

Notes techniques

VALEURS GUIDES BACTÉRIES ET MOISSURES CULTIVABLES : INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE MÉTROLOGIE DES BIOAÉROSOLS

CHRISTINE DAVID
INRS,
département
Expertise
et conseil
technique

ANDREA EMILI,
LISE ALONSO,
PAULINE
LOISON,
GAUTIER MATER
INRS,
département
Métrologie
des polluants

PHILIPPE
DUQUENNE,
JONATHAN
CHERON
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

ÉRIC DURAND-
BILLAUD
INRS,
département
Études et
assistance
médicales

BRIGITTE
FACON,
VALÉRIE
RENEVOT
Cramif,
laboratoire des
biocontaminants

SOPHIE
MOULOT
Carsat Nord-est,
LICE

SÉBASTIEN
NICOLAS
Carsat Pays-de-
la-Loire, LICO

Actuellement, il n'existe pas de valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) pour les bactéries et moisissures présentes dans l'atmosphère des lieux de travail. Des experts du réseau Assurance maladie – Risques professionnels ont donc défini deux valeurs guides, permettant d'harmoniser l'interprétation des résultats et de déterminer les actions de prévention à engager.

Les micro-organismes sont des êtres vivants microscopiques omniprésents dans l'environnement. Les micro-organismes, mais aussi leurs spores, leurs composants et leurs métabolites, peuvent être mis en suspension dans l'air sur les lieux de travail, par le biais des procédés dans lesquels ils sont impliqués, ou lors de la manipulation de matières contaminées. Ainsi, l'exposition aux bactéries, champignons, virus, endotoxines et mycotoxines en suspension dans l'air a été constatée dans de nombreuses situations de travail et pour une grande variété de secteurs d'activité, tels que ceux de la santé humaine et animale, de l'agriculture, de l'industrie agroalimentaire, de la gestion des déchets, etc. [1-2]. Les expositions correspondantes ont été associées à plusieurs troubles de la santé observés chez les travailleurs, notamment des symptômes gastro-intestinaux, inflammatoires et immuno-allergiques [3]. Cependant, les connaissances actuelles ne permettent pas de définir une relation dose-effet précise et il n'existe de ce fait pas de valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) pour les agents biologiques aéroportés. Dans ces conditions, l'interprétation des données d'exposition aux bioaérosols sous l'angle du risque biologique reste malaisée, alors que cette interprétation est un prérequis pour préconiser des actions de prévention adaptées.

En France, des méthodes sont disponibles pour mesurer l'exposition des travailleurs aux micro-organismes

cultivables. Depuis plus d'une décennie, l'INRS et le réseau Assurance maladie – Risques professionnels (AM-RP dont les Carsat, les centres de mesures physiques et les laboratoires interrégionaux de chimie) documentent ces expositions professionnelles et les enregistrent dans la base de données Colchic¹. Définir des valeurs guides à partir de ces données peut constituer une alternative pertinente à l'absence de VLEP pour aider le préventeur dans ses missions. De telles valeurs ont été proposées pour les micro-organismes cultivables, dans différents pays à travers le monde (Cf. Encadré) ; elles constituent des niveaux d'exposition aux bactéries et aux moisissures qui ne sont pas reliés à des effets sur la santé, mais qui traduisent des expositions excessives des salariés au-dessus desquels des moyens de prévention doivent être mis en place ou adaptés. En France, il existe une valeur guide pour les endotoxines [4], mais aucune valeur guide n'avait encore été définie pour les bactéries et les moisissures cultivables. L'objectif de cet article est donc de faire la synthèse des mesures effectuées au sein du réseau AM-RP, afin de proposer des valeurs guides pour les bactéries et moisissures cultivables prélevées dans l'air des lieux de travail.

Effets sur la santé

La grande majorité des micro-organismes présents dans l'air sont le simple reflet de la présence de réservoirs, sans pour autant provoquer d'effets sur la santé. Cependant, certains d'entre eux peuvent être



RÉSUMÉ

Les bactéries et moisissures présentes en concentration importante dans l'air ambiant témoignent d'une dégradation de l'atmosphère de travail. Ces micro-organismes sont mesurés dans de nombreux secteurs d'activité, sans

qu'il existe de valeur limite d'exposition professionnelle. En s'appuyant sur des mesures déjà effectuées, le réseau Assurance maladie – Risques professionnels propose deux valeurs guides (100 000 et 1 000 000 UFC/m³)², permettant

d'harmoniser l'interprétation des résultats et de définir les actions de prévention à engager. Ces valeurs seront reconsidérées régulièrement, en fonction des résultats de mesures alimentant la base de données Colchic.

GUIDE VALUES FOR BACTERIA AND CULTIVABLE MOULD: INTERPRETATION OF BIOAEROSOL METROLOGY RESULTS

Bacteria and mould present in large concentrations in the ambient air reflect a deterioration in the work environment. These microorganisms are measured in many professional sectors, without there being any

occupational exposure limit value. Using measurements already taken, the Social Security – Occupational risk network proposes two guide values (100,000 and 1,000,000 colony-forming units per cubic metre),

enabling the harmonisation of results interpretation and the definition of the prevention actions to be undertaken. These values will be reconsidered frequently, based on the results of measurements uploaded into the Colchic database.

Cave d'affinage :
brossage
des moisissures
sur la croûte
d'un fromage.



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS/2022

dangereux et risquent d'entraîner une contamination s'ils sont transmissibles à l'homme par voie respiratoire. Les bactéries peuvent notamment, selon les cas, provoquer une infection (tuberculose...) ou des manifestations toxiques (liées aux endotoxines issues des bactéries à Gram négatif³). Certaines moisissures, quant à elles, sont à l'origine de manifestations irritatives (yeux, nez, gorge) ou d'exacerbation d'un asthme. Seules certaines espèces sont à l'origine de manifestations infectieuses dites opportunistes, chez des sujets sévèrement immunodéprimés.

Depuis quelques années, des travaux sont menés pour tenter d'établir un lien entre l'exposition à des bioaérosols et les effets sur la santé humaine. Ainsi, un certain nombre d'études suggèrent que l'exposition à des bioaérosols environnementaux serait à l'origine d'effets sur la santé, notamment en milieu professionnel. Toutefois, les niveaux précis d'exposition qui seraient responsables de leur survenue ne sont pas connus [5]. Il n'existe pas de VLEP, comme c'est le cas pour les substances chimiques, et la relation dose-effet n'a pas fait l'objet d'étude permettant de tirer des conclusions [3]. De même, chez l'animal, la relation dose-effet a été étudiée avec la mise en évidence de phénomènes inflammatoires après inhalation de spores fongiques sans qu'il ait été possible de déterminer une valeur limite [5].

Certains secteurs ont été particulièrement étudiés, notamment le traitement du bois, les élevages, les déchets et le compostage, les soins dentaires. Ainsi, dans le secteur du traitement du bois, des manifestations allergiques et respiratoires ont été décrites (diminution de la capacité pulmonaire, manifestations

allergiques, toux, bronchite chronique, rhinite, obstruction nasale...) pour des concentrations de bactéries à Gram négatif et de moisissures variant de 3.10^4 à 5.10^5 UFC/m³ suivant les sites [6]. Toutefois, dans ce secteur, les salariés peuvent être exposés non seulement à des agents biologiques, mais aussi à des poussières de bois, et le facteur prédominant dans la survenue de ces effets respiratoires n'a pas été clairement identifié. Les études portent sur les élevages où l'on observe des concentrations importantes, notamment de moisissures, dans les bioaérosols, mais n'ont pas permis de mettre en évidence de lien entre le niveau d'exposition à ces bioaérosols et les effets sur la santé [3].

En ce qui concerne le secteur des déchets et du compostage, les études n'ont pas eu recours à des groupes contrôles et se sont principalement intéressées aux mycotoxines. Une revue systématique relative à ce secteur conclut que l'exposition des salariés à des bioaérosols (bactéries cultivables, *Aspergillus*) est à risque d'effets sur la santé notamment respiratoires (irritation...), même si le niveau de preuve reste relativement modeste [7]. Selon ces auteurs, d'autres études sont nécessaires pour confirmer le lien de cause à effet. Une revue de la littérature récente, relative aux risques biologiques dans ce secteur, a mis en évidence, suivant les pays et le type de déchets traités, des valeurs d'exposition comprises entre 10^2 et 10^5 UFC par m³ pour les bactéries, et entre 10^3 et 10^5 UFC/m³ pour les moisissures. En moyenne, les expositions à des bactéries et à des moisissures étaient de l'ordre de 10^4 UFC/m³ [8]. Selon les études citées dans cette revue, les taux d'exposition pouvaient varier d'un facteur 10 à 20 (en plus ou en moins par rapport à la moyenne) avec de possibles effets sur la santé, essentiellement respiratoires. Des données complémentaires sont cependant nécessaires pour établir le lien entre les différentes expositions, leur niveau de concentration et des effets sur la santé.

Dans le secteur du soin et des soins dentaires, une revue récente a fait le point sur les agents biologiques retrouvés dans les bioaérosols générés lors de pratiques de soins. Les auteurs concluent que le niveau de preuve concernant la survenue d'effets sur la santé en lien avec ces bioaérosols est relativement mince [9]. En milieu professionnel en France, les pathologies liées aux moisissures sont très rares et sont observées, pour la plupart, en milieu agricole [10]. Cependant, les données relatives aux effets sanitaires de l'exposition aux moisissures chez l'adulte sont peu nombreuses. Un rapport de l'Anses note que, en population générale, les données épidémiologiques ne permettent pas de conclure sur l'association entre l'exposition aux moisissures dans les environnements intérieurs et le risque d'asthme chez l'adulte. Ce rapport précise cependant que les études concernant les salariés exposés sur leur lieu de travail (bâtiments ayant connu d'importants dégâts des eaux) indiquent l'existence d'une relation entre l'exposition à l'humidité et aux moisissures et

l'incidence et la prévalence de l'asthme. La plupart de ces données proviennent de Finlande, suite à la reconnaissance comme maladie professionnelle de l'asthme induit par l'exposition à l'humidité et aux moisissures sur le lieu de travail. Pour la rhinite, l'existence d'une association entre l'exposition aux moisissures visibles et le risque de rhinite allergique a été établie, mais d'autres études longitudinales seraient nécessaires pour apprécier le lien de causalité. Enfin, les études épidémiologiques présentant une caractérisation quantitative des expositions sont hétérogènes (diversité des méthodes de mesure) et ne permettent pas de définir un seuil sanitaire (niveau de concentration en dessous duquel aucun effet sur la santé n'est attendu) [11].

Mesurage des micro-organismes cultivables

La mesure des micro-organismes cultivables aéroportés permet d'évaluer l'exposition des travailleurs,

ENCADRÉ

VALEURS GUIDES UTILISÉES POUR INTERPRÉTER LES RÉSULTATS DE MESURE DES BIOAÉROSOLS DANS D'AUTRES PAYS

Les valeurs guides publiées pour les bactéries et les moisissures varient d'un pays à l'autre. En Suisse, les niveaux d'exposition et de concentration qui peuvent être qualifiés d'acceptables aux postes de travail sont 10^4 UFC/m³ pour les germes aérobies mésophiles (i.e. bactéries) et de 10^3 UFC/m³ pour les moisissures [a]. En Allemagne, une valeur guide est proposée à 5×10^4 UFC/m³ pour les moisissures dans l'air des centres de tri des déchets ménagers [b]. Au Canada, les concentrations limites d'exposition aux bioaérosols de 10^4 UFC/m³ pour les bactéries cultivables et de 10^3 UFC/m³ pour les bactéries à Gram négatif et les moisissures cultivables ont été recommandées pour les milieux industriels concernés par la présence de micro-organismes [c]. Par ailleurs, une synthèse scientifique, incluant un grand nombre de secteurs différents, conclut que la majorité des effets liés à l'exposition aux moisissures se manifestent à partir de niveaux d'environ 10^5 spores/m³ [d]. Des concentrations maximales admissibles ont été proposées en Pologne à 10^5 UFC/m³ pour les bactéries mésophiles, à 2×10^4 UFC/m³ pour les bactéries à Gram négatif et à 5×10^4 UFC/m³ pour les moisissures [e].

[a] SCHWEIZERISCHE UNFALLVERSICHERUNGSANSTALT – TRBA (Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe) Nr. 1903.f, pp. 1-52.

[b] ARBEIT UND SOZIALES IM GEMEINSAMEN MINISTERIALBLATT – TRBA (Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe) Nr. 214 – Abfallbehandlungsanlagen. GMBI 49, 2013, pp. 978-989.

[c] ROBERGE B., NADON G., GAGNE C., SIROIS E. (éds) – *Hygiène du travail : du diagnostic à la maîtrise des facteurs de risque*. Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail (AQHSST), 2021, 2^e éd.

[d] EDUARD W. – A health-based criteria document on fungal spore exposure in the working population. Is it relevant for the general population? *Indoor air*, 2008, 18, pp. 257-258.

[e] GÓRNY R.L. – *Harmful biological agents*. In: POSNIAK M., SKOWRON J. (éds) – *Harmful agents in the working environment – Admissible values*. Varsovie (Pologne), Central Institute for Labour Protection/National Research Institute, 2020.



ou les concentrations microbiennes émises dans l'air au poste de travail ou plus largement dans un environnement de travail. En parallèle, des mesures sont réalisées dans des lieux supposés non contaminés par les activités de l'entreprise (bureau, air extérieur). La méthode MétroPol M-147⁴, déployée dans le réseau AM-RP, permet de quantifier les bactéries et les moisissures cultivables aérobies, c'est-à-dire capables de se développer sur un milieu de culture dans les conditions de laboratoire en présence d'oxygène. Les micro-organismes morts ou non cultivables ne sont de ce fait pas quantifiés. Toutes les mesures réalisées par cette méthode MétroPol M-147 sont ensuite enregistrées dans la base de données Colchic. Le prélèvement est réalisé à l'aide d'une cassette fermée comportant 3 pièces de 37 mm de diamètre et d'une pompe individuelle à un débit de prélèvement de 2 L.min⁻¹. L'échantillon constitué de l'ensemble des particules captées dans la cassette est ainsi représentatif de la fraction inhalable, référentiel utilisé de manière conventionnelle pour les bioaérosols [12]. Le média de collecte est un filtre membranaire en polycarbonate avec une porosité de 0,8 µm, associé à un tampon de cellulose utilisé comme support de la membrane. Les cassettes doivent être assemblées de façon stérile (afin d'éviter tout risque de contamination) et fermées à l'aide d'une presse pneumatique pour éviter les fuites.

Lors de l'évaluation de l'exposition d'un salarié aux micro-organismes cultivables, le prélèvement individuel doit être privilégié, car il permet de prendre en compte les différentes tâches et les déplacements du travailleur. Pour d'autres objectifs de mesure, un prélèvement d'ambiance à point fixe à hauteur des voies respiratoires peut être réalisé : il peut s'agir par exemple d'évaluer l'efficacité de la mise en place de moyens de prévention collectifs, de cartographier un espace de travail, ou encore d'identifier ou caractériser une source de contamination.

Les échantillons doivent être transportés le plus rapidement possible vers le laboratoire dans un contenant réfrigéré et stocké à 4°C jusqu'à l'analyse, qui doit être réalisée dans les 24 heures suivant la fin du prélèvement. La première étape consiste à ajouter 10 mL de solution d'extraction dans la cassette à l'aide d'une pipette stérile. La cassette est ensuite agitée pendant 20 minutes à 2000 rotations par minute (rpm), puis l'extrait est prélevé à l'aide d'une seringue stérile pour être transféré dans un tube stérile afin d'être dilué. La dilution décimale en cascade de la suspension permet d'obtenir une concentration de micro-organismes qui formeront des colonies aisément dénombrables (entre 15 et 300 colonies). Pour cela, la suspension diluée est étalée sur des milieux de culture permettant la croissance des bactéries (*Tryptone Soja Agar TSA*, additionné d'un antifongique) ou des moisissures (*Malt Extract Agar MEA*). Les boîtes de Petri contenant les milieux de culture

sont ensuite incubées à la température optimale pour le développement des micro-organismes (notamment à 25°C).

Les colonies développées à la surface du milieu de culture sont dénombrées tous les jours pendant cinq jours, pour déterminer la concentration microbienne dans l'extrait, puis dans l'échantillon. La concentration en moisissures ou en bactéries cultivables dans l'air est calculée de la manière suivante :

$$C_c = \frac{N_c}{Q_p \times \Delta t} \times 1000$$

Avec :

C_c : concentration en micro-organismes cultivables dans l'air [UFC/m³];

Q_p : débit de prélèvement de la cassette [L/min];

Δt : durée du prélèvement [min];

N_c : nombre de micro-organismes cultivables dans l'échantillon [UFC].

La quantité de micro-organismes mesurée dans l'air est exprimée en unités formant colonies (UFC) par mètre cube d'air prélevé. Le calcul de N_c et les étapes analytiques sont détaillés dans la fiche MétroPol M-147.

Choix des valeurs guides pour les bactéries et moisissures

La base de données Colchic⁵ a été interrogée pour dresser un portrait des expositions aux bactéries et moisissures cultivables à 25°C, et ainsi définir des valeurs guides pour ces agents biologiques. Les mesures exploitées dans cet article ont été enregistrées dans Colchic entre 2010 et 2021 et concernent les mesures individuelles et d'ambiance, réalisées selon la méthode MétroPol M-147. Les échantillons témoins utilisés lors des campagnes de prélèvements ont été retirés de l'analyse. Seuls les secteurs dans lesquels ont été effectuées plus de 50 mesures individuelles et d'ambiance ont été retenus dans l'analyse.

Les critères de sélection ont permis d'identifier, entre 2010 et 2021, un total de 2521 mesures de bactéries cultivables à 25°C et 2572 mesures de moisissures cultivables à 25°C, provenant, pour plus de la moitié, de prélèvements individuels.

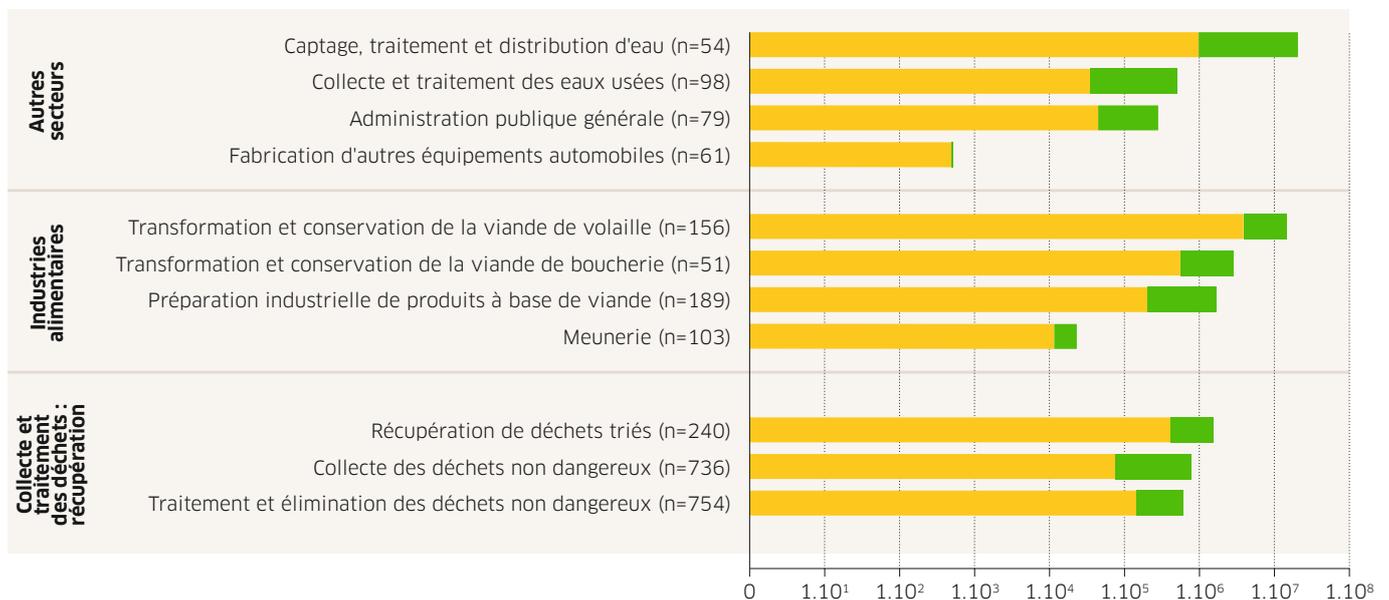
Les *Tableaux 1 et 2* présentent, respectivement pour les bactéries et les moisissures cultivables à 25°C, le nombre de mesures individuelles et d'ambiance, leur moyenne arithmétique, la valeur minimale, les 70^e et 90^e centiles des concentrations et la valeur maximale par secteur d'activité comptant au moins 50 mesures.

Les secteurs d'activité les plus étudiés concernent la « collecte, traitement et élimination des déchets » (69 % des mesures de bactéries et 67 % des mesures de moisissures) et les industries alimentaires (20 % des mesures de bactéries et 21 % des mesures

SECTEUR D'ACTIVITÉ NAF				NB DE MESURES	MOYENNE ARITHMÉTIQUE	MIN	70 ^e CENTILE	90 ^e CENTILE	MAX
CODE	LIBELLÉ	CODE	LIBELLÉ						
36	Captage, traitement et distribution d'eau	3600Z	Captage, traitement et distribution d'eau	54	$6 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^7$
37	Collecte et traitement des eaux usées	3700Z	Collecte et traitement des eaux usées	98	$2 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^7$
84	Administration publique et défense : sécurité sociale obligatoire	8411Z	Administration publique générale	79	$7 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^1$	$5 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$
29	Industrie automobile	2932Z	Fabrication d'autres équipements automobiles	61	$4 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^3$
10	Industries alimentaires	1012Z	Transformation et conservation de la viande de volaille	156	$6 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^8$
		1011Z	Transformation et conservation de la viande de boucherie	51	$5 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^8$
		1013A	Préparation industrielle de produits à base de viande	189	$8 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^0$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^7$
		1061A	Meunerie	103	$2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$
38	Collecte, traitement et élimination des déchets : récupération	3832Z	Récupération de déchets triés	240	$8 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$
		3811Z	Collecte des déchets non dangereux	736	$4 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^1$	$8 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^7$
		3821Z	Traitement et élimination des déchets non dangereux	754	$7 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^7$

↑ TABLEAU 1 Distribution des concentrations individuelles et d'ambiance (UFC/m³) en bactéries cultivables à 25°C, par secteur d'activité.

■ 70^e centile ■ 90^e centile



↑ FIGURE 1 70^e et 90^e centiles des concentrations individuelles et d'ambiance en bactéries cultivables à 25°C par secteur d'activité (UFC/m³).



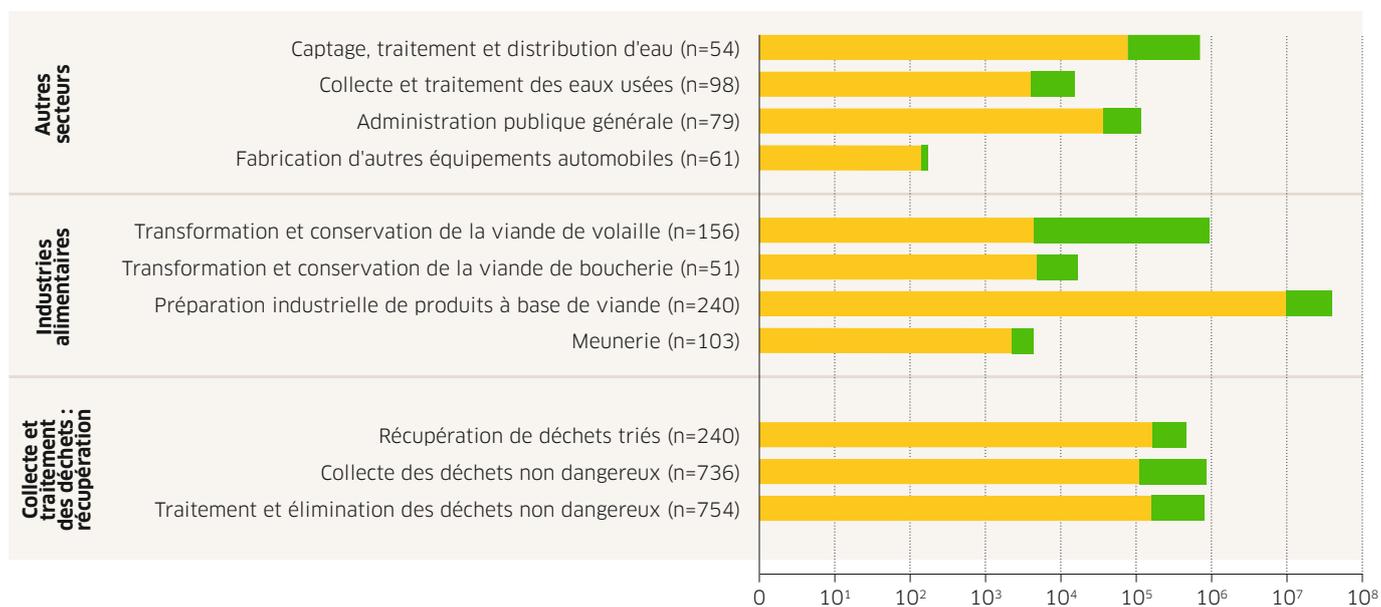
SECTEUR D'ACTIVITÉ NAF				NB DE MESURES	MOYENNE ARITHMÉTIQUE	MIN	70 ^e CENTILE	90 ^e CENTILE	MAX
CODE	LIBELLÉ	CODE	LIBELLÉ						
36	Captage, traitement et distribution d'eau	3600Z	Captage, traitement et distribution d'eau	54	2•10 ⁵	1•10 ¹	8•10 ⁴	7•10 ⁵	2•10 ⁶
37	Collecte et traitement des eaux usées	3700Z	Collecte et traitement des eaux usées	98	1•10 ⁴	4•10 ¹	4•10 ³	2•10 ⁴	3•10 ⁵
84	Administration publique et défense : sécurité sociale obligatoire	8411Z	Administration publique générale	79	4•10 ⁴	2•10 ²	4•10 ⁴	1•10 ⁵	5•10 ⁵
29	Industrie automobile	2932Z	Fabrication d'autres équipements automobiles	61	1•10 ²	8•10 ¹	1•10 ²	2•10 ²	2•10 ²

10	Industries alimentaires	1012Z	Transformation et conservation de la viande de volaille	156	4•10 ⁵	1•10 ²	4•10 ³	9•10 ⁵	3•10 ⁷
		1011Z	Transformation et conservation de la viande de boucherie	51	6•10 ³	9•10 ¹	5•10 ³	2•10 ⁴	4•10 ⁴
		1013A	Préparation industrielle de produits à base de viande	240	2•10 ⁷	5•10 ⁰	9•10 ⁶	4•10 ⁷	3•10 ⁸
		1061A	Meunerie	103	7•10 ³	1•10 ²	2•10 ³	4•10 ³	2•10 ⁵

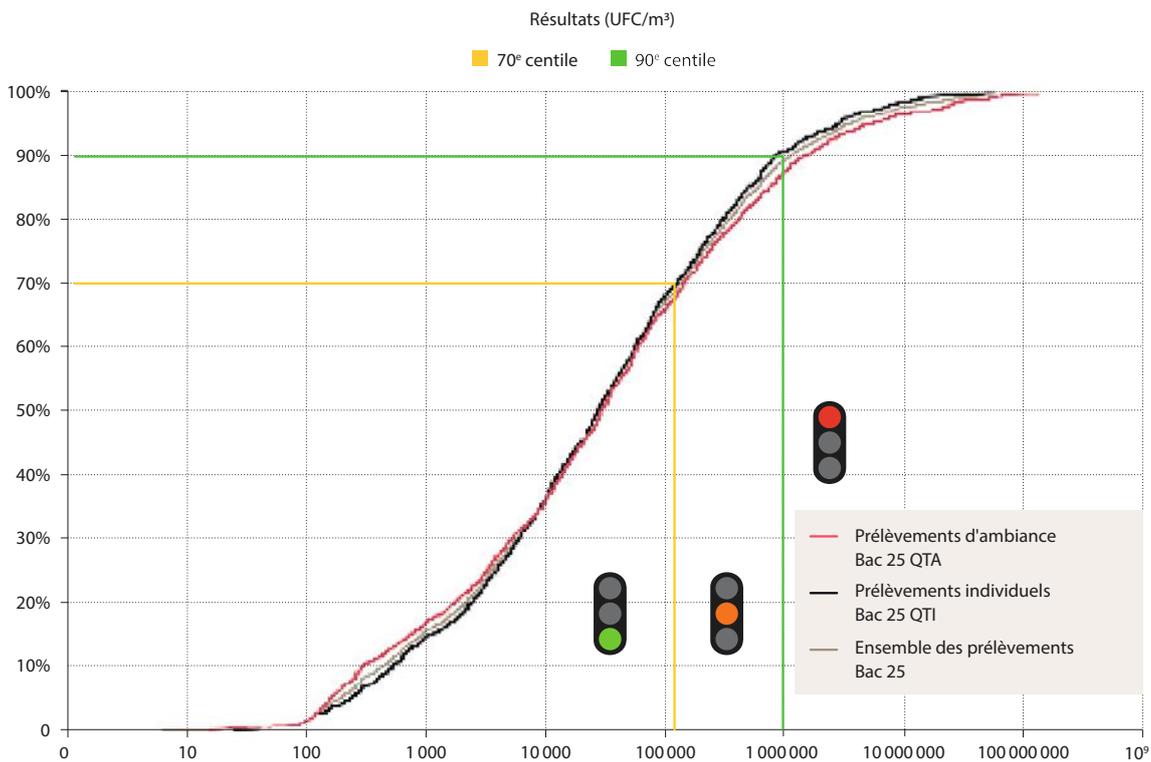
38	Collecte, traitement et élimination des déchets : récupération	3832Z	Récupération de déchets triés	240	3•10 ⁵	2•10 ²	2•10 ⁵	4•10 ⁵	5•10 ⁶
		3811Z	Collecte des déchets non dangereux	736	4•10 ⁵	5•10 ⁰	1•10 ⁵	9•10 ⁵	2•10 ⁷
		3821Z	Traitement et élimination des déchets non dangereux	754	4•10 ⁵	2•10 ¹	2•10 ⁵	8•10 ⁵	5•10 ⁷

↑ TABLEAU 2 Distribution des concentrations individuelles et d'ambiance (UFC/m³) en moisissures cultivables à 25 °C, par secteur d'activité.

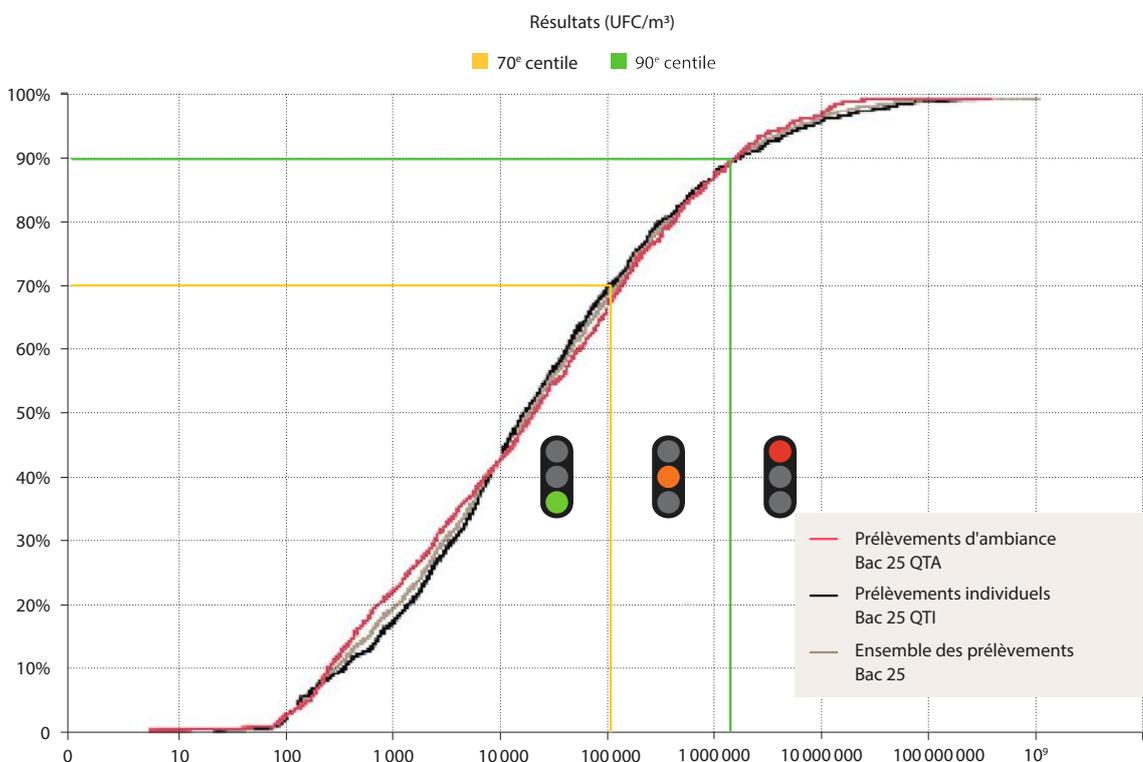
■ 70^e centile ■ 90^e centile



↑ FIGURE 2 70^e et 90^e centiles des concentrations individuelles et d'ambiance en moisissures cultivables à 25 °C par secteur d'activité (UFC/m³).



← FIGURE 3
Distributions des concentrations en bactéries cultivables à 25 °C par type de prélèvement (individuel et d'ambiances) et positionnement des 70^e et 90^e centiles.



← FIGURE 4
Distributions des concentrations en moisissures cultivables à 25 °C par type de prélèvement (individuel et d'ambiances) et positionnement des 70^e et 90^e centiles.

de moisissures). Vient ensuite le secteur de la « collecte et traitement des eaux usées » (4 % des mesures de bactéries et 4 % des mesures de moisissures). Le secteur des déchets, nettement plus étudié que les autres, pouvait présenter un biais. Toutefois, celui-ci se voit amoindri, étant donné que les concentrations

de bactéries et de moisissures mesurées dans ce secteur se situent à un niveau médian par rapport aux autres secteurs. Les Figures 1 et 2 représentent les concentrations individuelles et d'ambiances mesurées par secteur d'activité pour les bactéries et les moisissures



TABLEAU 3 →
Interprétation
des résultats
de mesures
de bactéries et
de moisissures
cultivables à 25°C
prélevées dans
l'atmosphère
de travail des
entreprises
françaises.

EXPOSITION INDIVIDUELLE SUR 8 H	DIAGNOSTIC	ACTIONS À ENGAGER
< 100 000 UFC/m ³	Situation de travail acceptable faisant partie des 70 % des situations de travail les moins exposantes. 	Pas de mesure spécifique. Établir un suivi des niveaux d'exposition.
Entre 100 000 UFC/m ³ et 1 000 000 UFC/m ³	Situation de travail non satisfaisante faisant partie des 20 % des situations de travail intermédiaires. 	Des mesures de prévention sont à planifier. Pour les situations les plus exposantes, elles doivent être mises en place rapidement. Effectuer des contrôles jusqu'à obtention d'une situation acceptable.
> 1 000 000 UFC/m ³	Situation de travail non acceptable faisant partie des 10 % des situations les plus exposantes. 	Mettre en place immédiatement des mesures de prévention. Jusqu'à obtention d'une situation acceptable confirmée par les contrôles.

cultivables à 25°C. Parmi les secteurs étudiés, ceux exposant le moins les travailleurs tant aux bactéries qu'aux moisissures sont la « fabrication d'équipements automobiles » et la « meunerie ». En considérant la seule exposition aux bactéries, les secteurs les plus exposants sont le « captage, traitement et distribution d'eau » (n = 54, 90^e centile = 2.10⁷) et la « transformation et conservation de la viande de volaille » (n = 156, 90^e centile = 1.10⁷) (Cf. *Tableau 1* et *Figure 1*). Concernant les moisissures, l'exposition la plus importante s'observe dans le secteur de la « préparation industrielle de produits à base de viande » (n = 240, 90^e centile = 4.10⁷) (Cf. *Tableau 2* et *Figure 2*). Étant donné l'impossibilité d'établir une relation dose-effet pour l'exposition aux bactéries et aux

moisissures, les valeurs guides ont été fixées dans le but d'améliorer les situations de travail les plus exposantes. Cette approche correspond à celle déjà suivie pour fixer les valeurs guides des endotoxines [4].

Ainsi, les 10 % des expositions les plus élevées (90^e centile) sont jugées comme des situations inacceptables devant être immédiatement traitées. Puis, en se basant sur la distribution des concentrations mesurées en entreprises, et afin d'avoir un écart significatif, le 70^e centile a été fixé pour définir la seconde valeur guide déclenchant des actions.

Trois groupes d'exposition ont donc été définis :

- les 70 % de situations de travail les moins exposantes (inférieures au 70^e centile) ;



Station
d'épuration
communale :
clarificateur
et bassin
d'aération.

© Sylvie Legoupi pour l'INRS/2015

- les 10 % de situations de travail les plus exposantes (supérieures au 90^e centile) ;
- les 20 % de situations de travail intermédiaires, dont les expositions sont comprises entre les 70^e et 90^e centiles.

L'objectif visé est d'améliorer les 30 % des situations les plus exposantes, les 70 % restant étant considérées comme acceptables à ce jour.

L'analyse de la distribution des concentrations en bactéries (Cf. Figure 3) et en moisissures (Cf. Figure 4), tous secteurs confondus, révèle des profils similaires pour les prélèvements individuels et d'ambiance. De plus, les valeurs de ces distributions sont très semblables pour les bactéries et les moisissures. En effet, le 90^e centile pour les bactéries se situe à 995 200 UFC/m³ (Figure 3) et pour les moisissures à 1 407 880 UFC/m³ (Figure 4). Le 70^e centile se situe à 114 400 UFC/m³ pour les bactéries (Figure 3) et à 107 020 UFC/m³ pour les moisissures (Figure 4).

Dans ce contexte, avec la volonté de limiter les expositions, des valeurs guides identiques ont été fixées pour l'interprétation des résultats de mesures de bactéries et de moisissures cultivables à 25°C, prélevées dans l'atmosphère de travail des entreprises françaises sur 8 heures :

- 100 000 UFC/m³, soit 10⁵ UFC/m³ (70^e centile) : valeur au-dessus de laquelle les situations de travail font partie des 30 % les plus exposantes ;
- 1 000 000 UFC/m³, soit 10⁶ UFC/m³ (90^e centile) : valeur au-dessus de laquelle les situations de travail font partie des 10 % les plus exposantes.

Ces deux valeurs définissent trois groupes d'exposition permettant de qualifier une situation de travail et de définir les actions de prévention à engager

(Cf. Tableau 3). Selon l'importance de l'exposition, des mesures seront à mettre en œuvre de façon plus ou moins urgente.

Les deux valeurs guides proposées (100 000 et 1 000 000 UFC/m³) permettent d'harmoniser l'interprétation des résultats d'exposition aux bactéries et aux moisissures cultivables à 25°C prélevées dans l'air des lieux de travail et de déterminer les actions à engager. Ces valeurs seront reconsidérées régulièrement en fonction des nouveaux résultats de mesures enregistrés dans la base de données Colchic. ●

1. La base de données d'exposition professionnelle aux agents chimiques et biologiques Colchic regroupe l'ensemble des mesures d'exposition effectuées sur les lieux de travail par les huit laboratoires interrégionaux de chimie (LIC) des Carsat/Cramif, le laboratoire des biocontaminants de la Cramif et les laboratoires de l'INRS. Elle est gérée par l'INRS et a été créée en 1987 à l'initiative de la Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés (Cnam). À ce jour, Colchic compte plus d'un million de résultats pour 745 agents chimiques et biologiques. Voir en particulier : <https://www.inrs.fr/publications/hst/bases-de-donnees.html>.

2. UFC : Unité formant colonie.

3. Bactérie à Gram négatif : une technique de coloration inventée en 1884 par M. Gram permet de définir deux compositions de paroi bactérienne (bactéries « à Gram négatif » et bactéries « à Gram positif »).

4. INRS – Méthode MétroPol M-147 – Micro-organismes aérobies. Voir : https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_147.

5. Un biais d'interprétation est susceptible d'être introduit lors de l'exploitation des bases de données nationales d'exposition professionnelle telles que Colchic. En effet, ces bases n'ont pas été conçues dans le but d'être représentatives de l'ensemble des travailleurs ou d'un secteur professionnel donné. Voir en particulier : <https://www.inrs.fr/publications/hst/bases-de-donnees.html>.

BIBLIOGRAPHIE

[1] OPLIGER A., DUQUENNE P. – Chapter 8 – Highly contaminated workplaces. In: VIEGAS C., PINHEIRO A.C. ET AL. (éds) – *Environmental mycology in public health: fungi and mycotoxins risk assessment and management*. Amsterdam, Academic Press, 2016, pp. 79-105.

[2] 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. 44-50. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%2022>

[3] WALSER S.M. ET AL. – Evaluation of exposure-response relationships for health effects of microbial bioaerosols: a systematic review. *International journal of hygiene and environmental health*, 2015, 218, pp. 577-589.

[4] BALTU I. ET AL. – Valeurs guides endotoxines : interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols. *Hygiène & sécurité du travail*, 2015, 239, Note technique NT 25,

pp. 46-50. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2025>

[5] ZAMFIR M. ET AL. – A systematic review of experimental animal studies on microbial bioaerosols: dose-response data for the derivation of exposure limits. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 2019, 222 (2), pp. 249-259. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.11.004>

[6] MANDRYK J., ALWIS K.U., HOCKING A.D. – Effects of personal exposures on pulmonary function and work-related symptoms among sawmill workers. *Annals of occupational hygiene*, 2000, 44 (4), pp. 281-289.

[7] PEARSON C. ET AL. – Exposures and health outcomes in relation to bioaerosol emissions from composting facilities: a systematic review of occupational and community studies. *J. Toxicol. Environ. Health B. Crit. Rev.*, 2015, 18 (1), pp. 43-69. Accessible sur : doi: 10.1080/10937404.2015.1009961

[8] MADSEN A.M. ET AL. – Review of biological risks associated with the collection of municipal wastes. *Science of the total*

environment, 2021, 791, pp. 148287. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148287>

[9] ZEMOURI C. ET AL. – A scoping review on bio-aerosols in healthcare and the dental environment. *PLoS One*, 2017, 12 (5), p. e0178007. Accessible sur : doi: 10.1371/journal.pone.0178007

[10] INRS – *Moisissures en milieu de travail*. ED 4416, 2019. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204416>

[11] ANSES – *Moisissures dans le bâti*. Avis de l'Anses/Rapport d'expertise collective, juin 2016. Accessible sur : www.anses.fr

[12] SIMON X., WITSCHGER O. – Mesure de l'exposition aux aérosols en fraction inhalable : avantages et limites de la « cassette fermée ». *Hygiène & sécurité du travail*, 2019, 257, Note technique NT 78, pp. 58-64. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2078>