Notes techniques

RÉSULTATS DE MESURES D'ENDOTOXINES : EXPLOITATION ET IMPACT SUR LES VALEURS GUIDES EXISTANTES

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

ÉRIC DURAND-BILLAUD
INRS, département Études et assistance médicales

BRIGITTE FACON, VALÉRIE RENEVOT
Cramif, laboratoire des Biocontaminants

SÉBASTIEN NICOLAS
Carsat Pays-de-la-Loire, Laboratoire intérégioanal de chimie de l'Ouest (Lico)

PHILIPPE DUQUENNE, JONATHAN CHÉRON
INRS, département Ingénierie des procédés

CHRISTINE DAVID, MYRIAM BOUSLAMA
INRS, département Expertise et conseil technique

Cet article a pour objectif de présenter un état des lieux des niveaux de concentration en endotoxines enregistrés pendant plus de onze années dans différents secteurs d'activités en France. L'exploitation de ces niveaux d'exposition permet de conforter les deux valeurs guides endotoxines de 200 UE/m³ et de 1 000 UE/m³ proposées en 2015.

Les endotoxines sont des molécules constituant la paroi des bactéries à Gram négatif. Elles sont présentes dans de nombreuses matrices (eaux résiduaires, déchets ménagers solides, poussières déposées, composts, etc.) et peuvent être mises en suspension dans l'air des environnements professionnels par le biais de procédés ou de tâches émettant des aérosols. L'exposition des travailleurs aux endotoxines a été mise en évidence dans de nombreux secteurs d'activité, et leur inhalation peut engendrer des effets sur la santé. Aussi, des valeurs guides (200 et 1 000 unités endotoxines par mètre cube d'air : UE/m³) ont été proposées en 2015 [1], afin d'harmoniser l'interprétation des résultats de mesure des endotoxines dans l'air, de sensibiliser les entreprises, de définir et de prioriser des actions de prévention à engager [1]. Lors de ce travail initial, il avait été proposé de reconsidérer régulièrement ces valeurs en fonction des résultats de mesure qui alimentent progressivement la base de données Colchic [2]. Depuis 2015, des prélèvements d'endotoxines supplémentaires ont été effectués dans de nombreux secteurs d'activité en France. Cet article a pour objectif de réaliser un état des lieux des niveaux d'exposition rencontrés dans ces secteurs d'activité, afin de juger de la pertinence des valeurs guides précédemment établies.

Effets sur la santé

Plusieurs études ont mis en évidence une prévalence accrue de signes cliniques tels que toux, essoufflement et oppression thoracique dans les milieux professionnels les plus exposés à des endotoxines [2-4]. Ces manifestations sont en rapport avec un phénomène inflammatoire et non pas allergique.

Une exposition massive à des poussières organiques contaminées par des endotoxines est par ailleurs associée au syndrome toxique des poussières organiques, qui se traduit par des signes généraux (fièvre, malaise, douleurs diffuses) et respiratoires (gêne thoracique, toux). La guérison est rapide et sans séquelles.

D'autres études, basées sur des examens paracliniques (épreuves fonctionnelles respiratoires, marqueurs d'inflammation…), ont mis en évidence une hyper-réactivité bronchique non spécifique ou une augmentation des taux de marqueurs de l'inflammation dans le sang ou le liquide de lavage broncho-alvéolaire entre le début et la fin du poste de travail [5]. Ainsi, la diminution du volume expiratoire maximal par seconde en rapport avec une altération de la fonction respiratoire peut être, dans certaines conditions, corrélée à la concentration d'endotoxines dans l'air, de 1 000 UE/m³ à 80 000 UE/m³ et de 60 UE/m³ à 7 790 UE/m³ respectivement selon deux études [6,7]. L'effet de l'exposition aux endotoxines sur les résultats de l'exploration fonctionnelle respiratoire a depuis été confirmé par plusieurs études [8,9]. Par ailleurs, chez les travailleurs présentant une bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) ou un asthme, ces pathologies peuvent être aggravées à la suite d'expositions à des endotoxines, notamment lorsqu'elles sont prolongées ou répétées [8].

Malgré les connaissances acquises sur les symptômes respiratoires et généraux attribués à des expositions professionnelles aux endotoxines, de nombreuses interrogations persistent, notamment en ce qui concerne le lien dose-effet.

Ainsi, la concentration d'endotoxines en dessous de laquelle il n'est pas décrit de signe clinique n'a pas pu être établie à ce jour. Des manifestations →

RÉSUMÉ

Les endotoxines sont des constituants de la membrane externe de certaines bactéries qui peuvent être mis en suspension dans l'air au cours de certaines tâches professionnelles, et qui sont susceptibles d'être inhalés par les travailleurs. L'exposition aux endotoxines a été associée à des effets sur la santé, mais il persiste de nombreuses interrogations en ce qui concerne le lien dose-effet. Il reste donc important de mesurer les concentrations en endotoxines aux postes de travail pour mieux caractériser l'exposition des salariés et aider à l'interprétation des données de mesures. Plus de onze années de mesures enregistrées dans la base de données Colchic ont été exploitées pour réaliser un état des lieux des niveaux de concentration en endotoxines rencontrés dans plusieurs secteurs d'activité en France. Les résultats confirment que les concentrations mesurées en ambiance de travail sous-estiment l'exposition individuelle des salariés d'un facteur deux. Par ailleurs, une importante variabilité des concentrations est observée d'un secteur d'activité à un autre. Toutefois, l'exploitation de ces données montre que les valeurs guides proposées en 2015, à savoir 200 UE/m³ et 1 000 UE/m³, restent pertinentes et utiles pour harmoniser l'appréciation des situations de travail et engager de manière pragmatique les actions de prévention prioritaires.

RESULTS OF ENDOTOXIN MEASUREMENTS: USE AND IMPACT ON EXISTING GUIDELINE VALUES

Endotoxins are components of the external membrane of some bacteria which can be suspended in the air during certain work tasks, and can be inhaled by workers. Exposure to endotoxins has been associated with health effects, but many questions linger about the dose/effect relationship. It therefore remains important to measure endotoxin concentrations at workstations to better characterise workers' exposure and help to interpret the measurement data. More than 11 years' worth of measurements recorded in the Colchic database were analysed to draw up an inventory of the endotoxin concentration levels encountered in several activity sectors in France.
The results confirm that the concentrations measured in the work atmosphere underestimate workers' individual exposure by a factor of 2. Moreover, concentration varied heavily from one sector to another. However, the analysis of these data shows that the guideline values proposed in 2015, i.e. *200 UE/m³ and 1,000 UE/m³ are still pertinent and useful for harmonising the assessment of work situations and pragmatically undertaking priority prevention measures.*

respiratoires à la suite d'expositions inférieures à 100 UE/m³ dans l'air ambiant ont été décrites, bien que le niveau de preuve du lien de cause à effet soit relativement faible [8].
Deux revues récentes [10,11] soulignent que les résultats des études réalisées sur le lien de cause à effet sont difficiles à interpréter en raison de méthodes de prélèvement et d'analyse des expositions différentes. L'une d'elles [10] met également en lumière que l'approche par secteur professionnel semble insuffisante et devrait s'accompagner d'une analyse par type d'activité, voire par tâche de travail. En effet, dans un même secteur, les expositions peuvent grandement varier d'un poste à l'autre. Par ailleurs, il est essentiel de tenir compte des autres expositions possibles (poussières, autres agents biologiques ou chimiques). La co-exposition à des agents biologiques et chimiques, fréquemment rencontrée en milieu professionnel, peut renforcer les effets néfastes des endotoxines. C'est le cas, par exemple, dans les élevages de porcs, où des travailleurs exposés de façon chronique à l'ammoniac et aux détergents peuvent déclencher des inflammations du tractus respiratoire en présence de faibles concentrations d'endotoxines [10].
Ces différents constats montrent qu'il est important de poursuivre les efforts pour la prévention des risques professionnels liés à l'exposition aux endotoxines. Pour cela, il peut être nécessaire de mesurer les concentrations d'endotoxines aux postes de travail pour mieux caractériser l'exposition des travailleurs et, le cas échéant, pour mettre en place des mesures de prévention adéquates et évaluer leur efficacité, afin de réduire de façon significative les niveaux d'exposition.

Méthode et stratégie de mesure des endotoxines

La métrologie atmosphérique permet de mesurer les endotoxines présentes dans un environnement de travail. On distingue :

- l'exposition des travailleurs qui est évaluée par le biais de mesures individuelles, effectuées au niveau des voies respiratoires du travailleur ;
- les mesures d'ambiance de travail qui sont effectuées à des points fixes, stratégiquement positionnés à différents endroits pour cartographier un environnement de travail ;
- et les mesures de référence qui sont réalisées dans des lieux supposés non contaminés par les activités de l'entreprise (bureau, air extérieur) pour évaluer le « bruit de fond ».

Ces mesures de référence réalisées hors de la zone de travail d'intérêt permettent de vérifier que les endotoxines détectées dans l'atmosphère de travail sont bien générées par l'activité de l'entreprise.
L'air extérieur est considéré comme faiblement contaminé en l'absence de source d'émission ; il constitue donc une référence incontournable, pour autant que le point de mesure soit positionné à un endroit non influencé par d'autres sources de contamination. Ces mesures de référence jouent un rôle important pour l'interprétation des données et peuvent avoir un intérêt pédagogique afin de démontrer l'origine de la pollution.

TYPE DE PRÉLÈVEMENT	NOMBRE DE MESURES	MOYENNE ARITHMÉTIQUE	VALEUR MINIMALE	CENTILE 80	CENTILE 90	VALEUR MAXIMALE
Tous	1 838	962	0,05	392	1 316	83 703
Individuel	1 047	1 396	0,30	433	2 031	83 703
Ambiance	791	389	0,05	352	920	11 744
Référence	313	3	0,03	4	7	124

↑ **TABLEAU 1** Distribution des concentrations individuelles et d'ambiance en endotoxines [UE/m³].

Les endotoxines dans l'air des lieux de travail sont collectées par un prélèvement actif sur filtre et dosées suivant une méthode spectrophotométrique qui permet de déterminer une concentration en unité d'endotoxines par mètre cube d'air [12]. La méthode MétroPol M-154[3] a été utilisée pour effectuer les mesures d'endotoxines. Le prélèvement est réalisé à un débit de 2 L.min^{-1} à l'aide d'une cassette fermée comportant trois pièces de 37 mm de diamètre et équipée d'un filtre en fibres de verre apyrogène (c'est-à-dire exempt de substances pyrogènes et notamment d'endotoxines). Les cassettes sont assemblées dans des conditions limitant tout risque de contamination. Pour l'analyse, le filtre en fibres de verre est retiré de la cassette, placé dans un tube contenant de l'eau apyrogène et agité à forte vitesse (environ 2 000 rotations par minute) afin d'extraire les endotoxines. L'extrait est ensuite centrifugé avant le dosage, qui s'effectue à l'aide d'une méthode spectrophotométrique cinétique avec le réactif LAL (lysat d'amœbocyte de limule). Toutes les mesures réalisées par cette méthode sont ensuite enregistrées dans la base de données Colchic.

Exploitation des données issues de la base de données Colchic

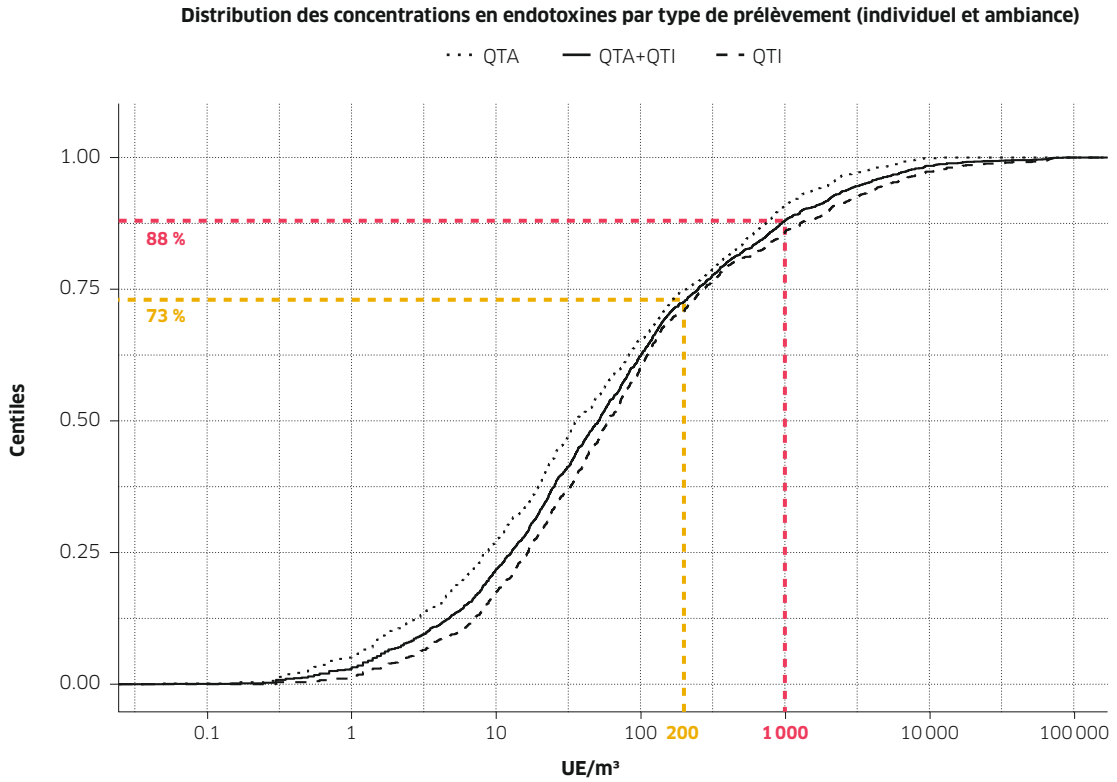
Données de mesures retenues pour l'analyse

Les données exploitées proviennent de la base Colchic et concernent les mesures individuelles et d'ambiance de travail enregistrées entre 2011 et 2022. Ces mesures concernent des prélèvements réalisés sur une durée comprise entre 60 et 480 minutes. Par convention, les valeurs dont la concentration était inférieure à la limite de quantification (LQ) ont été remplacées par LQ/2. Les mesures de référence ont été retirées de l'analyse des expositions mais sont présentées, pour comparaison, dans le *Tableau 1*.

Analyse des données

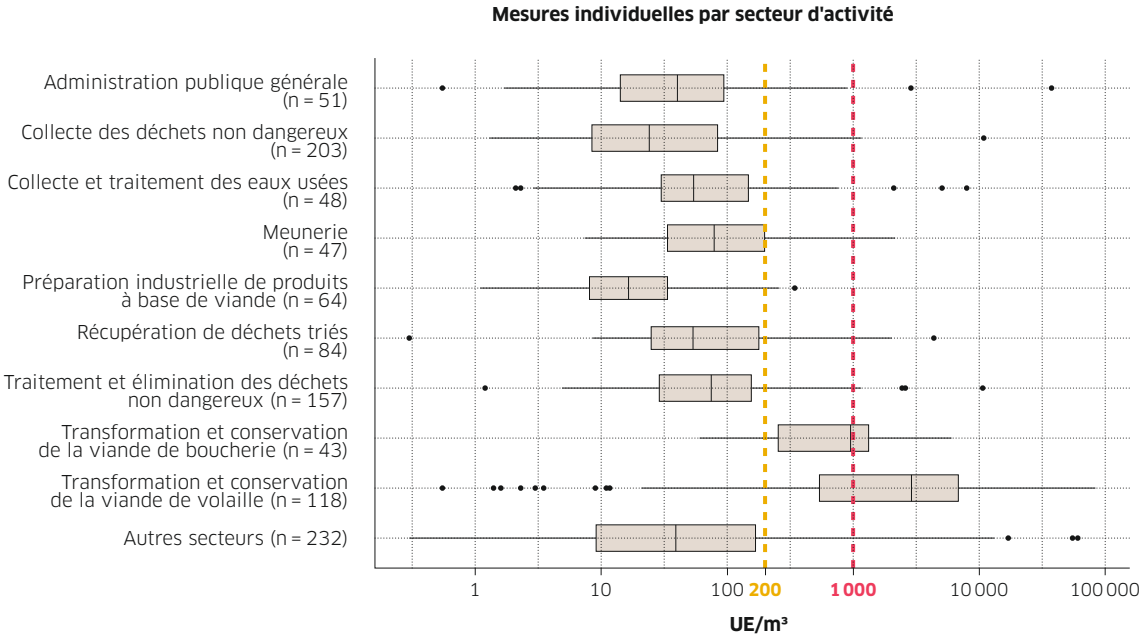
Après épuration, 1 838 mesures d'endotoxines ont été intégrées pour l'analyse descriptive des concentrations. Les mesures individuelles représentent 57 % des mesures ; les 43 % restant sont des mesures d'ambiance des lieux de travail *(Cf. Tableau 1)*.

Globalement, 27 % des mesures d'endotoxines dépassent la valeur guide de 200 UE/m³ et 12 %, celle



← **FIGURE 1** Distribution des mesures d'endotoxines par rapport aux valeurs guides. *QTI : quantitatif individuel (distribution des données de mesures individuelles). QTA : quantitatif ambiance (distribution des données de mesures en ambiance). QTI + QTA : distribution de l'ensemble des données de mesure.*

FIGURE 2 →
Distribution des expositions en endotoxines par secteur d'activité (n ≥ 20).
Les traits verticaux jaune et rouge représentent respectivement les valeurs guides de 200 UE/m³ et 1 000 UE/m³.



de 1 000 UE/m³ *(Cf. Figure 1)*. En prenant en compte les seuls prélèvements individuels, cette proportion augmente légèrement, avec respectivement 29 % et 14 % de dépassements.

Par ailleurs, les résultats présentés dans le *Tableau 1* mettent en évidence que les concentrations mesurées en ambiance de travail sous-estiment l'exposition du travailleur. En effet, pour le 90e centile, la valeur en individuel est environ deux fois celle de l'ambiance. Cette différence s'explique par le fait que les prélèvements réalisés dans la zone respiratoire des travailleurs permettent de prendre en compte l'ensemble des expositions liées aux gestes, aux postures, aux déplacements et à la position du travailleur proche de la source d'émission ; les prélèvements d'ambiance sont représentatifs de la zone échantillonnée et ils ne prennent donc pas en compte toutes ces sources de variabilité.

La *Figure 2* met en évidence la variabilité des expositions individuelles d'un secteur d'activité à l'autre. Parmi les secteurs pour lesquels on dispose de plus de 20 mesures, les secteurs de la transformation et conservation de la viande de boucherie (n = 43) et de la viande de volaille (n = 118) présentent des concentrations supérieures à 1 000 UE/m³ dans respectivement 42 % et 69 % des situations de travail investiguées. À l'inverse, la préparation industrielle de produits à base de viande (n = 64) enregistre les niveaux les plus bas, avec seulement 5 % des mesures dépassant la valeur de 200 UE/m³. Le secteur le plus investigué est celui de la collecte des déchets non dangereux (n = 203), dont 11 % des mesures dépassent la valeur de 200 UE/m³.

Les résultats relatifs à l'administration publique générale *(Cf. Figure 2)* proviennent pour 81 % de tâches effectuées en « Maintenance des installations de traitement des eaux usées », qui sont elles-mêmes rattachées pour 82 % des cas au métier d'égoutier.

Les secteurs d'activité ayant moins de vingt mesures ont été regroupés dans « Autres secteurs » ; parmi ces secteurs, l'élevage de chevaux et autres équidés (NAF 0143Z ; n = 17) présente les valeurs les plus élevées, comprises entre

© Gaël Kerbaol/INRS/2024

Opération de maintenance (décrochage de déchets) dans une usine d'assainissement de l'eau.

202 UE/m³ et 60 628 UE/m³, avec 76 % des mesures dépassant la valeur de 1000 UE/m³. D'autres secteurs sont caractérisés par un pourcentage élevé de mesures dépassant la valeur guide de 1000 UE/m³, notamment le commerce de gros (commerce inter-entreprises) des fruits et légumes, et celui des volailles et gibiers.
Cette nouvelle exploitation de données concernant les expositions aux endotoxines permet de constater l'absence ou le manque de résultats dans plusieurs secteurs d'activité, ainsi que dans des secteurs émergents concernés par le risque biologique qui mériteraient sans doute de futures investigations : l'industrie du textile (teillage du lin), le secteur de la transformation du bois et le recours à des matériaux à base de bois, la construction écologique (nouveaux matériaux, chanvre, paille, etc.), les nouvelles filières de recyclage et de revalorisation (matelas et filets en plastique de *round-baller)*, la fabrication de substituts de viande à base de plantes, le secteur du soin des animaux (vétérinaires et soigneurs animaliers) et l'alimentation animale.

Importance de la mesure d'exposition aux endotoxines et des valeurs guides associées

La mesure de l'empoussièrement auquel est exposé un salarié peut être un indicateur de l'exposition professionnelle en la comparant à la concentration réglementaire moyenne à ne pas dépasser de 4 mg/m³ sur une période de 8 heures pour la fraction inhalable[4].
Cependant cette approche ne tient pas compte de la composition et de la concentration en polluant biologiques et chimiques *(Cf. Encadré 1)*. Parfois, la concentration en agents biologiques dans les poussières est telle que, même si la concentration en poussière mesurée est inférieure à la valeur réglementaire, les niveaux d'exposition aux endotoxines sont suffisamment importants pour nécessiter la mise en place immédiate d'actions de prévention spécifiques.
Il est donc nécessaire de mieux caractériser les expositions par des mesures d'endotoxines ou de micro-organismes cultivables afin de caractériser avec précision la situation d'exposition. Les valeurs guides, tant pour les endotoxines que pour les micro-organismes cultivables, permettent d'orienter et de prioriser les actions de prévention à mettre en œuvre ; l'absence de mesure de polluants biologiques pouvant conduire à une mauvaise estimation du risque et à une méconnaissance des situations d'exposition réelles des salariés.

Conclusion

Cet article propose un panorama des niveaux de concentration d'endotoxines obtenus dans différentes atmosphères professionnelles sur une période de onze années. La capitalisation de ces données fournit un état des lieux des niveaux de concentration rencontrés dans différents secteurs d'activité. Elle démontre également l'intérêt de pérenniser la mesure des endotoxines afin d'identifier les situations les plus exposantes dans les atmosphères professionnelles, en ciblant particulièrement les secteurs les moins étudiés, pour lesquels le niveau d'information est insuffisant pour se prononcer sur les expositions et orienter les actions de prévention. La nouvelle méthode de mesure des endotoxines [12], plus simple et rapide à mettre en œuvre, doit permettre une appropriation plus aisée par un grand nombre d'utilisateurs, conduisant à augmenter le nombre de mesures effectuées.
L'exploitation des résultats de mesures en endotoxines enregistrés dans la base de données Colchic entre 2011 et 2022 permet également de conforter les deux valeurs guides (200 UE/m³ et 1000 UE/m³) définies en 2015 par le réseau Assurance maladie – Risques professionnels. Les résultats présentés sur la *Figure 1* montrent que les valeurs de 200 UE/m³

ENCADRÉ 1

RETOURS D'EXPÉRIENCE DE MESURES D'ENDOTOXINES ET D'EMPOUSSIÈREMENT EN MILIEUX PROFESSIONNELS

Dans des secteurs d'activité comme l'assainissement, le traitement des déchets, l'agroalimentaire, les expositions professionnelles aux agents biologiques sont connues.
Bien que l'empoussièrement soit souvent un des paramètres de surveillance, il se révèle parfois insuffisant pour caractériser ces expositions.
Ainsi, dans un centre de tri de déchets, des mesures réalisées sur un opérateur travaillant au pré-tri des déchets recyclables ont montré une exposition aux endotoxines à 1 166 UE/m³ et de 1,94 mg/m³ en poussières inhalables. De la même manière, des prélèvements effectués sur un agent d'exploitation d'une station d'épuration travaillant au niveau de l'unité de séchage de boues ont mis en évidence des niveaux d'exposition aux endotoxines et aux poussières inhalables de respectivement 1 109 UE/m³ et 0,79 mg/m³. D'autres secteurs d'activité peuvent être concernés, comme les abattoirs de volailles où des mesures faites aux postes d'accrochage ont révélé des niveaux d'exposition aux endotoxines supérieurs à 1 000 UE/m³, avec des niveaux d'exposition aux poussières inhalables inférieurs à 4 mg/m³. À titre d'exemple, dans un abattoir de poulets, le niveau d'exposition moyen aux poussières inhalables sur cinq accrocheurs était de 2,8 mg/m³, et celui en endotoxines de 1 250 UE/m³. Malgré la mise en place de cabines d'accrochages ventilées permettant de réduire considérablement le niveau d'empoussièrement, les niveaux d'endotoxines restent parfois suffisamment préoccupants pour maintenir le port d'un appareil de protection respiratoire.
De même, en bouverie (zone d'attente pour les bovins avant abattage), les bouviers restent très exposés aux endotoxines bien que leurs niveaux d'exposition aux poussières inhalables soient généralement inférieurs ou proches de 1 mg/m³ ; une campagne de mesures réalisée entre 2018 et 2019 en Bretagne dans quatre abattoirs donne un niveau d'exposition individuelle moyen en poussières inhalables de 0,4 mg/m³ et en endotoxines de 1 225 UE/m³.

ENCADRÉ 2

VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE ET ENDOTOXINES

À l'heure actuelle, il n'existe pas de VLEP pour les endotoxines en vigueur en France, ni ailleurs dans le monde. Plusieurs recommandations ont été faites aux Pays-Bas à partir de 2010 [a] mais la valeur retenue de 90 UE/m³ a finalement été abandonnée. Cette même valeur a été récemment proposée aux États-Unis [b]. En septembre 2024, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a recommandé une VLCT-15 min et une VLEP-8h de 20 UE/m³ pour les endotoxines [c]. Cette valeur, actuellement non réglementaire, a été établie sur la base d'une analyse bibliographique de données toxicologiques dans l'objectif de fixer des valeurs fondées sur des considérations sanitaires. L'expertise de l'Anses s'est appuyée sur un corpus de données différent de celui utilisé par l'Assurance-maladie – Risques professionnels et l'INRS pour fixer les valeurs guides pragmatiques déployées dans le réseau prévention [d]. Ces dernières sont destinées à faciliter l'interprétation des résultats de mesure pour aider à la décision et prioriser les actions de prévention à mettre en œuvre.
À noter que l'analyse des données de mesure collectées dans divers environnements de travail et implémentées dans la base de données Colchic montre qu'en moyenne, 67 % des expositions (ambiances et individuelles confondues) dépassent la valeur de 20 UE/m³ recommandée par l'Anses (71 % pour les seules mesures individuelles). Les mesures de référence (effectuées à l'écart de sources émettrices d'endotoxines) présentent quant à elles une valeur moyenne de 3 UE/m³ *(Cf. Tableau 1)*.

[a] DECOS (Dutch expert committee on occupational standards) – Endotoxins: health-based recommended occupational limit. *The Health Council of the Netherlands. 2010, Publication No. 2010/04OSH.*

[b] ACGIH Data Hub – 2025 Endotoxins (67924-63-4). *ACGIH, 2025.*

[c] ANSES – Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel. Endotoxines. Effets sur la santé. *Avis de l'Anses, Saisine n° 2012-SA-0075, septembre 2024.*

[d] BALTY I. et al. – *Valeurs guides endotoxines. Interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols.* Hygiène & sécurité du travail, *2015, 239, NT 25, pp. 46-50.*

© Fabrice Dimier pour l'INRS/2024

et 1 000 UE/m³ restent pertinentes et utiles sur le nouvel ensemble de plus de 1 800 mesures exploitées. Ces deux valeurs guides permettent toujours de répondre à l'objectif premier de détecter les situations les plus exposantes et de les améliorer. L'utilisation de ces valeurs guides permet d'apprécier de manière harmonisée les situations de travail et d'engager de façon pragmatique les actions de prévention qui apparaissent les plus prioritaires. Il faut cependant rappeler que ces niveaux n'intègrent pas la survenue d'éventuels effets sur la santé, ce qui constitue une différence majeure avec une valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP)[5] *(Cf. Encadré 2)*. Il reste donc crucial de maintenir un suivi des actions et d'assurer la continuité de l'amélioration des situations de travail, même lorsque les niveaux d'exposition sont inférieurs au seuil le plus bas de 200 UE/m³.

Par rapport aux données Colchic, les valeurs de 200 UE/m³ et de 1 000 UE/m³ correspondent respectivement aux concentrations au-dessus desquelles les situations de travail font partie des 27 % les plus exposantes (environ le 73e centile) et des 12 % les plus exposantes (environ le 88e centile). Au vu des conclusions très proches de l'exploitation des nouvelles données par rapport au travail initial de 2015, il est proposé de maintenir et de conforter les valeurs guides de 200 UE/m³ et 1 000 UE/m³ pour l'interprétation des résultats de mesures d'endotoxines dans les atmosphères de travail, tel que précisé dans le nouveau tableau proposé *(Cf. Tableau 2)*. Ces valeurs guides sont applicables à tous les environnements professionnels et pour des mesures effectuées selon la méthode MétroPol.

EXPOSITION INDIVIDUELLE SUR 8 HEURES	DIAGNOSTIC	ACTIONS À ENGAGER
< 200 UE/m³	Situation faisant partie des 73 % des situations de travail les moins exposantes.	Maintien des niveaux d'exposition aussi bas que possible. Établir un suivi des niveaux d'exposition.
Entre 200 UE/m³ et 1 000 UE/m³	Situation faisant partie des 15 % des situations de travail intermédiaires.	Des mesures de prévention sont à planifier. À mettre en place rapidement pour les situations les plus exposantes. Vérifier leur efficacité et effectuer un suivi.
> 1000 UE/m³	Situation faisant partie des 12 % des situations de travail les plus exposantes.	Mettre en place immédiatement des mesures de prévention. Vérifier leur efficacité et effectuer un suivi.

↑ TABLEAU 2 Interprétation des résultats de mesure d'endotoxines dans les atmosphères de travail.

Elles constituent des objectifs de prévention visant à améliorer les conditions de travail et ne sont pas reliées à des effets sur la santé. L'exploitation régulière des concentrations enregistrées dans la base Colchic sera nécessaire, afin de réévaluer ces valeurs et leur domaine d'application. ●

1. Les valeurs de 200 UE/m³ et de 1 000 UE/m³ (correspondant respectivement aux 80e et 90e percentiles des données exploitées en 2015) avaient été choisies pour classer les situations de travail selon trois niveaux d'exposition. L'objectif visé était d'identifier, à des fins de prévention, les 20% des situations de travail les plus exposantes [1].

2. La base de données Colchic rassemble l'ensemble des données de mesurages réalisées par le réseau Assurance maladie – Risques professionnels et l'INRS. Voir notamment : https://www.inrs.fr/publications/hst/bases-de-donnees.html

3. La méthode MétroPol M-154 est désormais remplacée par la méthode M-454, dont les principales étapes et modalités sont présentées dans une note technique parue précédemment dans la revue [12].

4. Cf. Article R. 4222-10 du Code du travail. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

5. Les VLEP désignent des niveaux de concentration en agents chimiques dans l'atmosphère des lieux de travail à ne pas dépasser sur une période de référence déterminée et en dessous desquels le risque d'altération de la santé est négligeable, en l'état des connaissances au moment de leur établissement (voir notamment : ED 6443, INRS. Accessible sur : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206443).

BIBLIOGRAPHIE

[1] Balty I. *et al.* – Valeurs guides endotoxines. Interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols. *Hygiène & sécurité du travail,* 2015, 239, pp. 46-50. Accessible sur : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2025

[2] Heederik D. *et al.* – Relationship of airborne endotoxin and bacteria levels in pigs farms with the lung function and respiratory symptoms of farmers. *International archives of occupational and environmental health,* 1991, 62, pp. 595-601.

[3] Smit L.A., Spaan S., Heederik D. – Endotoxin exposure and symptoms in wastewater treatment workers. *American journal of industrial medicine,* 2005, 48 (I), pp. 30-39.

[4] Donham K. *et al.* – Environmental and health studies of farm workers in swedish swine confinement buildings. *British journal of industrial medicine (BMJ),* 1989, 46, pp. 31-37.

[5] Paris C. – Le syndrome toxique des poussières organiques (ODTS). *Références en santé au travail,* 2014, TR 57, 16 p. Accessible sur : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TR%2057

[6] Rylander R., Haglind P. – Exposure of cotton workers in an experimental cardroom with reference to airborne endotoxins. *Environ Health Perspect*, 1986, 66, pp. 83-86. Accessible sur : doi: 10.1289/ehp.866683

[7] Castellan R.M. *et al.* – Inhaled endotoxin and decreased spirometric values. An exposure-response relation for cotton dust. *New England journal of medicine,* 1987, 317 (10), pp. 605-610.

[8] Farokhi A. *et al.* – Respiratory health effects of exposure to low levels of airborne endotoxin: a systematic review. *Environ Health,* 2018, 17(1), p. 14. Accessible sur : doi: 10.1186/s12940-018-0360-7

[9] Anses – *Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel. Endotoxines. Évaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure.* Avis complété de l'Anses, Saisine n° 2012-SA-0075, mai 2025. Accessible sur : https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2012SA0075RA.pdf

[10] Liebers V. *et al.* – Occupational endotoxin exposure and possible health effects on humans. *American journal of industrial medicine,* 2006, 49, pp. 474-491.

[11] Madsen A.M. *et al.* – Review of biological risks associated with the collection of municipal wastes. *Review Sci Total Environ,* 2021, 791, pp. 148287.

[12] 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