

Étude de cas

CARACTÉRISATION DU RISQUE D'EXPOSITION AUX POUSSIÈRES ORGANIQUES DANS LES MEUNERIES

Campagne de mesures en Île-de-France

BRIGITTE FACON,
VALÉRIE RENEVOT,
LAETITIA CLAVEAU,
ALEXANDRA PEDROS
Cramif,
Laboratoire des biocontaminants

ÉRIC LAINET,
AGNÈS JANES
Cramif, Centre
de mesures
et de contrôles
physiques

CAROLE MORNEAU
Cramif,
Conseiller
médical

→ **LA PROBLÉMATIQUE :** Dans le secteur de la meunerie, la présence de poussières organiques est constatée à toutes les phases de la fabrication. Certaines tâches, procédés ou équipements génèrent ou remettent en suspension les particules dans l'environnement de travail. Tous les postes de travail associés aux céréales, à la farine ou aux sous-produits de production présentent un risque d'exposition aux poussières organiques qui peuvent contenir des allergènes, des micro-organismes, des endotoxines, des mycotoxines... (Cf. Encadré 1). Une fois inhalées, ces particules peuvent être à l'origine d'effets sur la santé plus ou moins sévères (Cf. Encadré 2).

→ LA RÉPONSE DE LA CRAMIF

Le service Prévention des risques professionnels de la Caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) a réalisé, entre 2019 et 2022, une campagne de mesures afin de caractériser les expositions professionnelles aux poussières organiques des travailleurs dans le secteur de la meunerie et d'étudier les risques liés aux atmosphères explosives (Atex). Cet article présente les données métrologiques issues de la campagne, ainsi que les constats sur les pratiques et moyens de prévention observés sur le terrain. Des préconisations pour la prévention des risques sont formulées afin de maîtriser les expositions professionnelles et améliorer les conditions de travail, complétant celles précédemment publiées pour la maîtrise du risque de formation d'Atex [1].

Méthodologie

La campagne menée par la Cramif a été organisée auprès de dix meuneries d'Île-de-France sur

ENCADRÉ 1

LES POUSSIÈRES ORGANIQUES

Le terme de « poussières organiques » englobe les poussières ou particules d'origine :

- animale : poils, plumes, squames, fientes et autres déjections, fragments d'insectes, acariens... ;
- végétale : foin, paille, cuticules des grains de céréales, spores, pollens, farine, cellulose du bois et du papier, fibres textiles... ;
- microbienne : bactéries, virus, moisissures, ou toxines issues de ces agents biologiques (endotoxines, mycotoxines...).

Elles sont souvent constituées d'un mélange en proportions variables de ces différents types de poussières. Dans le cas des meuneries, on trouve principalement de la farine et des particules issues des matières premières ou des coproduits (céréales, son, remoulage, farines basses...). Elles peuvent aussi contenir des minéraux et des produits chimiques (résidus de pesticides, d'hydrocarbures, de solvants...).

la période 2019-2022, en associant le Laboratoire des biocontaminants (LBC) et le Centre de mesures et de contrôles physiques (CMP). Les résultats issus d'interventions dans trois autres sites en 2017 et 2018 y ont été intégrés.

Chaque site a fait l'objet d'une pré-visite pour recueillir les informations et observer les situations de travail afin de définir la stratégie de

ENCADRÉ 2

EXPOSITION AUX POUSSIÈRES ORGANIQUES ET EFFETS SUR LA SANTÉ

Selon leur nature, leur typologie, leurs caractéristiques physiques (dimension, granulométrie, concentration), les poussières organiques peuvent pénétrer plus ou moins profondément dans le poumon. Selon leur dangerosité chimique ou biologique (effet toxique, allergique, infectieux) et la susceptibilité individuelle des salariés, elles peuvent être à l'origine de pathologies respiratoires [E1].

Manifestations allergiques :

- asthme, conjonctivite et rhinite allergiques aux poussières de farine : la farine constitue l'un des principaux allergènes (première cause d'asthme professionnel en France) [E2]. Les additifs et certains contaminants (acariens, certains coléoptères, blattes, moisissures, mites de la farine...) peuvent aussi être en cause [E3-E4]. Les signes cliniques sont variables en gravité, pouvant nécessiter l'éviction à l'allergène et entraîner une inaptitude médicale au poste, voire nécessiter une réorientation professionnelle ;

- pneumopathie d'hypersensibilité : la plus connue est la « maladie du poumon du fermier », liée le plus souvent à des bactéries ou des spores de moisissures. À noter : la farine moisie peut constituer un réservoir actif.

Les autres atteintes respiratoires sont liées à l'exposition aux poussières, à leur accumulation dans l'arbre respiratoire et à l'inflammation chronique locale :

- une bronchite chronique, voire une bronchopneumopathie chronique obstructive ;
- une dégradation des capacités pulmonaires, avec essoufflement de plus en plus invalidant.

Affections liées aux micro-organismes ou à leurs toxines :

- infection respiratoire (aspergillose pulmonaire) ;
- syndrome toxique des poussières organiques, dont l'épidémiologie est mal connue et les mécanismes non encore élucidés, entraînant fièvre, frissons, douleurs musculaires et symptômes respiratoires. Parmi les agents évoqués : les endotoxines, les mycotoxines, les contaminations fongiques [E-5] ;

- effets potentiels de certaines mycotoxines essentiellement présentes à la surface des grains, dans le son et les poussières associées (cancéro-, hépato-, néphro- et génotoxicité).

[E-1] INRS - ED 4415 - *Risques biologiques et maladies respiratoires d'origine allergique ou toxique en milieu agricole.* Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204415>

[E-2] HEDELIN G. ET AL. - Prévenir les allergies respiratoires professionnelles : des solutions existent. *Hygiène & sécurité du travail*, 2013, 233, pp. 18-38. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%203>

[E-3] ROSENBERG N. - Allergie respiratoire du boulanger. *Documents pour le médecin du travail*, 2002, 90, TR 29. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TR%2029>

[E-4] DUTAU N. ET AL. - Farines et allergie : les pièges à ne pas méconnaître. *Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique*, 2002, 42 (3), pp. 289-298.

[E-5] PARIS C. - Le syndrome toxique des poussières organiques. *Références en santé au travail*, 2014, 140, TR 57, pp. 109-124. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TR%2057>



prélèvement. Une visite spécifique a été effectuée pour vérifier l'efficacité des dispositifs de ventilation et analyser les situations de travail à risque de formation d'Atex [1].

Stratégie de prélèvement et valeurs guides

Pour chaque site, les situations de travail, les pratiques, méthodes et organisation du travail ont été observées et un plan de prélèvement a été établi pour mesurer les niveaux d'exposition aux poussières inhalables, aux micro-organismes cultivables (bactéries, moisissures), aux endotoxines et aux mycotoxines.

- Des prélèvements individuels ont été réalisés à l'aide de dispositifs portatifs sur toute la durée du temps de travail (postes de 8 h). Différents postes de travail ont été suivis en fonction du site et du procédé (Cf. Tableaux 1 et 2).
- Des mesures d'ambiance à poste fixe ont été effectuées pour compléter les résultats



© Gaël Kerbaol / INRS / 2023

	ENDOTOXINES	BACTÉRIES	MOISSURES	MYCOTOXINES	POUSSIÈRES DE FARINE	POUSSIÈRES ORGANIQUES DIVERSES
	VG : 200 UE/m ³	VG : 100 000 UFC/m ³	VG : 100 000 UFC/m ³	PAS DE VALEUR DE RÉFÉRENCE	ACGIH : 0,5 mg/m ³	RÉF* : 7 mg/m ³
NOMBRE DE PRÉLÈVEMENTS INDIVIDUELS	45	42	42	303	20	25
NOMBRE DE PRÉLÈVEMENTS D'AMBIANCE	22	22	22	147	11	11
TOTAL DES MESURES	67	64	64	450	31	36
VALEUR MINIMALE	1,8 UE/m ³	162 UFC/m ³	195 UFC/m ³	< LQ*	< 0,19 mg/m ³	< 0,09 mg/m ³
VALEUR MAXIMALE	4801,4 UE/m ³	493 000 UFC/m ³	168 000 UFC/m ³	< LQ*	41,35 mg/m ³	18,81 mg/m ³
MÉDIANE	62 UE/m ³	4 970 UFC/m ³	1 200 UFC/m ³	–	3,57 mg/m ³	2,11 mg/m ³

VG : valeur guide. UE : unités d'endotoxines. UFC : unité formant colonies. Réf* : concentration maximale en poussières (moyenne à ne pas dépasser dans les locaux à pollution spécifique), valeur en vigueur jusqu'au 30 juin 2023. * < LQ : résultat inférieur à la limite de quantification pour chaque mycotoxine, OTA, fumonisines B1, B2, aflatoxines B1, B2, G1, G2, DON, T2, HT2, zéaralénone.

↑ **TABLEAU 1**
Synthèse des principaux résultats d'exposition aux polluants chimiques et biologiques.

individuels ou caractériser certains environnements de travail, à l'aide de dispositifs de prélèvement positionnés à hauteur des voies respiratoires (Cf. Tableaux 1 et 2).

Les prélèvements et les analyses ont été menés selon les protocoles MétroPol de l'INRS¹. Pour interpréter les résultats de mesures, les valeurs suivantes ont été prises en référence (pour 8 h de travail) :

- pour les endotoxines : valeurs guides (VG) de 200 et 1 000 unités d'endotoxines (UE)/m³ [2] ;
- pour les bactéries et moisissures cultivables : VG de 100 000 et 1 000 000 unités formant colonies (UFC)/m³ [3] ;
- pour les mycotoxines : aucune valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) n'est recommandée au niveau français ou européen. Cependant, certaines mycotoxines étant cancérigènes ou suspectées de l'être, les niveaux d'exposition les plus bas sont à rechercher ;
- pour les poussières : les mesures sont réalisées sur la fraction inhalable des particules. Selon les cas (matières travaillées, phase du procédé, observations *in situ*), les valeurs suivantes sont utilisées :
 - si les particules sont constituées d'un mélange de poussières organiques diverses issues de matières premières (céréales) ou de coproduits (issues de blé²...), la concentration moyenne en poussières à ne pas dépasser dans les locaux à pollution spécifique est prise en référence [4]. Dans le cadre de la campagne, la valeur de 7 mg/m³ a été utilisée (en vigueur jusqu'au 30 juin 2023, revue ensuite à 4 mg/m³) ;
 - s'il s'agit uniquement de poussières de farine, la valeur moyenne d'exposition de 0,5 mg/m³ préconisée par l'*American Conference of Governmental*

Industrial Hygienists (ACGIH, États-Unis) [5] est retenue, compte tenu du caractère allergisant de ce polluant et de l'absence de VLEP française.

Principaux résultats

Près de 200 prélèvements individuels et d'ambiance ont été réalisés. Les principaux résultats sont synthétisés dans le *Tableau 1*. Les détails par poste de travail et polluant sont présentés dans le *Tableau 2*³.

Expositions par poste de travail

La synthèse présentée dans les paragraphes suivants se limite aux postes de travail dont les expositions sont les plus significatives.

Chargement des issues

Le chargement des issues se fait généralement par gravité, par ouverture manuelle ou automatisée de vannes situées en partie inférieure des silos de stockage. La chute des issues génère visuellement de nombreuses particules dans l'air (mélange de poussières de céréales, de son...). Le plus souvent, le salarié se positionne sur la passerelle en surélévation par rapport au camion pour surveiller le chargement, à proximité directe du nuage de poussières.

Lors de cette opération, les niveaux d'exposition aux endotoxines sont compris entre 33,6 et 2 154,9 UE/m³, dont 60 % au-delà de la VG de 200 UE/m³ et dans un seul cas au-delà du niveau d'alerte de 1 000 UE/m³ (2 154,9 UE/m³).

Les niveaux d'exposition aux poussières se situent entre 0,97 et 16,49 mg/m³, tous situés au-delà du 1/10^e de la valeur de référence de 7 mg/m³.

À noter : 80 % des résultats se situent au-delà des 3/10^e de la valeur actuelle de 4 mg/m³.

	ENDOTOXINES UE/m ³		BACTÉRIES UFC/m ³		MOISSISSURES UFC/m ³		POUSSIÈRES DE FARINE mg/m ³		POUSSIÈRES ORGANIQUES DIVERSES mg/m ³	
	VG : 200 UE/m ³	N	VG : 100 000 UFC/m ³	N	VG : 100 000 UFC/m ³	N	ACGIH : 0,5 mg/m ³	N	Réf* : 7 mg/m ³	N
PRÉLÈVEMENTS INDIVIDUELS										
Opérateur de conditionnement de farine	De 22,4 à 426,5	14	De < 319 à 124 000	13	De < 218 à 4940	13	De 1,43 à 41,35	14	–	–
Conducteur de moulin	De 15,90 à 752,7	11	De 232 à 42 600	10	De 452 à 2 930	10	–	–	De 0,88 à 18,81	11
Opérateur de chargement - issues en vrac	De 33,6 à 2 154,9	5	De 5 100 à 279 000	5	De 744 à 168 000	5	–	–	De 0,97 à 16,49	5
Opérateur de nettoyage	De 42,2 à 4 725,7	5	De 668 à 493 000	5	De 1 300 à 66 000	5	8,92 ; 36,73	2	De 2,00 à 5,04	3
Technicien de maintenance	57,1 ; 460,5	2	13 600	1	2 800	1	–	–	3,65 ; 6,2	2
Opérateur de chargement - farine vrac	12,9 ; 26,1	2	1 090 ; 1 990	2	< 218 ; 749	2	0,35 ; 2,51	2	–	–
Opérateur déchargement des péniches	136,4 ; 347,9	2	19 400 ; 28 200	2	869 ; 31 600	2	–	–	0,72 ; 1,1	2
Opérateur polyvalent	128,1	1	4 580	1	1 190	1	–	–	4,01	1
Conducteur - tour de mélange	23,9	1	451	1	790	1	2,7	1	–	–
Conducteur - moulin d'essai	70,9	1	2 130	1	1 210	1	–	–	1,13	1
Conducteur - unité de thermisation	9,7	1	9 800	1	733	1	1,44	1	–	–
Résultats	De 9,7 à 4 725,7	45	de < 319 à 493 000	42	De < 218 à 168 000	42	De 0,35 à 41,35	20	De 0,72 à 18,81	25
PRÉLÈVEMENTS D'AMBIANCE										
Zone de conditionnement des farines	De 3,3 à 261,2	9	De 162 à 30 600	9	De 287 à 4 430	9	De < 0,68 à 14,93	9	–	–
Zone de chargement des issues	De 26,6 à 4 801,4	4	De 565 à 57 100	4	De 848 à 3 490	4	–	–	De 0,5 à 11,02	4
Zone de chargement des farines en vrac	1,8	1	4 830	1	2 580	1	< 0,19	1	–	–
Zone de déchargement des blés	53,9 ; 621,9	2	1 620 ; 8 540	2	493 ; 1 040	2	–	0	< 0,09 ; 0,54	2
Laboratoire - moulin d'essai - salle contrôle	De 23,2 à 89,3	3	De 976 à 6 780	3	De 195 à 959	3	0,52	1	< 0,27 ; 0,17	2
Local convoyeur des blés	1 992,2	1	12 600	1	3 613	1	–	0	3,09	1
Moulin - étages	4,7 ; 51,2	2	392 ; 3 630	2	294 ; 302	2	–	0	< 0,11 ; < 0,12	2
Résultats	De 1,8 à 4 801,4	22	De 162 à 57 100	22	De 195 à 4 430	22	De < 0,19 à 14,93	11	De < 0,09 à 11,02	11
PRÉLÈVEMENTS INDIVIDUELS ET D'AMBIANCE										
Résultats	De 1,8 à 4 801,4	67	De 162 à 493 000	64	De 195 à 168 000	64	De < 0,19 à 41,35	31	De < 0,09 à 18,81	36

N : nombres de mesures. VG : valeur guide. UE : unités d'endotoxines. UFC : unité formant colonies. Réf* : concentration maximale en poussières (moyenne à ne pas dépasser dans les locaux à pollution spécifique), valeur en vigueur jusqu'au 30 juin 2023.

↑ TABLEAU 2 Détail des résultats d'exposition aux différents polluants par poste et par zone de travail.



Nettoyage

En fonction de l'organisation du travail, les opérateurs chargés du nettoyage peuvent intervenir dans plusieurs locaux et à différentes étapes du procédé pour réaliser des tâches de nettoyage, d'entretien, et parfois d'autres tâches annexes. Le balayage est souvent utilisé (parfois, le soufflage ou l'aspiration), en fonction du matériel disponible localement (aspiration centralisée ou non).

La majorité des niveaux d'exposition aux endotoxines et aux micro-organismes cultivables est inférieure aux VG. Dans un cas, au même poste de travail, il est constaté une exposition individuelle aux endotoxines (4725,7 UE/m³) et aux bactéries cultivables (493000 UFC/m³), valeurs individuelles maximales relevées au cours de la campagne.

Pour les poussières, deux types de situations ont été observées : l'une où les opérateurs de nettoyage sont exposés à des poussières organiques d'origines diverses (trois mesures sur cinq), toutes supérieures au dixième de la valeur de référence et l'autre où ils sont exposés uniquement à des poussières de farine (deux mesures sur cinq) à des niveaux très supérieurs à la valeur recommandée par l'ACGIH : 8,92 mg/m³ et 36,73 mg/m³.

Conduite de moulin

Le conducteur de moulin est chargé de la surveillance technique. Pour cela, il est amené à circuler dans toutes les zones du bâtiment et à intervenir sur de nombreux équipements. En fonction de la taille du site, il peut effectuer d'autres tâches : réception des blés (contrôle qualité), chargement des camions-citernes (farine ou son), nettoyage (par balayage essentiellement) ou interventions sur les machines (entretien courant ou résolution de problème suite à bourrage, déversement...).

Même si les situations de travail exposent surtout aux poussières de farine, la multiplicité des tâches crée également des expositions à des poussières organiques d'origines diverses (blé, son...). L'interprétation des résultats se réfère donc à la valeur à ne pas dépasser pour les locaux à pollution spécifique. Les mesures d'exposition individuelle se situent entre 0,88 et 18,81 mg/m³, dont quatre mesures sur onze au-delà de 7 mg/m³.

À noter : 91 % des résultats sont supérieurs aux trois dixièmes de 4 mg/m³ (valeur de 2023).

Conditionnement de farine

Les farines peuvent être conditionnées en sachets de 500 g ou 1 kg, en sacs de 25 kg ou en big-bags. Les opérateurs sont chargés de la surveillance de la ligne (ensachage, emballage, palettisation...), du contrôle qualité, de la manutention et du nettoyage des installations et de la zone. Le balayage, l'aspiration et le soufflage sont utilisés pendant et après la production. La présence de poussières de farine

dans l'environnement de travail est visuellement constatée.

Quatorze mesures d'exposition individuelle ont été réalisées pour les poussières de farine. Dans tous les cas, les niveaux d'exposition sont très supérieurs à la valeur recommandée par l'ACGIH, avec un minimum à 1,4 mg/m³ et un maximum à 41,35 mg/m³.

Expositions par polluants

Endotoxines

Les valeurs d'exposition aux endotoxines vont de 1,8 UE/m³ à 4801,4 UE/m³, avec peu de résultats au-dessus de la VG supérieure (Cf. Figure 1). Les expositions les plus importantes sont associées au nettoyage ou au chargement des issues, lors de tâches réalisées dans des zones où des poussières organiques de natures très diverses sont présentes.

Poussières organiques d'origines diverses

Les valeurs d'exposition aux poussières s'étendent de < 0,09 mg/m³ à 18,81 mg/m³, dont 17 % au-delà de la valeur de 7 mg/m³ à ne pas dépasser pour les locaux à pollution spécifique, concernant essentiellement les mesures individuelles (20 % des résultats). À noter que cette proportion s'élève à 36 % si l'on prend en référence la valeur de 4 mg/m³, en application depuis juillet 2023 (Cf. Figure 2). Les niveaux d'exposition individuelle les plus élevés sont observés pour les postes de conducteur de moulin et de chargement des issues.

Poussières de farine

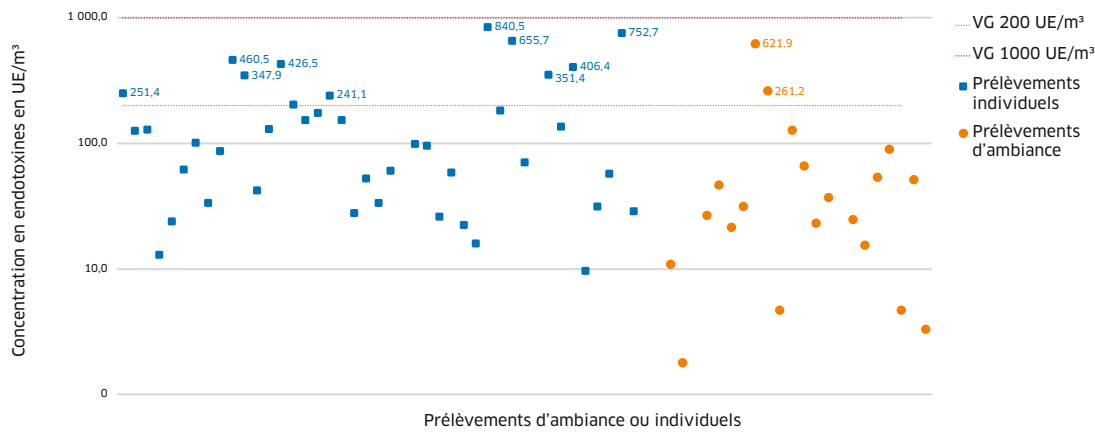
Les niveaux d'exposition aux poussières de farine vont de < 0,19 mg/m³ à 41,35 mg/m³, dont 87 % au-delà de 0,5 mg/m³ (référence de l'ACGIH ; Cf. Figure 3). Ce sont surtout les mesures individuelles (95 %) qui dépassent cette valeur. Les postes de conditionnement de farine présentent les niveaux les plus élevés (maximum mesuré à 41,35 mg/m³). À noter que les valeurs élevées ne sont pas associées à des situations de travail dégradées, mais sont représentatives d'un fonctionnement normal.

Synthèse des mesures

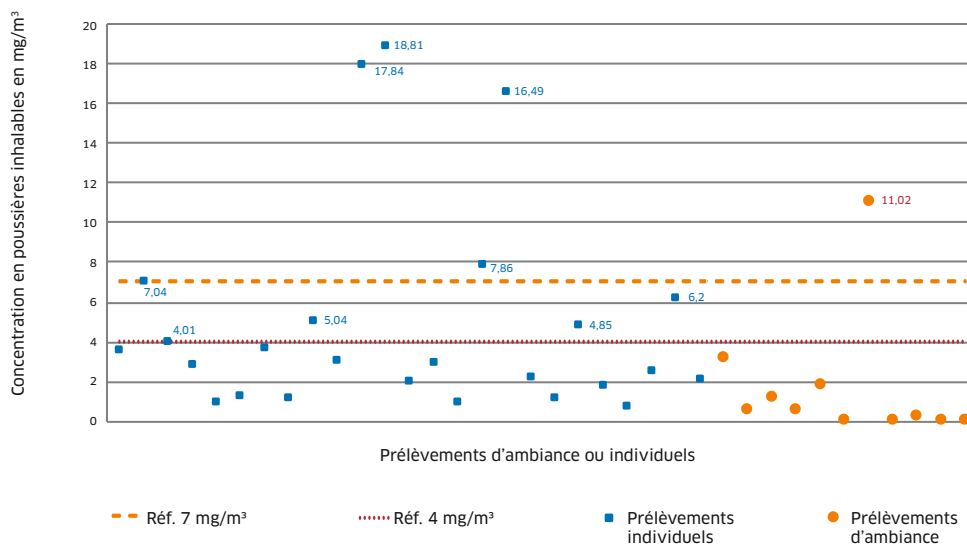
Les observations et les résultats des prélèvements ont mis en évidence :

- une absence d'exposition aux mycotoxines au cours de la campagne ;
- des tâches et des postes de travail exposant :
 - aux endotoxines, micro-organismes cultivables et poussières organiques diverses pour les postes de chargement des issues,
 - aux poussières (poussières organiques diverses et/ou poussières de farine) pour les postes de conducteur de moulin et d'opérateur de nettoyage, de conditionnement de farine ;

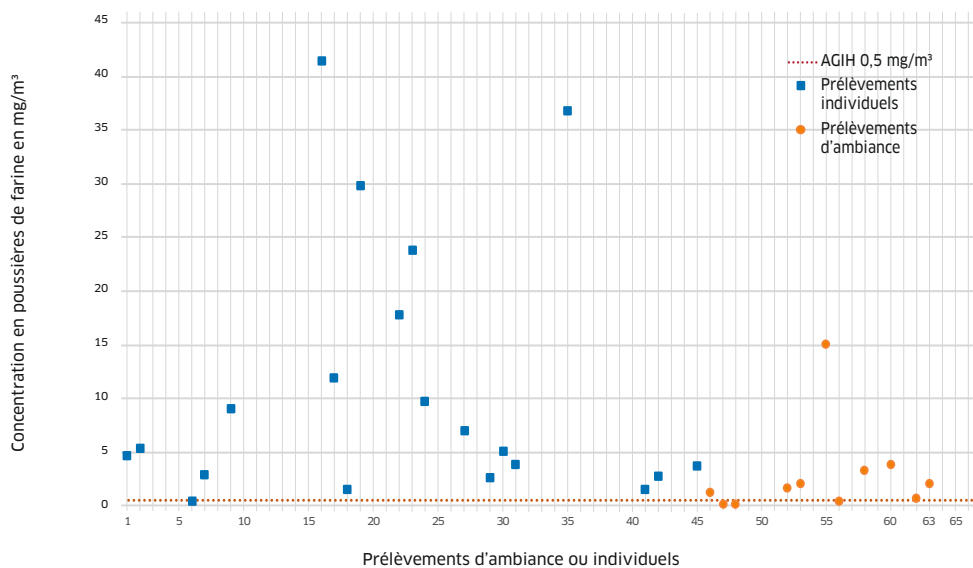
← FIGURE 1
Résultats des
prélèvements
d'endotoxines
[UE/m³].



← FIGURE 2
Résultats des
mesures de
poussières
organiques
diverses [mg/m³].



← FIGURE 3
Résultats de
mesures de
poussières de
farine [mg/m³].



Meunerie en Bourgogne. Appareil de nettoyage relié à un système d'aspiration centralisé.



© Gael Kerbaol / INRS / 2017

- des valeurs d'exposition très élevées, avec parfois des situations de multiexpositions, en fonction de l'activité et des différentes tâches réalisées (opérations ponctuelles ou répétées).

Constats et observations pour la prévention

En meunerie, les procédés et les équipements mis en œuvre génèrent des particules omniprésentes dans les environnements de travail. Ces poussières organiques proviennent essentiellement des matières premières, de la farine produite ou des coproduits de fabrication (issues, remoulage, farines basses...). Elles peuvent contenir des contaminants susceptibles d'affecter la santé des travailleurs exposés (Cf. Encadré 2).

Lors des différentes interventions, l'observation du travail réel (organisation, méthodes, pratiques, dispositifs de prévention existants) a permis d'acquérir des connaissances utiles pour la prévention.

Installations et procédés

Il est généralement constaté :

- des opérations de chargement des issues, farines basses et de déchargement des blés à l'extérieur ou sous couvert, générant de nombreuses particules et disposant rarement de dispositifs de confinement (lamelles en plastique) ou de captage localisé ;
- des opérations de chargement des farines en vrac en système clos, à l'extérieur sous couvert, peu ou pas émissives en particules ;

- des installations de tamisage/mouture confinées, capotées et en surpression, présentant souvent des problèmes d'étanchéité, à l'origine d'une dispersion de particules et de dépôts sur le sol et sur les équipements ;
- des lignes de conditionnement très souvent installées dans des locaux ne disposant pas de ventilation mécanique générale, avec une alimentation manuelle en sacs ou sachets, même sur les lignes automatisées ;
- la présence de farine au sol, sur et sous les installations de conditionnement, impliquant de fréquents nettoyages, avec parfois des difficultés d'accessibilité ;
- la présence de salariés à proximité directe des zones d'émission lors d'opérations générant de nombreuses particules dans l'air (déversement de matières, tassage manuel ou automatique de la farine dans le contenant...).

Nettoyage

Le nettoyage des installations et des machines est réalisé régulièrement. Le balayage, le brossage ou le soufflage sont systématiquement utilisés et mettent de nombreuses particules en suspension dans l'atmosphère de travail. L'aspiration vient parfois en complément : aspirateur spécifique ou dispositif centralisé, équipé de points de raccordement répartis dans les zones de travail, fréquemment en nombre insuffisant pour couvrir

l'ensemble des zones à nettoyer. Il est relevé des pertes d'efficacité d'aspiration liées à des tuyaux trop longs, des accessoires détériorés ou inadaptés, une utilisation inappropriée du matériel... Les problèmes d'accessibilité à certaines zones ou parties de machine sont récurrents, rendant le travail d'entretien ou de nettoyage difficile.

Ventilation des installations de production et des postes de travail

Certaines étapes ou équipements génèrent de nombreuses particules et se trouvent dans des zones ou locaux sans ventilation mécanique générale ni dispositifs de captage localisé (traitement des non-conformes, conditionnement...). Les particules se dispersent dans l'environnement de travail et se déposent sur les surfaces à proximité.

Les installations de tamisage/mouture et de transport de matières sont couramment raccordées à des réseaux de ventilation. Le plus souvent, seuls certains tronçons des installations de transport sont raccordés. Des dispositifs de captage localisé sont installés à certains postes de travail ou sur certains équipements (conditionnement de farine) mais ne sont pas systématiques (trémies des postes de déversement d'additifs majoritairement non équipées). Sur certains dispositifs, il est parfois constaté une efficacité de captage insuffisante, pouvant être liée à un défaut de dimensionnement, d'entretien... L'air empoussiéré extrait est filtré, puis rejeté à l'extérieur du bâtiment ou recyclé dans les locaux de travail après traitement via des cyclones, des cyclo-filtres ou des groupes de dépoussiérage, systématiquement installés à l'intérieur des locaux de travail⁴.

Sur les réseaux de ventilation de petite capacité (débit d'aspiration voisin de 1 000 m³/h), l'air filtré est généralement recyclé dans les locaux. Des dépôts de poussières sont visibles sur les équipements situés à proximité des bouches de rejet d'air. Sur les réseaux de ventilation de plus grande capacité (débit de plusieurs milliers de m³/h), l'air filtré est presque systématiquement rejeté à l'extérieur. Le contrôle périodique des performances aérodynamiques n'est en général pas réalisé, empêchant la détection des dérives de fonctionnement des installations et la programmation des maintenances préventives ou correctives. La pratique actuelle consiste à ne réaliser des maintenances correctives que si une accumulation inhabituelle de poussières est constatée à proximité d'un équipement. Les dossiers d'installation de ventilation sont rarement disponibles sur site.

Organisation du travail et situations dégradées

Lors des situations de bourrage ou de dysfonctionnement sur les installations, les opérateurs sont amenés à intervenir sur des machines en cours

de production. Ils utilisent parfois des méthodes ou des outils générant de nombreuses particules (maillet, brosses...) pour accéder aux éléments et réparer. La phase de nettoyage est généralement très exposante : pelletage de matières déversées au sol, soufflage, balayage...

Autres constats et risques

Des situations d'exposition au risque de chute de hauteur ont été observées à plusieurs reprises, du fait de l'utilisation d'échelles lors d'opérations habituelles de maintenance, de nettoyage, ou à certaines phases du procédé (alimentation d'une trémie de mélange).

Certains salariés peuvent être exposés aux risques liés à l'activité physique à l'origine de troubles musculosquelettiques (TMS), notamment lors du port de sacs (de farine, d'ingrédients...) ou lorsqu'ils adoptent des postures contraignantes et répétitives (palettisation, nettoyage, pelletage, maintenance...). Dans certains cas, il a été constaté des dépôts de poussières ou la mise en suspension de poussières organiques dans un environnement clos et non ventilé, susceptible de créer une Atex [1].

Synthèse des constats

- Équipements émissifs de par leur conception et/ou par défaut d'entretien.
- Méthodes de nettoyage non adaptées et sources d'empoussièrment.
- Moyens de prévention collective pas toujours présents ou d'une efficacité parfois insuffisante.
- Nécessité de faire évoluer la conception de certaines étapes du procédé (déchargement des blés ou chargement des issues) sur les aspects de prévention collective.
- Prise en compte inégale du risque d'incendie/explosion [1].

Orientations et conseils pour la prévention des expositions

Toute action de prévention visant à abaisser autant que possible les quantités de particules émises par le procédé, les équipements ou les tâches effectuées doit permettre de limiter les expositions aux poussières ou aux polluants biologiques, et aussi de prévenir le risque d'Atex lié à la présence de poussières dans l'atmosphère. Pour cela, il est conseillé d'identifier les sources d'émission de particules au niveau des installations, d'analyser les situations de travail exposantes et de rechercher des solutions techniques ou organisationnelles, en privilégiant les mesures de prévention collective.

Propositions par tâche ou poste de travail

→ Chargement/déchargement

Les opérations impliquant un déversement de matières (céréales, issues, son, additifs, farine...)



dans une trémie, un sac, un camion, etc. génèrent des quantités importantes de particules dans l'environnement. En fonction de l'activité et des différentes tâches réalisées (opérations ponctuelles ou répétées) et de l'efficacité des moyens de prévention existants, les niveaux d'exposition peuvent être plus ou moins importants. L'objectif vise donc à limiter la dispersion des particules et à soustraire le salarié à l'exposition :

- en diminuant les hauteurs de chute de matières et en limitant les vitesses de déversement ;
- en confinant les opérations de déversement (étanchéifier au maximum les déversements en camion : manche souple, raccordement direct au camion-citerne...), en installant des lanières souples autour des zones de chargement et déchargement, privilégiant les chargements en camion-citerne ;
- en captant les poussières au niveau du déversement, de façon adaptée selon les situations rencontrées [6]. Pour les issues, étudier la possibilité d'installer un anneau aspirant à l'extrémité du soufflet raccordé à la trémie du silo de stockage. Une seconde piste consisterait à positionner des fentes aspirantes le long du plancher de la plateforme de surveillance, de chaque côté de la partie supérieure des camions dans la zone de déversement des issues ;
- en éloignant les salariés de la zone de déversement : pour le chargement des issues, en déportant les commandes dans un local séparé et isolé, avec caméra de surveillance ou en installant une cabine sur la passerelle, en surpression, ventilée avec un apport d'air propre et neuf.

→ Nettoyage

L'exposition des opérateurs paraît directement associée à la nature des tâches et aux méthodes utilisées. En fonction du type de particules, de la durée de la tâche et des niveaux d'exposition atteints, les risques pour leur santé peuvent être importants. Les méthodes de nettoyage doivent être adaptées pour éviter la remise en suspension et la dispersion des particules :

- éviter (proscrire si possible) le balayage, le broyage ou le soufflage ;
- utiliser à la place l'aspiration. Le matériel doit être adapté à cet environnement particulier, en nombre suffisant de manière à couvrir l'ensemble des zones à nettoyer afin de limiter les transferts de matériels, équipé de filtres THE (très haute efficacité) et être conçu pour ne pas enflammer une Atex potentiellement présente. L'utilisation d'aspirateurs équipés de sacs en plastique antistatique à usage unique permet d'éviter les transvasements de poussières dans d'autres contenants. La mise à disposition d'aspirateurs dorsaux est recommandée pour le nettoyage des zones où

l'utilisation d'un aspirateur sur roulettes est difficile, comme les escaliers.

Si possible, il est conseillé d'opter pour un dispositif d'aspiration centralisée. Le nombre de points de raccordement et la capacité du système doivent être calculés en fonction des zones et des installations à nettoyer. Les matériels et accessoires doivent être maintenus en bon état pour conserver leur efficacité. Les embouts doivent s'adapter aux zones à nettoyer et aux difficultés d'accès éventuelles : type d'accessoire (brosse, goupillon, tube...), taille, forme, etc.

→ Conditionnement de farine

Pour éviter les dispersions de particules au niveau de la ligne de conditionnement et limiter les opérations de nettoyage, des solutions techniques simples peuvent être mises en place en :

- utilisant des sacs hermétiques à valve pour supprimer les dégagements de farine lors de leur remplissage... ;
- positionnant des bacs de récupération de farine au niveau du remplissage des sachets ;
- privilégiant si possible la mécanisation/automatisation du conditionnement. Le confinement des machines associé à un captage localisé des particules aux points de dispersion est reconnu très efficace pour limiter les expositions, surtout si la mise en place est faite aux différents points dispersifs : ensachage, buse de remplissage, tassage de la farine... ;
- aménageant les postes de travail pour éloigner les opérateurs de la source d'émission : installation d'un système pour maintenir le sac lors du remplissage, isolement à l'aide d'une paroi...

Proposition pour les équipements et moyens de prévention collective

Le procédé de fabrication de la farine utilise de nombreux équipements automatisés. Même si l'essentiel du procédé est clos, certaines machines sont fortement génératrices de particules. Elles doivent être repérées et équipées de dispositifs de confinement (carters de protection, capotage) pour minimiser la dispersion, avec système d'aspiration des poussières pour plus d'efficacité. Le rejet de l'air empoussiéré à l'extérieur du bâtiment après filtration doit systématiquement être privilégié.

La forme et le positionnement des dispositifs de captage par rapport aux sources d'émission des particules doivent être étudiés, adaptés aux différentes configurations rencontrées et positionnés au plus près des sources d'émission (capteur annulaire de type anneau de Pouyès, dossier aspirants, bouche de captage...) afin d'être réellement efficaces [6]. Il est important de vérifier leur adéquation aux contraintes, en prenant notamment en compte les retours des opérateurs. Leur entre-

tien est indispensable pour s'assurer de leur efficacité dans le temps : absence de fuites, maintien de l'étanchéité des installations (jonctions de conduits, peseuse...), vérification des débits d'aspiration... Il convient d'apporter une attention particulière aux opérations de maintenance ou d'entretien, souvent effectuées dans des environnements confinés et très empoussiérés.

Une vérification périodique des systèmes de ventilation doit être réalisée annuellement pour s'assurer de leur conformité. Les résultats des mesures périodiques doivent être consignés dans le dossier d'installation de ventilation du réseau [7].

Les dysfonctionnements nécessitant l'intervention des techniciens sur des machines pleines de matières (débousses...) sont à l'origine d'expositions aux poussières. Si possible, les causes doivent être repérées, et des solutions trouvées pour éviter le mode dégradé (décolmatage automatique, modernisation du procédé...). La maintenance préventive doit être privilégiée, avec des interventions planifiées sur des machines nettoyées. L'utilisation de moyens de détection ou d'alarmes permet de repérer les problèmes, d'agir au plus vite et d'éviter les dépôts de matières. La mise en œuvre de systèmes de contrôle en continu des performances aérodynamiques des installations de ventilation (manomètres raccordés aux points caractéristiques des réseaux d'aspiration...) peut faciliter la détection en temps réel de certains dysfonctionnements (accumulation anormale de poussières sur les filtres d'un groupe de dépoussiérage).

La conception des machines et l'ergonomie des installations sont des fondamentaux en prévention. Les zones ou les machines difficiles d'accès placent les salariés en situation d'exposition, leur imposent des postures contraignantes, et génèrent des pertes de temps. Elles doivent être repérées et traitées pour y remédier. Lors de l'achat de nouveaux équipements, il est judicieux de prendre en compte ces aspects dans le choix des machines et de leur implantation, et d'associer les salariés au choix et à la mise en place des solutions envisagées.

De plus, les poussières présentes dans ces environnements de travail sont des particules organiques combustibles, qui peuvent provoquer la formation d'Atex et qui nécessitent un travail spécifique de prévention en conception [1, 8-10].

Autres mesures de prévention : évaluation des risques professionnels, formation, hygiène, port d'équipements de protection individuelle (EPI)

Lors de l'évaluation des risques professionnels, l'analyse des situations de travail est nécessaire pour repérer les tâches ou les postes exposant aux particules, en intégrant les opérations de nettoyage, la maintenance, l'entretien régulier et les



© Patrick Delapierre pour l'INRS / 2022

situations dégradées. Les équipements générateurs de poussières doivent être identifiés pour étudier les meilleures solutions. Les mesures de prévention collectives sont à privilégier, en améliorant les dispositifs actuels ou en recherchant de nouveaux moyens adaptés.

Dans l'attente de la mise en place de mesures de prévention collective pérennes, et pour des opérations ponctuelles particulièrement exposantes aux particules, il est conseillé d'équiper les salariés d'une protection respiratoire adaptée à la tâche, à sa durée et aux niveaux d'exposition prévisibles. Pour les opérations longues et/ou très exposantes (opérations de nettoyage...), des protections respiratoires à ventilation assistée (si nécessaire certifiées Atex) peuvent être proposées. Il est préconisé d'associer les salariés au choix de la protection respiratoire (visibilité, poids, encombrement, nécessité de communiquer...) [11].

Il est essentiel d'informer les salariés et de les former aux risques encourus, y compris biologiques (notamment liés à l'inhalation de

Vérification du remplissage d'un sac de farine dans une meunerie des Pays-de-la-Loire.



poussières organiques), ainsi qu'au port et à l'ajustement des EPI [12].

Les conseils en matière d'hygiène sont à rappeler régulièrement. Chaque opérateur doit disposer d'une tenue réservée au travail, fournie et nettoyée par l'employeur. Elle doit être changée régulièrement, au moins trois fois par semaine. Les vêtements personnels sont déconseillés, pour éviter tout risque de transfert de pollution. Le lavage des mains est recommandé avant de manger ou de fumer⁵. Il est déconseillé de boire et de manger sur le lieu (postes) de travail. En raison du risque d'Atex, l'interdiction de fumer sur le lieu de travail doit être strictement respectée. Les moyens de protection individuelle réutilisables (lunettes, gants, masques, bouchons d'oreilles...) doivent être rangés dans un endroit spécifique, hors de toute pollution, nettoyés après chaque utilisation et vérifiés avant chaque emploi.

Conclusions et perspectives

La campagne de mesures de la Cramif dans le secteur de la meunerie a montré des expositions aux poussières de farine, aux poussières organiques contaminées par des polluants biologiques (endotoxines, micro-organismes) et l'existence de conditions favorables à la création d'Atex [1]. La mise en place de mesures de prévention est recommandée pour prévenir ces risques et leurs conséquences possibles sur la santé et la sécurité des salariés. Des solutions d'ingénierie sont à développer pour diminuer les expositions aux poussières organiques, en particulier pour les postes de chargement des issues. Des améliorations techniques sont à étudier pour prévenir le risque sur toutes les étapes du procédé et pour faire évoluer les pratiques, en particulier lors des opérations de maintenance et des tâches de nettoyage. Les mesures de prévention collective sont améliorables, notamment les dispositifs de captage localisé des particules.

Il peut être pertinent d'étendre la réflexion aux autres métiers en contact avec des céréales, possiblement aussi exposés à des poussières. Les particules organiques d'origine végétale sont connues pour contenir des biocontaminants tels que des mycotoxines, des endotoxines... Dans le secteur agricole, les professions en lien avec la récolte des céréales, leurs transport et stockage, etc. peuvent être concernées, tout comme les métiers plus en aval de la filière céréalière, en lien avec la nutrition animale, etc.

Pour les métiers potentiellement exposés à des poussières de farine, les études sur la pulvéulence des farines⁶ doivent être poursuivies afin de rechercher des pistes de solution à ces expositions dans certaines situations professionnelles (boulangeries-pâtisseries). ●

1. Voir : www.inrs.fr/metropol ; et en particulier pour les mycotoxines : Fiche M-454 ; pour les micro-organismes aérobies : Fiche M-147 ; et OTA, fumosinines, aflatoxines, DON, T2, HT2 et zéaralénone : Fiche M-426.

2. Issues de blé : coproduits de première transformation du blé en farine, constitués principalement de fragments d'enveloppe de grains de blé (son), de remoulages, de farines basses et de germes.

3. Les auteurs tiennent à la disposition des personnes intéressées les éléments complémentaires issus de la campagne.

4. À noter qu'ils sont très majoritairement dépourvus de « marquage Atex », de dispositifs de protection contre les effets des explosions et de systèmes d'extinction d'incendie intégrés [1].

5. Rappel : le Code de la Santé publique (articles L. 3512-8 et R. 3512-2) interdit formellement de fumer sur les lieux de travail depuis 2007.

6. Les études sur la pulvéulence visent à modifier la granulométrie des farines utilisées au fleurage. Cela limite la dispersion des particules dans l'environnement de travail et diminue les expositions professionnelles.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] JANES A., DUFAUD O. – Transformation des produits céréaliers dans les meuneries : prévention des risques d'explosion. *Hygiène & sécurité du travail*, 2024, 277, EC 42, pp. 76-86. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=EC%2042>
- [2] ALONSO L. ET AL. – Résultats de mesures d'endotoxines : exploitation et impact sur les valeurs guides existantes. *Hygiène & sécurité du travail*, 2025, 279, NT 122, pp. 63-69. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20122>
- [3] DAVID C. ET AL. – Valeurs-guides bactéries et moisissures cultivables : Interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols. *Hygiène & sécurité du travail*, 2023, 271, NT 109, pp. 55-63. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20109>
- [4] DÉCRET N° 2021-1763 du 23 décembre 2021 portant modification des concentrations moyennes en poussières totales et alvéolaires dans les locaux à pollution spécifique. *Journal officiel*, 24 décembre 2021. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr
- [5] ACGIH – *Guide to Occupational Exposure Values*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2022.
- [6] INRS – *Guide pratique de ventilation*. Principes généraux de ventilation. ED 695. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20695>
- [7] INRS – *Guide pratique de ventilation*. Le dossier d'installation de ventilation. ED 6008. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206008>
- [8] INRS – *Guide – Les mélanges explosifs*. 2. Poussières combustibles. ED 944. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20944>
- [9] DIRECTIVE ATEX 1999/92/CE relative à la protection de la sécurité et de la santé des travailleurs susceptibles d'être exposés aux risques des Atex. *Journal officiel de l'Union européenne*, 28 janvier 2000. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr
- [10] INRS – *Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives*. Guide méthodologique. ED 945. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20945>
- [11] INRS – *Les appareils de protection respiratoire : choix et utilisation*. ED 6106. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206106>
- [12] GUIMON M., CHAZELET S. – Ajustement des appareils de protection respiratoire et travail. *Références en santé au travail*, 2019, 158, TP 33, pp. 109-116. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TP%2033>