

# PRÉVENTION DES POLYEXPOSITIONS DANS LES FROMAGERIES : DE NOUVELLES DONNÉES SUR L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS ET LES RISQUES ASSOCIÉS

P. Battais<sup>1\*</sup>, S. Jacquenet<sup>2\*</sup>, S. Lechêne<sup>3</sup>, J. Kunz-Iffli<sup>1</sup>, J. Grosjean<sup>1</sup>, N. Monta<sup>1</sup>, E. Monnoyer<sup>1</sup>, M. Dieudonné<sup>1</sup>, A. Coiscaud<sup>2</sup>, J. Mathiot<sup>2</sup>, S. Muller<sup>2</sup>, N. Veith<sup>3</sup>, L. Alonso<sup>4</sup>, P. Loison<sup>4</sup>, C. Dziurla<sup>4</sup>, L. Albers<sup>4</sup>, C. Coulais<sup>4</sup>, F. Battais<sup>2</sup> et P. Duquenne<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'Analyses Spatio-Temporelles des Expositions Chimiques, Département Ingénierie des Procédés

<sup>2</sup>Laboratoire Immunologie, Sensibilisation et Allergie, Département Toxicologie et Biométrie

<sup>3</sup>Laboratoire Aéraulique, VentilAtion, Thermique et qualité d'AiR, Département Ingénierie des Procédés

<sup>4</sup>Laboratoire Métrologie des Aérosols, Département Métrologie des Polluants

INRS, 1 rue du Morvan CS 60027, 54519 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex

\*Courriel des orateurs : [patricia.battais@inrs.fr](mailto:patricia.battais@inrs.fr) – [sandrine.jacquenet@inrs.fr](mailto:sandrine.jacquenet@inrs.fr)

## TITLE

**Preventing polyexposure in cheese dairies: New data on worker exposure and associated risks**

## RESUME

La France compte plus de 500 fromageries employant plus de 20 000 salariés. Les travailleurs de ce secteur sont susceptibles d'être exposés à des polluants biologiques et chimiques, pouvant induire des symptômes allergiques. Des prélèvements atmosphériques de microorganismes et de bioallergènes ont été réalisés au sein de plusieurs fromageries, en ambiance dans les différentes zones de travail ou en individuel. Les concentrations en CO<sub>2</sub> ont également été suivies en temps réel. Les résultats montrent des niveaux importants de polyexposition, à des postes attendus comme le frottage, mais également à d'autres comme le conditionnement/emballage.

## ABSTRACT

France has over 500 cheese dairies employing more than 20,000 people. Workers in this sector are likely to be exposed to biological and chemical pollutants, which can lead to allergic symptoms. Atmospheric sampling of microorganisms and bioallergens was carried out in several cheese dairies, either in the various work areas or by personal sampling. CO<sub>2</sub> concentrations were also monitored in real time. The results show significant polyexposure levels, not only at the expected positions such as rubbing, but also for other jobs such as packaging.

**MOTS-CLÉS:** polyexposition, bioaérosols, bioallergènes, fromageries, mesures atmosphériques / **KEYWORDS:** polyexposure, bioaerosols, bioallergens, cheese dairies, air monitoring

## 1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Les procédés utilisés dans les fromageries mettent en œuvre des agents biologiques (bactéries, champignons, acariens, etc.) qui sont impliqués dans la production et la maturation des fromages en cave d'affinage (Simon and Duquenne 2014). Ils sont à la fois à l'origine de l'émission d'agents chimiques (Composés Organiques Volatils, ammoniac NH<sub>3</sub>, dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>) et de la mise en suspension de constituants ou fragments de microorganismes potentiellement allergéniques dans l'air des lieux de travail (Battais et al. 2023). Leur inhalation chronique peut engendrer le développement de pathologies allergiques de types rhinite ou asthme, et plus rarement des pneumopathies d'hypersensibilité (Bonnafé et al. 2014). Les salariés les plus exposés sont les laveurs, les sélectionneurs et les frotteurs de fromage. Mais d'autres postes de travail pourraient potentiellement être exposants, notamment de par la co-activité. Les moyens de prévention utilisés pour réduire les expositions à ces bioaérosols sont prioritairement collectifs (ventilation générale) ou localisés (ventilation au poste de travail). En dernier recours, des protections individuelles peuvent être proposées (masque filtrant, cagoule ventilée, etc.), sachant que celles-ci ne sont d'aucune efficacité pour limiter l'exposition au CO<sub>2</sub>.

L'objectif de ce travail a été d'évaluer l'exposition des opérateurs de plusieurs fromageries à différentes substances chimiques et biologiques, dans un contexte de polyexposition, en fonction des zones de travail ou des tâches réalisées. De plus, les allergènes présents dans l'atmosphère des lieux de travail ont été recherchés et caractérisés, ainsi que le potentiel sensibilisant de l'environnement de travail, afin d'identifier les postes les plus à risque.

## 2. MATERIEL ET MÉTHODES

### 2.1. Stratégie de mesure

Les mesures ont été effectuées dans trois fromageries (A, B et C) situées en France lors de trois campagnes de trois jours consécutifs. Les échantillons de microorganismes et d'allergènes ont été prélevés à point fixe (ambiance) dans différentes zones au sein des fromageries investiguées (zones de fabrication, caves d'affinage et zones de conditionnement/emballage). Les opérateurs évoluant dans ces différentes zones ont

également été équipés afin d'évaluer leur exposition individuelle à ces mêmes composés. En parallèle, le CO<sub>2</sub> a été mesuré en temps réel, à point fixe et sur opérateur.

## 2.2. Prélèvements et analyses des échantillons

L'échantillonnage des microorganismes cultivables (bactéries et moisissures mésophiles à 25°C) a été réalisé pendant 2 à 4 heures à 2 L/min (cassette 37 mm 3 pièces ; membrane en polycarbonate 0,8 µm) (INRS 2015). Les échantillons ont été placés dans une enceinte réfrigérée dès la fin des prélèvements et expédiés au laboratoire pour une analyse dans les 24 heures. Les colonies développées ont été dénombrées et les résultats exprimés en Unité Formant Colonie ou UFC/m<sup>3</sup>.

Les bioallergènes ont été prélevés pendant 3 à 7 heures à 5 L/min (cassette 37 mm 3 pièces ; membrane PTFE 1 µm) puis congelés à -20°C dès la fin des prélèvements. Au laboratoire, les cassettes fermées ont été éluées à température ambiante en PBS contenant 0.05% Tween sous agitation pendant 30 minutes (Raulf et al. 2014). Les protéines ont été dosées par la méthode de Lowry et les allergènes (β-caséine de lait de vache et dextranase de *Penicillium*) quantifiés par ELISA. Le potentiel sensibilisant de l'éluat a été évalué avec un test cellulaire *in vitro* basé sur l'activation de cellules dendritiques, le modèle BMDC (Battais et al. 2024).

Les conditions de température et d'humidité relative de l'air ont été relevées pendant les mesures dans les différentes zones.

## 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les trois campagnes de mesures ont permis de collecter 124 échantillons pour les microorganismes cultivables, 135 pour les bioallergènes et d'effectuer 130 mesures pour le CO<sub>2</sub>.

### 3.1. Cas de l'entreprise A

L'entreprise A ne possède pas de zone de fabrication et affine du Saint-Nectaire provenant de différents producteurs. Elle possède 4 caves dédiées au Saint-Nectaire (SNF1 à 4) et une zone de conditionnement des produits finis. Le frottage des fromages est directement réalisé dans les caves. Le Tableau 1 donne les résultats concernant les microorganismes et les bioallergènes ; la Figure 1 montre les résultats concernant le CO<sub>2</sub>.

Les concentrations ambiantes en bactéries et moisissures mesurées en caves ou au conditionnement évoluent entre 10<sup>3</sup> et 10<sup>5</sup> UFC/m<sup>3</sup>. Les niveaux d'exposition individuelle sont importants pour les bactéries et les moisissures (>10<sup>6</sup> UFC/m<sup>3</sup>), pour les opérateurs réalisant le frottage ou le conditionnement des fromages. À noter que les opérateurs de frottage portaient des masques FFP3. Les autres opérateurs pouvant intervenir dans les caves pendant le frottage (affectés au conditionnement, au lavage des fromages non affinés, ou à la préparation des commandes) n'en portaient pas. Les environnements de travail dans lesquels évoluent ces opérateurs renferment des protéines en quantités variables, dont notamment un allergène de lait, la β-caséine. De plus, la positivité du test cellulaire BMDC indique que l'air de ces environnements de travail est potentiellement allergisant. Des niveaux importants d'exposition individuelle au CO<sub>2</sub> ont également été mesurés pour tous les postes du fait de la fréquentation des caves (concentrations ambiantes élevées en CO<sub>2</sub>), mais aussi de l'effort respiratoire, notamment pour les frotteurs portant les masques FFP3, pouvant induire l'exhalation de CO<sub>2</sub> sur le détecteur placé à proximité des voies respiratoires (observé également dans les fromageries B et C).

Tableau 1. Mesures d'ambiance et individuelles pour l'entreprise A (microorganismes et bioallergènes).

		Ambiance						Individuel			
		Cave SNF1	Cave SNF2	Cave SNF3	Cave SNF4	Conditionnement	Ref int	Ref ext	Lavage blancs	Frottage	Conditionnement
Bactéries	UFC/m <sup>3</sup>	1,52E+04	2,10E+03	6,00E+04	2,30E+03	4,95E+04	2,80E+02	2,42E+02	9,57E+03	<b>2,29E+06</b>	<b>1,39E+06</b>
Moisissures	UFC/m <sup>3</sup>	8,11E+03	7,16E+04	5,79E+05	1,08E+05	4,41E+05	6,95E+02	8,75E+02	3,70E+05	<b>2,48E+08</b>	<b>6,89E+06</b>
Protéines	µg/m <sup>3</sup>	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	nd	nd	<b>177</b>	<b>619</b>	<b>56</b>
Dextranase	µg/m <sup>3</sup>	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	nd	nd	< LQ	< LQ	< LQ
β-caséine	ng/m <sup>3</sup>	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	nd	nd	<b>113</b>	<b>37*</b>	<b>117</b>
Test cellulaire	-	-	-	+	+/-	+	nd	nd	++	++	++

\* Moyenne sur 1 ou 2 valeurs, les autres étant inférieures à la limite de quantification (LQ) de la méthode. Sinon, moyenne sur 3 à 8 valeurs. nd : non déterminé  
Le nombre de + traduit l'intensité de l'activation des cellules BMDC

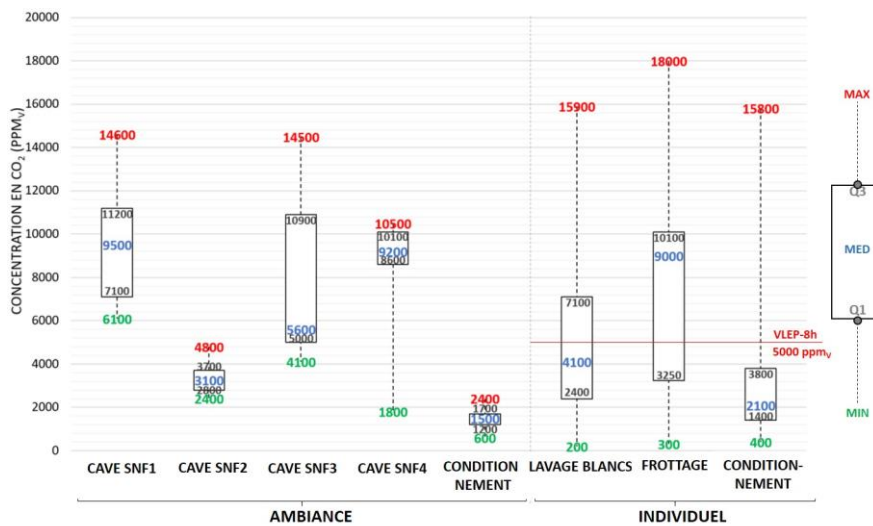


Figure 1. Étendue des concentrations en CO<sub>2</sub> mesurées en temps réel dans l'entreprise A.

### 3.2. Cas de l'entreprise B

L'entreprise B réalise l'ensemble des étapes de production de ses fromages, depuis la fabrication jusqu'à l'affinage, le conditionnement et l'expédition. Elle produit principalement des pâtes persillées et des tommes, à croûte blanche ou grise, avec trois types de lait (vache, brebis, chèvre). Elle possède 4 caves dédiées aux gros formats et aux bleus (GF), 2 pour les croûtes grises (GR), et 8 pour les petits formats et pâtes molles (PF). Une cave de chaque type a été équipée d'un point d'ambiance. Le poste de frottage est situé dans un couloir proche des caves GR. Les résultats sont présentés dans le Tableau 2 et la Figure 2.

Tableau 2. Mesures d'ambiance et individuelles pour l'entreprise B (microorganismes et bioallergènes).

		Ambiance							Individuel	
		Cave PF	Cave GF	Cave GR	Frottage	Conditionnement	Ref int	Ref ext	Frottage	Conditionnement
Bactéries	UFC/m <sup>3</sup>	2,08E+02*	1,52E+03*	3,55E+03*	2,22E+03	9,38E+03	1,83E+03*	< LQ	7,56E+04	7,60E+03
Moisissures	UFC/m <sup>3</sup>	2,00E+02*	5,35E+03	9,01E+04	5,19E+06	1,51E+06	2,25E+02*	9,97E+02*	2,57E+07	1,03E+06
Protéines	µg/m <sup>3</sup>	< LQ	< LQ	< LQ	743	153*	nd	nd	987	119
Dextranase	µg/m <sup>3</sup>	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	nd	nd	34	< LQ
β-caséine	ng/m <sup>3</sup>	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	nd	nd	120*	68*
Test cellulaire	-	-	-	-	+++	++	nd	nd	+++	++

\* Moyenne sur 1 ou 2 valeurs, les autres étant inférieures à la limite de quantification (LQ) de la méthode. Sinon, moyenne sur 3 à 6 valeurs. nd : non déterminé  
Le nombre de + traduit l'intensité de l'activation des cellules BMDC

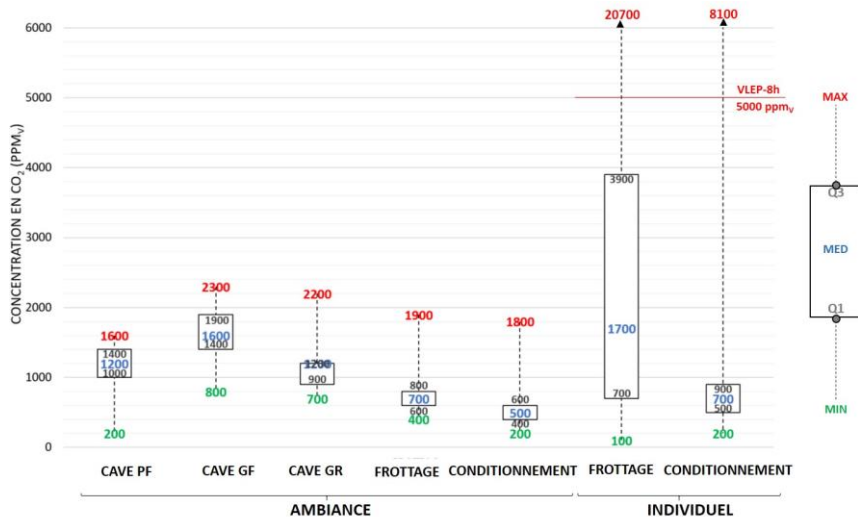


Figure 2. Étendue des concentrations en CO<sub>2</sub> mesurées en temps réel dans l'entreprise B

Les concentrations mesurées pour les bactéries sont toutes inférieures à 10<sup>5</sup> UFC/m<sup>3</sup>. Pour les moisissures, les postes de frottage et de conditionnement présentent des concentrations supérieures à 10<sup>6</sup> UFC/m<sup>3</sup>, en ambiance et en individuel. Les deux postes exposent à des protéines renfermant des allergènes qui concourent à rendre les atmosphères de travail potentiellement sensibilisantes. L'opérateur dédié au frottage porte un masque FFP3, ce qui n'est pas le cas des opérateurs évoluant au conditionnement. Les concentrations en CO<sub>2</sub> sont peu élevées et restent majoritairement inférieures à 2000 ppm<sub>v</sub>, hormis quelques valeurs ponctuelles pour les opérateurs, probablement dues à la respiration au vu des concentrations mesurées en ambiance.

### 3.3. Cas de l'entreprise C

L'entreprise C réalise également l'ensemble des étapes de production de ses fromages, de la fabrication à l'expédition. Elle produit principalement des pâtes molles, notamment du camembert, à partir de lait de vache. Elle possède 5 hâloirs pour l'affinage, ainsi qu'un hâloir de ressuyage, dernière étape avant l'emballage des fromages. Les fromages continuent ensuite d'affiner emballés, puis sont déballés pour être réemballés à terme pour leur conditionnement final. Des retournements sont régulièrement pratiqués dans les hâloirs, mais il n'y a pas de soins impliquant du frottage. Les résultats sont présentés dans le Tableau 3 et la Figure 3.

Tableau 3. Mesures d'ambiance et individuelles pour l'entreprise C (microorganismes et bioallergènes).

		Ambiance							Individuel	
		Hâloir 1	Hâloir 2	Hâloir 3	Hâloir ressuyage	Conditionnement	Ref int	Ref ext	Déballage	Conditionnement
Moisissures	UFC/m <sup>3</sup>	1,98E+02*	1,91E+02*	< LQ	2,16E+03*	1,37E+04	4,34E+02	2,31E+02*	8,70E+02	1,03E+05
Protéines	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	nd	nd	nd	< LQ	< LQ
Dextranase	µg/m <sup>3</sup>	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	nd	nd	nd	< LQ	< LQ
β-caséine	ng/m <sup>3</sup>	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	nd	nd	nd	83	44*
Test cellulaire	-	-	-	-	-	nd	nd	nd	+	+

\* Moyenne sur 1 ou 2 valeurs, les autres étant inférieures à la limite de quantification (LQ) de la méthode. Sinon, moyenne sur 3 à 6 valeurs. nd : non déterminé. Le nombre de + traduit l'intensité de l'activation des cellules BMDC.

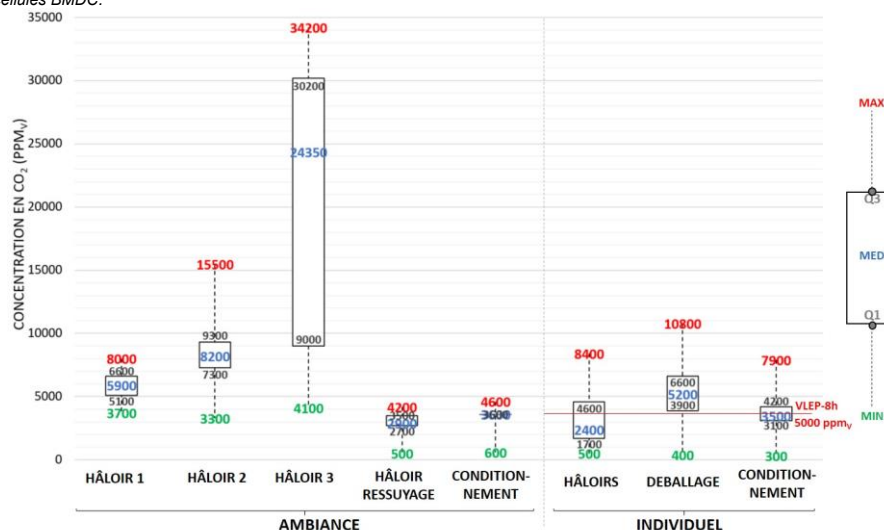


Figure 3. Étendue des concentrations en CO<sub>2</sub> mesurées en temps réel dans l'entreprise C

Les concentrations mesurées pour les moisissures sont toutes inférieures à 10<sup>5</sup> UFC/m<sup>3</sup>, hormis pour les opérateurs affectés au conditionnement. Si la quantité d'allergènes semble peu élevée à ces postes, la sensibilité plus importante du test cellulaire montre qu'un risque allergique potentiel existe néanmoins. Les concentrations en CO<sub>2</sub> mesurées se sont révélées importantes dans les hâloirs, dépassant les 30000 ppm<sub>v</sub>. En individuel, les opérateurs ont été équipés l'après-midi et ont évolué dans les hâloirs lorsque les concentrations en CO<sub>2</sub> étaient inférieures à 10000 ppm<sub>v</sub>. Ils ont ponctuellement présenté des niveaux d'exposition supérieurs à 5000 ppm<sub>v</sub>. Pour les opérateurs au déballage ou conditionnement, les quelques concentrations plus élevées peuvent à nouveau être imputées à la respiration des opérateurs.

### 4. CONCLUSIONS

L'étude a permis de mettre en évidence une polyexposition des opérateurs évoluant en fromageries aux microorganismes, bioallergènes et CO<sub>2</sub>, à des niveaux importants. Ces résultats étaient attendus pour des postes comme le frottage avec une mise en suspension directe de particules biologiques, mais moins pour des postes comme le conditionnement. Ils justifient la mise en place de mesures de prévention collectives et/ou individuelles pour ces salariés. L'étude apporte une contribution significative à la connaissance des expositions professionnelles dans ce secteur, non encore documentée pour le CO<sub>2</sub> et les bioallergènes.

Battais, F., I. Langonne, S. Muller, J. Mathiot, A. Coiscaud, A. Audry, A. M. Remy, I. Sponne and M. Mourot-Bousquenaud (2024). "The BMDC model, a performing cell-based test to assess the sensitizing potential and potency of chemicals including pre/pro-haptens." *Contact Dermatitis* **90**(3): 211-234.

Battais, P., S. Jacquenet, S. Lechêne, P. Duquenne and F. Battais (2023). "Actualités sur les polyexpositions dans les fromageries : agents chimiques et biologiques en présence et caractérisation des allergènes à risque pour les salariés." *Revue Française d'Allergologie* **63**(6): 103689.

Bonnafé, A., X. Simon, P. Duquenne, J. C. Bastide, D. Laimé and C. Petit Le Bâcle (2014). "Mesure de l'exposition aux moisissures et atteintes respiratoires chez les affineurs de fromages." *Références en Santé au Travail* **137**: 47-58.

INRS (2015). "Fiche MétroPol : Microorganismes aérobies." **M-147**: available at [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr).

Raulf, M., J. Buters, M. Chapman, L. Cecchi, F. de Blay, G. Doekes, W. Eduard, D. Heederik, M. F. Jeebhay, S. Kespohl, E. Krop, G. Moscato, G. Pala, S. Quirce, I. Sander, V. Schlunssen, T. Sigsgaard, J. Walusiak-Skorupa, M. Wiszniewska, I. M. Wouters, I. Annesi-Maesano, A. European Academy of and I. Clinical (2014). "Monitoring of occupational and environmental aeroallergens-- EAACI Position Paper. Concerted action of the EAACI IG Occupational Allergy and Aerobiology & Air Pollution." *Allergy* **69**(10): 1280-1299.

Simon, X. and P. Duquenne (2014). "Assessment of workers' exposure to bioaerosols in a french cheese factory." *annals of occupational hygiene* **58**(6): 677-692.