

Caractérisation de l'exposition aux agents biologiques et chimiques et effets sur la santé dans les filières de la valorisation des déchets organiques

Anne OPPLIGER et Julia KRÄMER | Anne.Oppliger@hospvd.ch

Université de Lausanne - Institut universitaire romand de santé au travail - Epalinges-Lausanne - Suisse

Mots clés : bioaérosols, biofuel, centrale à bio-masse, endotoxines, plateforme de compostage

Depuis une dizaine d'années, les filières de recyclage et de valorisation des déchets sont en plein essor et le nombre de travailleurs de ce secteur augmente de jour en jour. En France, la loi sur la transition énergétique fixe un objectif de valorisation des matières organiques de 55% massique en 2020 et de 65% en 2025. La valorisation de ces déchets organiques peut se faire en les utilisant comme source d'énergie renouvelable pour générer de la chaleur ou de l'électricité (avec une production de digestat épandable dans le cas de la méthanisation) ou en les compostant pour les utiliser en amendement* agricole. Généralement, les sous-produits de l'industrie du bois (souche, écorce, copeaux, sciure) ainsi que la tourbe et les boues séchées sont utilisés comme combustibles dans des centrales à biomasse* alors que les déchets de cuisine et de jardins privés sont compostés ou méthanisés. La matière organique, quelle que soit sa provenance, est toujours une source de prolifération pour les microorganismes qui sont facilement mis en suspension dans l'air lors de la manipulation de cette matière. Les bioaérosols* ainsi émis peuvent engendrer des problèmes respiratoires lorsqu'ils sont inhalés (1). En 2013, un projet financé par l'Anses et l'ADEME avait étudié la dispersion de certains micro-organismes issus de ces bioaérosols dans l'environnement direct d'un site de compostage (BIODISPAIR, (2)). L'évaluation des risques liés à l'exposition professionnelle aux bioaérosols et aux agents chimiques dans ces filières de valorisation des déchets organiques n'est pas systématique et est difficile à faire (3). En effet, en raison de la complexité des substances présentes, et du manque de standardisation des méthodes de prélèvements et d'analyses, les expositions aux agents biologiques sont souvent mal caractérisées. De plus, en raison du jeune âge de ces filières, les études épidémiologiques sont inexistantes. Les deux études présentées ici vont, en partie, pallier ce manque. La première étude (Laitinen et al. 2016) a mesuré l'exposition aux agents biologiques et chimiques dans des centrales à biomasse et la seconde (Van Kampen et al. 2017) a suivi sur le long terme la santé respiratoire de travailleurs sur des sites de compostage.

Exposition aux agents biologiques et chimiques dans les centrales à biomasse

Laitinen S. et al.(2016).Exposure to biological and chemical agents at biomass power plants. Biomass Bioenergy, vol.93: p.78-86.

Résumé

Cette étude menée en Finlande de 2012 à 2013 visait la mesure de l'exposition professionnelle aux bioaérosols lors de différentes tâches dans trois différentes centrales à biomasse produisant à la fois de la chaleur et de l'électricité. Les matières combustibles utilisées étaient variées (copeaux de bois, sciure, écorce, souche, tourbe, boue séchée et combustible solide de récupération (CSR)). L'exposition à la poussière organique ainsi qu'au monoxyde et dioxyde de carbone et d'azote (CO, CO₂, NO, NO₂), ammoniac, et sulfure d'hydrogène a aussi été mesurée à l'aide d'appareils à lecture directe. De plus, les composés organiques volatiles (COV) ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse. Pour les bioaérosols, les bactéries et champignons ont été échantillonnés par filtration de l'air avant d'être mis en culture. Les endotoxines*, aussi collectées par filtration, ont été quantifiées par le Limulus test (LAL-test)*. Les étapes de travail investiguées à l'aide de prélèvements à

point fixe*, étaient : le déchargement des différentes matières (copeaux, souches, tourbe et CSR); le broyage/concassage et le stockage des combustibles. L'exposition des conducteurs d'engins de transport, des préparateurs et des agents techniques a été mesurée par prélèvements individuels*. Les résultats des mesures des différentes nuisances sont très variables d'une mesure à l'autre. Le déchargement des matières brutes, en particulier de la tourbe génère les plus fortes concentrations de COV, poussières inhalables et bioaérosols (bactéries et endotoxines) alors que les plus fortes concentrations en champignons ont été observées lors du déchargement des copeaux. La plupart du temps, lors de ces opérations de déchargements, les valeurs limites d'exposition professionnelle et les recommandations ont été dépassées. La plupart des COV détectés provenaient du bois de pin et d'épicéa. Les concentrations pouvaient être très élevées (> 3000µg/m³) le long des tapis roulants qui transportent les différents combustibles L'utilisation de moteur diesel dans les halles de déchargement a généré des concentrations de CO et NO₂ qui dépassaient les VLEP_{15min}*. Les tâches de maintenance, telles que le nettoyage des broyeurs/concasseurs ou des sols près des silos ont été aussi très exposantes. Les collaborateurs travaillant dans les chambres de contrôle ou dans les cabines de véhicules ont été moins exposés que les autres. Quant aux employés des

laboratoires, leur exposition était sujette à des pics de poussières inhalables (> que VLEP_{15 min}) lors de l'ouverture de fûts de matière brute.

Commentaire

Cette étude que l'on peut considérer comme pilote donne des pistes pour planifier les campagnes de mesures et les stratégies d'échantillonnage des différentes nuisances rencontrées dans ces centrales. Elle fournit une multitude de données et permet de mettre en exergue les processus qui génèrent les plus fortes concentrations de nuisances aéroportées ainsi que les tâches les plus exposantes. Il ressort que les ouvriers sont exposés à de nombreuses nuisances tant biologiques que chimiques et que, très souvent, les tâches de courtes durées sont associées avec des pics très élevés d'exposition (ouverture de sacs, de portes, manipulation de matériel dans les silos, nettoyage, etc.). Il est dommage que le nombre de prélèvements par tâche et par combustible soit très faible et que seules les valeurs minimales et maximales soient présentées.

Effets de l'exposition aux bioaérosols sur la santé respiratoire des travailleurs des sites de compostage: une étude de suivi à 13 ans de distance

Van Kampen V. et al. (2017). Effect of bioaerosol exposure on respiratory health in compost workers: a 13-year follow-up study. *Occup Environ Med*, vol.73, p: 829-37.

Résumé

Cette étude longitudinale a été menée en Allemagne en 1996 et 2009 et a suivi la santé respiratoire de 74 hommes travaillant sur 31 sites de compostage. L'étude comprenait aussi 42 travailleurs ayant abandonné la profession entre 1997 et 2009 ainsi que 37 personnes travaillant dans des bureaux faisant office de groupe contrôle. En 1996/97 et 2009, les symptômes associés à une maladie respiratoire chronique ont été documentés à l'aide d'un questionnaire et des tests spirométriques* ont été réalisés. De plus, les anticorps spécifiques (IgE et IgG) contre des allergènes et moisissures communes ont été recherchés dans les sérums de tous les participants. Les résultats ont montré que, parmi les travailleurs et les ex-travailleurs du compost, le nombre de participants ayant déclaré des symptômes de toux augmentait significativement au cours des 13 années de suivi. Le risque relatif, estimé par un test statistique de régression, de souffrir de symptômes de toux et de toux productive était significatif, uniquement chez les ex-travailleurs (RR de 2.46, 95% CI 1.13-5.38 et 2.93, 95% CI 1.27-6.76 respectivement). Le fait d'avoir travaillé plus de cinq ans dans le compostage augmentait aussi significativement le risque de souffrir d'une toux productive ou non (RR de 1.28, 95% CI 1.15-1.44 et 1.32, 95% CI 1.17-1.48 respectivement). En revanche, aucune augmentation significative du risque relatif de souffrir de BPCO* n'a été mise en évidence parmi les participants des trois groupes, seul le statut de fumeur ou d'anciens fumeur augmentait ce risque. Il n'y avait pas de différence dans le déclin des fonctions pulmonaires entre les participants des trois

groupes. En ce qui concerne les tests immunologiques, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les trois groupes, ce qui suggère que le dosage des anticorps testés dans ce travail ne pouvait pas être utilisé comme biomarqueurs d'une exposition aéroportée aux microorganismes. Les conditions de travail ont aussi évolué entre les deux périodes de l'enquête. En 2009, davantage de travailleurs passaient plus de la moitié de leur temps à conduire les chargeuses et les cabines de celles-ci étaient plus fréquemment équipées de système de ventilation qu'en 1996 (88% vs 64%). De plus, la proportion de travailleurs portant occasionnellement une protection respiratoire avait plus que doublé en 13 ans (87% vs 36%). Les auteurs suggèrent que l'absence d'effets respiratoires sévères est en partie due à cette amélioration des conditions de travail.

Commentaire

Cette étude chez les travailleurs de plateforme de compostage porte sur la plus longue durée jamais étudiée dans ce secteur de travail. Il montre que cette filière a fourni un gros effort de prévention vis à vis des expositions aux bioaérosols. Ces mesures de prévention semblent être efficaces puisque le déclin des fonctions pulmonaires, l'augmentation des symptômes de bronchites chroniques et d'irritation des muqueuses, qui avaient été mis en évidence chez ces travailleurs après 5 ans (lors d'un premier suivi en 2001, (4)), ne sont plus observés. Cependant, des symptômes de toux restent plus fréquemment rapportés dans cette population de travailleurs et d'ex-travailleurs que dans la population contrôle et ont significativement augmenté depuis 1996, ce qui signifie que des efforts restent encore à faire.

La principale limite de cette étude est la grande perte d'effectifs entre les deux périodes investiguées (218 vs 74) qui peut conduire à une sous-estimation du risque réel de prévalence de problèmes respiratoires et à un biais lié à l'effet du travailleur sain. Comme le soulignent les auteurs, pour mieux estimer les risques sanitaires, des études de relations doses-réponses sont nécessaires. Cependant, ces dernières sont difficiles à réaliser en raison de la complexité et de la grande variabilité des expositions.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ces deux études montrent que la caractérisation de l'exposition aux agents biologiques dans ces filières de valorisation des déchets est très complexe en raison de la grande variabilité de ces expositions et la présence de nombreux pics d'exposition. De nombreux paramètres peuvent influencer ces expositions à commencer par les matières brutes (combustibles) dont la provenance et la charge en microorganismes varient sans cesse. De plus, il ressort aussi que des nuisances chimiques sont générées lors du traitement de ces déchets végétaux, dont une partie émise par l'utilisation de véhicules à moteurs diesel lors du déchargement/chargement. Les effets sanitaires chroniques liés à ces expositions sont, pour l'instant, très rarement évalués. Une étude de cohorte sur une période de 13 ans, dans la filière du compostage montre que, grâce à une amélioration des mesures de prévention de l'exposition aux poussières organiques, les atteintes de la santé respiratoire des travailleurs sont moindres par rapport à la situation observée auparavant. Il importe donc, que des analyses de risques professionnels soient systématiquement réalisées dans ces nouveaux secteurs de travail avec, en parallèle, la mise en place d'un suivi de la santé des travailleurs. Ceci afin de pouvoir identifier rapidement les potentielles atteintes sanitaires en lien avec les expositions chroniques dans ces filières professionnelles.

GENERAL CONCLUSION

These two studies show that the characterization of exposure to biological agents in green and wood waste recycling plants is very complex. This is due to the fact that their concentrations vary largely during a whole day and to the high variability of the handled materials and their microbial load. Furthermore, it is shown that chemical pollution is also generated during the processing of the biomass, some of which is emitted by the diesel-powered vehicles used for the unloading/loading process. The chronic health effects associated with these exposures are very rarely evaluated. A first long-term, chronic exposure study in composting plants shows that, thanks to an improvement of working conditions and preventive measures in the workplace, the effects of bioaerosol exposure on workers' respiratory health are less important than those previously observed. Therefore, it is important that occupational hygiene measures are systematically carried out in parallel with the workers' health follow-up. This could allow identification of the potential specific health problems related to chronic exposure in these sectors.

Lexique

Amendement : En agriculture, l'amendement est une opération ayant pour but d'améliorer les propriétés physiques, chimiques ou biologiques d'un sol.

Bioaérosols : Ce sont des particules aéroportées d'origine organique ou provenant de microorganismes. Ils comprennent, entre autres, les bactéries, champignons et virus ainsi que leurs composants (endotoxines, molécules allergènes) et leurs toxines (mycotoxines).

Biomasse : Elle représente les matériaux organiques d'origine animale ou végétale indépendamment de toute transformation par des processus géologiques (par opposition à la biomasse fossile : le pétrole, le charbon et le gaz naturel). On distingue la biomasse sèche (telle que le bois) de la biomasse fermentable (telle que les déchets de cuisine) dont une transformation chimique naturelle est source de gaz (le biogaz par exemple).

BPCO : Broncho-pneumopathie chronique obstructive.

IgE, IgG : Les immunoglobulines de classe E ou G (IgE, IgG) sont des anticorps produits par le système immunitaire. Les IgE sont normalement présentes dans le sang en très petites quantités et peuvent être produites spécifiquement en réponse à une exposition à un type d'allergène. Elles sont responsables des réactions allergiques. Les IgG sont présentes en grandes quantités dans le sang, elles permettent de lutter contre les bactéries et les virus.

Endotoxine : Élément constitutif de la paroi des bactéries à Gram négatif. Les endotoxines possèdent comme parties biologiquement actives un fragment de paroi et du lipopolysaccharide. Les endotoxines sont essentiellement libérées lors de la lyse bactérienne et sont à l'origine d'actions sur le système immunitaire, la coagulation et l'inflammation. Leur inhalation peut être à l'origine de symptômes respiratoires

Prélèvement individuel, à point fixe : Le prélèvement individuel se fait dans la zone respiratoire des travailleurs, c'est l'approche la plus représentative pour mesurer l'exposition réelle. Les mesures à point fixe dites d'« ambiance du lieu de travail » quant à elles permettent de cartographier la concentration dans une zone, un atelier par exemple (INRS).

VLEP : Il s'agit de la valeur limite d'exposition professionnelle. Elle indique la concentration dans l'air que peut respirer une personne pendant un temps déterminé sans risque, en théorie, d'altération pour sa santé. La définition réglementaire de la VLEP donnée par le code du travail reprend la définition fixée au niveau européen. Il s'agit de la limite de la moyenne, pondérée en fonction du temps, de la concentration d'un agent chimique dangereux dans l'air de la zone de respiration d'un travailleur au cours d'une période de référence déterminée. Au niveau réglementaire, la période de référence est soit de huit heures (VLEP huit heures), soit de quinze minutes (VLEP court terme).

Test LAL : Test utilisant des cellules circulantes de *Limules* (d'où son nom : LAL = Lysat d'amoebocytes de limule) et permet le dosage quantitatif et cinétique des endotoxines de bactéries à Gram-négatif.

Tests spirométriques : Ce sont des tests de la fonction respiratoire qui incluent un groupe d'examen qui permettent de savoir jusqu'à quel point les poumons sont

efficaces. On mesure la quantité d'air que les poumons peuvent contenir et la capacité à expulser cet air.

Publications de référence

1 Schlünssen V, Madsen A, Skov S *et al.* Does the use of biofuel affect respiratory health among male Danish energy plant workers ? *Occup Environ Med* 2011;68:467-73.

2 Galès A, Bru-Adan V, Godon JJ *et al.* Predominance of single bacterial cells in composting bioaerosols. *Atmos Environ* 2015;107: 225-32.

3 Rohr AC, Campleman SL, Long CM *et al.* Potential occupational exposures and health risks associated with biomass-based power generation. *Int Environ Res Public Health* 2015;12:8542-605.

4 Bünger J, Schappler-Scheele B, Hilgers R *et al.* A 5-year follow-up study on respiratory disorders and lung functions in workers exposed to organic dust from composting plants. *Int Arch Occup Environ Health* 2007;80:306-12.

Liens d'intérêts :

Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêt.