CARACTERISATION DES EMISSIONS ET DES EXPOSITIONS AUX AGENTS CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DANS LES LOCAUX D'UNE ENTREPRISE FROMAGERE

P. Duquenne[*,1], X. Simon[2], N. Monta[1], L. Alonso[2], C. Coulais[2], J. Kunz[1], et B. Galland[1]

[1]Laboratoire d'Analyses Spatiales et Temporelles des Expositions Chimiques
[2]Laboratoire de Métrologie des Aérosols, INRS, 54519 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France
*Courriel de l'orateur : philippe.duquenne@inrs.fr

TITLE

Characterization of emissions and exposures to chemical and biological agents in the workplace atmospheres of a cheese company

RESUME

Une campagne de mesures a été menée dans une entreprise industrielle produisant des fromages dans le but d'étudier les polluants atmosphériques chimiques et biologiques et les expositions professionnelles associées. Les résultats montrent qu'une tâche portant sur le brossage d'une catégorie de fromages provoque une émission massive de particules dans l'air. Essentiellement constituées d'entités fongiques particulaires inhalables, cette émission s'accompagne d'expositions individuelles en moisissures cultivables élevées (10^7 UFC/m^3). L'ambiance de travail dans les hâloirs est aussi caractérisée par une forte concentration en CO_2 (3000-4000 ppm$_v$) et une humidité relative de l'air élevée (> 95 %). Ces constats suggèrent un risque, notamment de nature immuno-allergique, pour les travailleurs exposés en charge des activités de soins des fromages et attirent l'attention sur les ambiances de travail dans les hâloirs (concentration en CO_2 et humidité relative de l'air élevées). Les données ont permis de mieux comprendre les situations de travail et fournissent de nombreux éléments pour proposer des améliorations.

ABSTRACT

A measurement campaign was carried out in an industrial company producing cheese in order to study chemical and biological air pollutants and the associated occupational exposures. The results show that a particular task involving the brushing of a category of cheeses causes the massive emission of particles into the air. Because emitted particles are essentially composed airborne inhalable fungal entities, this particle emission is accompanied by significant personal exposures in culturable fungi (10^7 CFU/m^3). The working atmosphere in the cheeses ripening rooms is also characterised by a high concentration of CO_2 (3000-4000 ppmv) and high relative air humidity (> 95%). Evidence suggests a risk, particularly of an immuno-allergic nature, for the exposed operators in charge of the cheese handling operations and draws attention to the working environment in the cheeses ripening rooms (high CO2 concentration and relative air humidity). The data enabled a better understanding of the work situations and provided guidance for prevention means.

MOTS-CLES : polluants gazeux, bioaérosols, moisissure, distribution granulométrique, agroalimentaire
KEYWORDS: gazeous pollutants, bioaerosols, fungi, size distribution, food industry

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Une campagne de mesures a été menée dans une entreprise industrielle produisant des fromages suite à la survenue de problèmes de santé chez certains travailleurs. Des symptômes de type allergique se développeraient uniquement lors de la production d'un fromage en particulier et notamment lors d'une opération de brossage des produits en cours d'affinage. Les mesures avaient pour objectifs (1) d'apporter les éléments nécessaires en vue de mieux comprendre les situations de travail et les possibles implications des expositions dans les symptômes observés et (2) de définir les orientations pour des actions de prévention.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Présentation de l'entreprise

La fromagerie industrielle investiguée est une entreprise d'environ 180 salariés, située en France et qui produit principalement des fromages à pâte molle et à croûte fleurie ou lavée. L'entreprise est équipée de plusieurs hâloirs d'affinage, dans lesquels sont entreposés les fromages dans des conditions variables (durée, température, humidité relative de l'air) en fonction du type de fromage. Chaque hâloir comporte une batterie de ventilation reliée à un réseau de gaines textiles qui assurent le brassage de l'air, l'apport d'air neuf, le refroidissement et le maintien de l'humidité relative de l'air à une consigne donnée. Au cours de l'affinage, les fromages se couvrent d'une flore microbienne de surface. Pour l'un des fromages produits (appelé « Fromage-1 » par la suite), suspecté du déclenchement des symptômes et donc particulièrement suivi dans le cadre de la campagne, l'affinage se déroule pendant 2 semaines. Il comporte deux étapes de lavage et de brossage des produits avec une saumure : un soin n°1 réalisé mécaniquement (brossage mécanique) et un soin n°2 réalisé manuellement (brossage manuel avec brosse en nylon). L'entreprise produit également d'autres fromages (appelés « Fromage-2 » et « autres fromages » par la suite) pour lesquels des soins différents sont prodigués. Les fromages affinés sont ensuite conditionnés dans un atelier dédié.

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2021-24827 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

2.2. Stratégie de mesures

La campagne a été menée en janvier 2020 et comportait des mesures à point fixe (ou à poste fixe) effectuées dans différentes zones de travail de l'entreprise, ainsi que des mesures en individuel effectuées directement sur les opérateurs. Pour les mesures à point fixe, les dispositifs de prélèvement et de mesure ont été placés à hauteur des voies respiratoires à environ 1,7 m du sol (à environ 1,5 m de l'opérateur lorsqu'un poste de travail était à proximité) sur une barre horizontale soutenue par un système de type pied photo. Pour les mesures en individuel, les dispositifs de prélèvement et de mesure ont été placés au niveau de la zone respiratoire du travailleur par le biais d'un harnais. Les mesures ont principalement été ciblées sur les activités liées au Fromage-1, mais les autres fromages et ateliers ont été pris en compte à titre de comparaison.

2.3. Aperçu des méthodes mises en œuvre

Les mesures des polluants présents dans l'air ont été effectuées par le biais de méthodes en différé et en temps-réel (Figure 1). Elles ont concerné des polluants gazeux (ammoniac, dioxyde de carbone, composés organiques volatiles [COV], etc.), particulaires (bactéries et moisissures cultivables, endotoxines et autres particules) et l'oxygène.

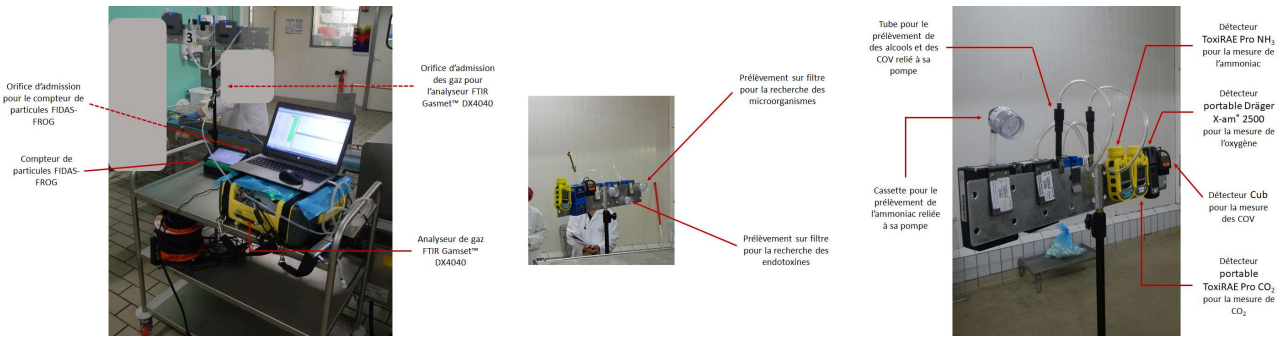

Figure 1. Déploiement des dispositifs de mesure dans l'entreprise.

La mesure des endotoxines, des microorganismes cultivables (bactéries et moisissures) et de l'ammoniac dans l'air a été effectuée par le bais d'un prélèvement par filtration à l'aide de cassettes porte-filtre fermées (polypropylène, 37 mm) et d'une analyse au laboratoire (méthodes MétroPol M147, M157 et M13 ; www.inrs.fr/metropol). Celle des COV a été effectuée par prélèvement sur tubes de charbon actif (méthode MétroPol M38). Les mesures en temps réel ont été effectuées avec des instruments de mesure dédiés comprenant les détecteurs portables ToxiRAE Pro NH_3 (PGM-1860, RAE Systems France, France) pour l'ammoniac, Cub (Ion Science Ltd, France) pour les COV, Dräger X-am® 2500 (Dräger France SAS, France) pour l'oxygène, le monoxyde de carbone, le sulfure d'hydrogène et les gaz inflammables et ToxiRAE Pro CO2 (RAE Systems France, France) pour le dioxyde de carbone et FIDAS® Frog pour les particules (Figure 1).

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Conditions d'intervention

Pour les mesures effectuées en ambiance, les méthodes en différé ont permis de collecter 16 échantillons pour le dénombrement des bactéries et des moisissures cultivables, 11 pour les endotoxines, 11 pour la biodiversité, 7 pour les allergènes, 12 pour les COV et les alcools et 9 pour l'ammoniac. Les méthodes en temps réel ont permis de faire 8 séries de mesures pour l'ammoniac et les COV, 7 pour le dioxyde de carbone et 5 pour l'oxygène. Un prélèvement a été effectué avec un impacteur en cascade Marple pour mesurer la distribution granulométrique des bactéries et des moisissures cultivables émises à proximité de la tâche « Fromage-1, soin 2 ». Pour les mesures effectuées en individuel, 7 échantillons ont été collectés pour le dénombrement des bactéries et des moisissures cultivables et 8 pour la quantification des COV auxquels s'ajoutent 8 séries de meures en temps réel pour les COV. Les conditions de production de l'entreprise durant la campagne de mesures étaient habituelles avec une température et une humidité relative de l'air dans les hâloirs de l'ordre de 14°C et de 96 %.

3.1. Concentrations des particules totales

Le suivi des particules en suspension dans l'air dans un hâloir indique un bruit de fond relativement stable au cours du temps pendant la nuit, et l'émission de particules lors de la tâche « Fromage-1, soin 2 », particulièrement marquée pour les particules de diamètre optique supérieur à 3 µm (Figure 2). Les actions mécaniques sont connues pour être à l'origine d'émission de particules biologiques dans l'air des lieux de travail [1, 2]. La pause se traduit par la diminution du nombre de ces particules vraisemblement due à la remise en marche de la ventilation et à l'arrêt de l'activité de brossage des fromages.

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2021-24827 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

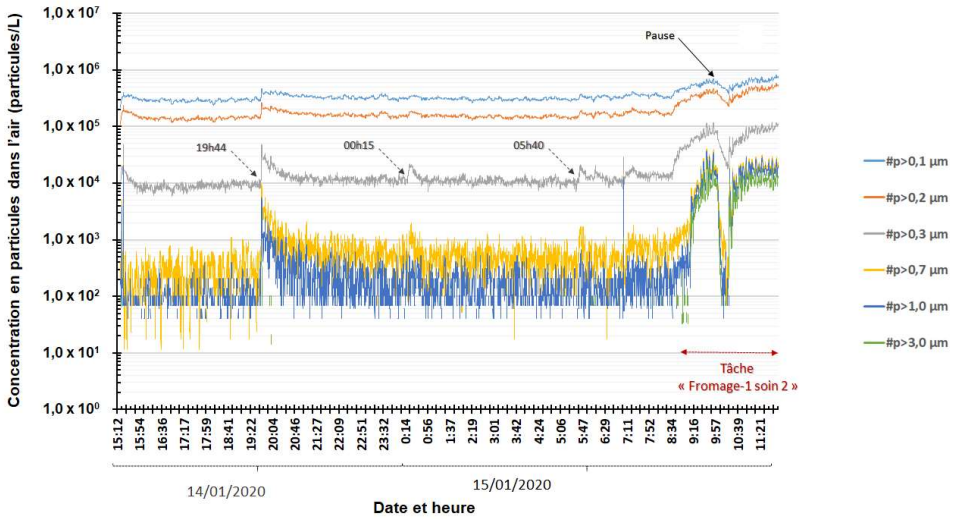

Figure 2. Evolution de la concentration en particules dans l'air au cours du temps dans un hâloir (Fromage-1, soin 2) le 14 et le 15/01/2020. Les mesures ont été effectuées à point fixe à l'aide du compteur de particules FIDAS® Frog.

3.2. Microorganismes cultivables

Les concentrations ambiantes en moisissures cultivables mesurées à l'intérieur de l'usine sont jusqu'à 190000 fois plus élevées que celles mesurées aux points de référence intérieure pour les prélèvements en ambiance. Elles dépassent 10^7 UFC/m^3 dans un hâloir à proximité de la tâche « Fromage-1, soin 2» (Figure 3A). Pour cette même tâche, les concentrations en moisissures cultivables mesurées par prélèvements individuels sont jusqu'à environ 360000 fois plus élevées que celles mesurées dans un bureau administratif et sont supérieures à 10^7 UFC/m^3 les trois jours de prélèvement. La répartition des concentrations en moisissures cultivables en fonction du diamètre aérodynamique (Figure 3B) présente une population monomodale polydispersée, avec un diamètre médian proche de 6 µm. Il n'existe pas de valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) pour les bioaérosols, ni en France ni ailleurs. Les salariés des caves d'affinage de fromages, notamment les laveurs et les frotteurs de fromages, sont exposés aux moisissures aéroportées, principalement des espèces du genre *Penicillium*, responsables de pathologies allergiques et toxiniques [3].

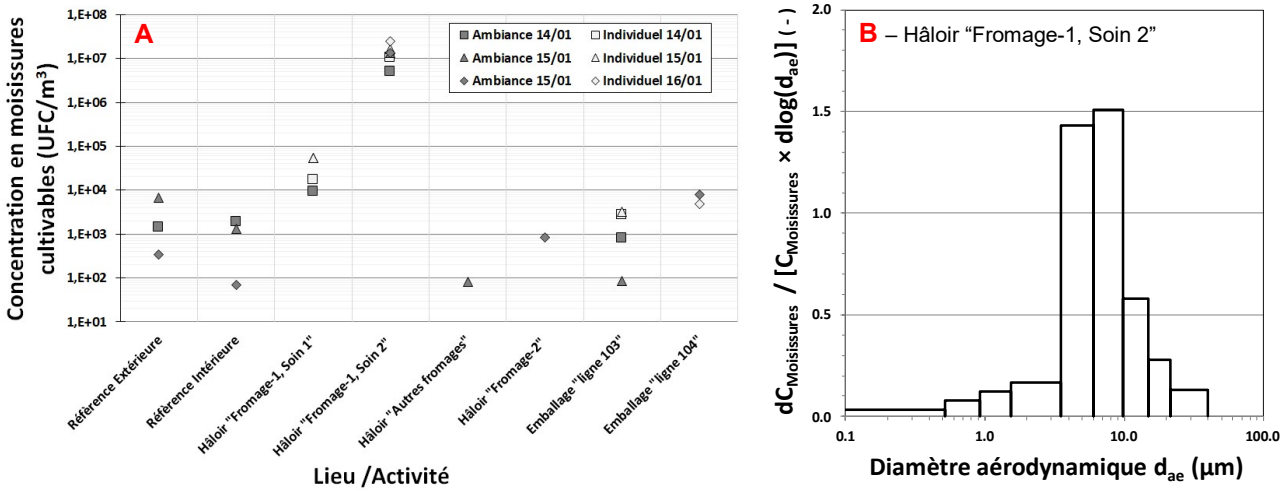

Figure 3 : **A** : Concentrations en moisissures cultivables mesurées dans les différentes zones de travail (cassette fermées à 2 L/min). **B** : Distribution granulométrique des moisissures cultivables (impacteur Marple à 2 L/min).

3.3. Concentrations en dioxyde de carbone

Les résultats des mesures en temps-réel indiquent des concentrations ambiantes en dioxyde de carbone comprises entre 2000 et 7000 ppm$_v$ dans les hâloirs, pendant la journée de travail (Figure 4A). Les couloirs desservant les hâloirs constituent également des zones comportant une atmosphère chargée en CO_2 (environ 2000 ppm$_v$). A l'extérieur de l'entreprise, les concentrations en CO_2 mesurées oscillaient entre 200 et 400 ppm$_v$ (Figure 4).

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2021-24827
Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

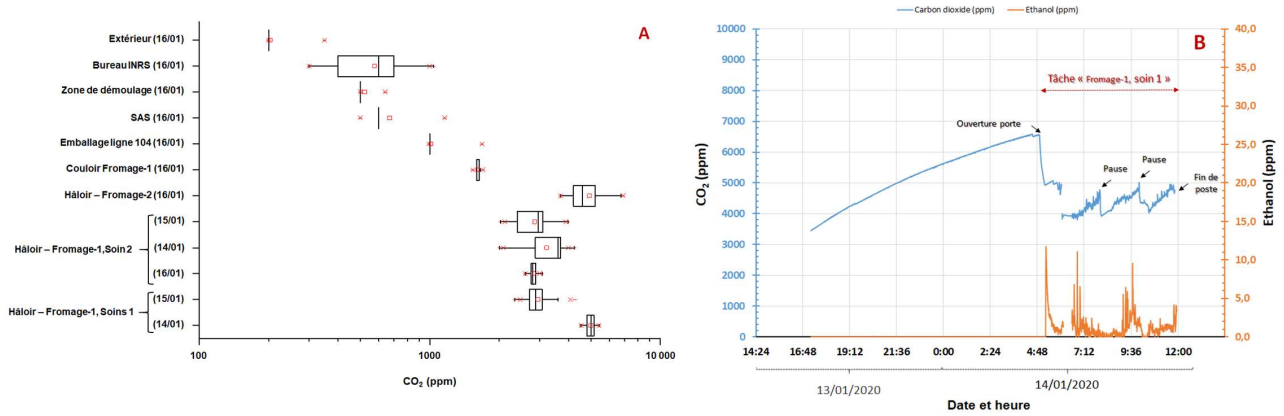

Figure 4. Concentrations en CO_2 mesurées dans l'entreprise. **A** : Etendue des concentrations mesurées dans différentes zones de travail de l'entreprise (mesures à point fixe à l'aide du détecteur ToxiRAE Pro CO_2) ; **B** : Evolution de la concentration en CO_2 au cours du temps dans le hâloir « Fromage-1, soin 1 » (mesures effectuées à point fixe à l'aide de l'analyseur de gaz FTIR Gasmet™ DX4040).

Les mesures effectuées avec l'analyseur de gaz FTIR Gasmet™ DX4040 apportent des informations précieuses pour la compréhension des situations de travail. En effet, ces mesures révèlent une accumulation de CO_2 dans l'air des hâloirs au cours de la nuit de 3800 ppm_v à 6500 ppm_v, en l'absence d'activité (Figure 4B). Le démarrage de la journée de travail se traduit par une diminution importante de la concentration de CO_2 dans l'air qui se produit lors de l'ouverture de la porte qui, vraisemblablement, engendre la diffusion du gaz dans le couloir adjacent. La remise en route de la ventilation au moment des pauses induit une autre diminution de cette concentration (Figure 4B). L'activité microbiologique des fromages est à l'origine de la production du CO_2 au cours de l'affinage [4]. L'émission de CO_2 dans les hâloirs est plus ou moins intense selon le type de fromage, leur âge , le taux de remplissage des hâloirs et la ventilation de ces derniers. Elle n'est pas liée à une tâche en particulier mais bien à la présence de fromages en cours d'affinage. En tout état de cause, les travailleurs en charge des tâches de soins sur les fromage-1 évoluaient dans un environnement de travail dans lequel des concentrations étaient comprises entre 2000 et 3000 ppm, au moment de la campagne. Des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) dans l'air des lieux de travail ont été établies pour le dioxyde de carbone ; en France la VLEP 8h est de 5000 ppm_v (http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil65). En l'absence de mesure individuelle des expositions au CO_2, il reste difficile de conclure quant aux risques encourus par les travailleurs. Cependant, les concentrations mesurées sont proches de la VLEP et interrogent sur un dépassement au cours de l'année.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les résultats montrent que la tâche « Fromage-1, soin 2 » provoque l'émission massive de particules dans l'air, notamment des entités fongiques inhalables microniques. Les expositions des opérateurs en charge de cette tâche sont également très importantes et peuvent être à l'origine de symptômes respiratoires de type allergique. Les éléments réunis étayent l'hypothèse selon laquelle les niveaux de concentrations en moisissures mesurés dans l'entreprise présentent un risque, notamment de nature immuno-allergique, pour les opérateurs exposés au cours des activités de soins sur le Fromage-1. L'ambiance de travail dans les hâloirs dans lesquels la tâche « Fromage-1, soin 2 » est effectuée est aussi caractérisée par une concentration en CO_2 (3000-4000 ppm_v) et une humidité relative de l'air (> 95 %) élevées. Avec la présence d'ammoniac, certes en faibles concentrations, ces conditions ambiantes peuvent être favorables à l'apparition de symptômes respiratoires chez les opérateurs non protégés. Des réflexions sont en cours pour étudier, avec l'entreprise et la CARSAT, la mise en place d'actions de prévention.

5. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Cécile Dziurla et Esther Monnoyer, de l'INRS, pour leur aide technique pour les mesures.

6. REFERENCES

1. Simon X, Duquenne P: Assessment of workers' exposure to bioaerosols in a french cheese factory. *annals of occupational hygiene* 2014, 58(6):677-692.
2. Duquenne P, Simon X, Koehler V, Goncalves-Machado S, Greff G, Nicot T, Poirot P: Documentation of bioaerosol concentrations in an indoor composting facility in France. *Journal of Environmental Monitoring* 2012, 14(2):409-419.
3. Galland C, Reynaud C, De Haller R, Polla BS, Leuenberger P: Cheesewasher's disease. An actual type of extrinsic allergic alveolitis in a rural environment. *Revue des Maladies Respiratoires* 1991, 8 (4)(4):381-386.
4. Roger B, Desobry S, Hardy J: Respiration of Penicillium camemberti during ripening and cold storage of semi-soft cheese. *Lait* 1998, 78(2):241-250.