.inrs.fr/evalrb
- [3] INRS – Base de données MétroPol (méthodes de métrologie des polluants, notamment les méthodes M-147 et M-454). Accessible sur : <http://www.inrs.fr/metropol>
- [4] SIMON X., DUQUENNE P. – Expositions professionnelles aux aérosols de moisissures : exemple dans une cave d'affinage de fromages. *Hygiène & sécurité du travail*, 2013, 232, EC 2, pp. 52-55. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=EC%202>
- [5] SIMON X., DUQUENNE P. – Fabrication de saucissons. Mesures et prévention des expositions aux bioaérosols. *Hygiène & sécurité du travail*, 2014, 235, pp. 56-60.
- [6] DUQUENNE P., FACON B. – Exposition aux bioaérosols dans les centres de tri des déchets ménagers recyclables. In : Dossier – Les risques biologiques au travail. *Hygiène & sécurité du travail*, 2018, 252, DO 22, pp. 43-50. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%2022>
- [7] DAVID C. ET AL. – Valeurs guides bactéries et moisissures cultivables : interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols. *Hygiène & sécurité du travail*, 2023, 271, NT 109, pp. 55-63. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20109>
- [8] ALONSO L. ET AL. – Résultats de mesures d'endotoxines : impact sur les valeurs guides existantes. *Hygiène & sécurité du travail*, 2025, 279, NT 122, pp. 63-69. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20122>
- [9] LOISON P. ET AL. – Évaluation et prévention des risques biologiques liés à l'exposition aux bioaérosols par inhalation. In : Dossier – Risques biologiques : des pratiques et des outils pour la prévention. *Hygiène & sécurité du travail*, 2024, 277, DO 46, pp. 41-45. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%2046>
- [10] LOISON P. ET AL. – Optimisation de la méthode de mesure des endotoxines dans l'air des lieux de travail. *Hygiène & sécurité du travail*, 2024, 274, NT 112, pp. 51-56. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20112>
- [11] INRS – Prévention du risque légionellose dans les installations sanitaires provisoires de chantier. ED 6526. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206526>
- [12] INRS – Ventilation des postes d'accrochage en abattoir de volailles. ED 6279. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206279>