

Mise en œuvre de matériaux pulvérulents

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée en 1947 sous l'égide de la Caisse nationale d'assurance maladie, administrée par un Conseil paritaire (employeurs et salariés).

De l'acquisition de connaissances jusqu'à leur diffusion, en passant par leur transformation en solutions pratiques, l'Institut met à profit ses ressources pluridisciplinaires pour diffuser une culture de prévention dans les entreprises et proposer des outils adaptés à la diversité des risques professionnels à tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, services de santé au travail, instances représentatives du personnel, salariés... Toutes les publications de l'INRS sont disponibles en téléchargement sur le site de l'INRS : www.inrs.fr

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et les caisses générales de sécurité sociale (CGSS) de l'Assurance maladie - Risques professionnels, disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé notamment d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ces professionnels sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, instances représentatives du personnel, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Les caisses assurent aussi la diffusion des publications éditées par l'INRS auprès des entreprises.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 € (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

© INRS, 2021.

Édition : Katia Bourdelet

Conception graphique : Eva Minem

Mise en pages : Valérie Latchague-Causse

Illustrations : Jean-André Deledda

Guide pratique de ventilation

Mise en œuvre de matériaux pulvérulents

ED 6441 |
Août 2021

Brochure INRS actualisée par M. Ricaud.

Avec la contribution d'un groupe de travail composé de :

E. Belut (INRS), L. Fina (Carsat Sud-Est), A. Janes (Cramif),
V. Marquenie (Carsat Bretagne), F. Moreau (Carsat Centre-Ouest),
R. Woehrly (Carsat Nord-Est)

Sommaire

Introduction	5
Domaine d'application	6
1 Les matériaux pulvérulents	7
1.1 Les caractéristiques	7
1.2 Le comportement dans l'atmosphère	7
1.3 Les dangers pour la santé et la sécurité	9
2 La réglementation	11
2.1 L'aération et l'assainissement	11
2.2 La prévention du risque chimique	11
2.3 Les valeurs limites d'exposition professionnelle	12
3 La démarche de prévention	13
3.1 La réduction des émissions	13
3.2 Le captage et la ventilation	14
4 Les dispositifs de captage à la source en fonction des opérations	16
4.1 Le broyage, le concassage, le compactage et le mélange	16
4.2 Le triage	17
4.3 La pesée et l'échantillonnage	17
4.4 Le transport	19
4.5 Le chargement	20
4.6 Le conditionnement et le déconditionnement	22
4.7 Le nettoyage	23

5	L'apport d'air de compensation	24
6	Le transport et le traitement de l'air	25
6.1	Le réseau de transport	25
6.2	Le traitement de l'air pollué	26
7	Le contrôle et la maintenance d'une installation de ventilation	28
7.1	La réception de l'installation	28
7.2	La maintenance de l'installation	29
7.3	Les contrôles périodiques	29
8	Les dossiers techniques	30
8.1	Le transfert de matériaux pulvérulents dans une citerne, une benne ou un espace de stockage	30
8.2	Le déconditionnement et le transfert de matériaux pulvérulents	32
8.3	Le déversement de matériaux pulvérulents dans un mélangeur	33
8.4	La vidange de sacs de matériaux pulvérulents	35
8.5	Le remplissage et la pesée de matériaux pulvérulents	38
	Bibliographie	40



Introduction

Cette brochure vise à constituer une référence pour les préventeurs et toute personne ou organisme concerné par la conception, la construction, l'exploitation et le contrôle des installations de captage des poussières émises lors de la mise en œuvre de matériaux pulvérulents.

En tant que guide pratique, seuls les points essentiels relatifs à la conception et à l'entretien des installations de ventilation sont traités. Les nuisances d'ordre toxicologique, c'est-à-dire les effets sur l'homme des polluants générés, ainsi que les aspects incendie-explosion sont brièvement abordés. Ce guide a le double objectif de mettre en évidence les risques pour la santé et la sécurité liés à la manipulation de matériaux pulvérulents aux postes de travail et de proposer des solutions de prévention adaptées à chaque situation.

Les mesures de prévention décrites dans ce document portent principalement sur :

- la réduction des émissions de poussières,
- le captage et la ventilation des poussières : le ou les dispositifs de captage à la source adaptés à chaque opération (concassage, pesée, transport, échantillonnage, chargement, déconditionnement...), le réseau de transport des polluants, le rejet de l'air extrait, la ventilation générale, l'air de compensation, les contrôles, l'entretien et le nettoyage.

Sous réserve que l'ensemble des sources de pollution soit traité, les critères de ventilation proposés dans ce guide permettent de limiter la concentration des poussières dans l'atmosphère de travail. En présence de techniques ou de matériaux particulièrement dangereux, nouveaux ou spéciaux, de conditions ou de circonstances défavorables, des mesures plus strictes pourront être nécessaires pour maintenir les concentrations en polluants en dessous des valeurs limites d'exposition professionnelle.

Les données contenues dans cet ouvrage proviennent de l'expérience acquise sur les lieux de travail ainsi que des résultats de différentes études menées par les services prévention des Carsat et de la Cramif, ainsi que par l'INRS.

Ces données, et notamment les critères de ventilation, seront susceptibles d'évoluer en fonction des résultats d'études nouvelles ou de modifications apportées sur le plan réglementaire.



Domaine d'application

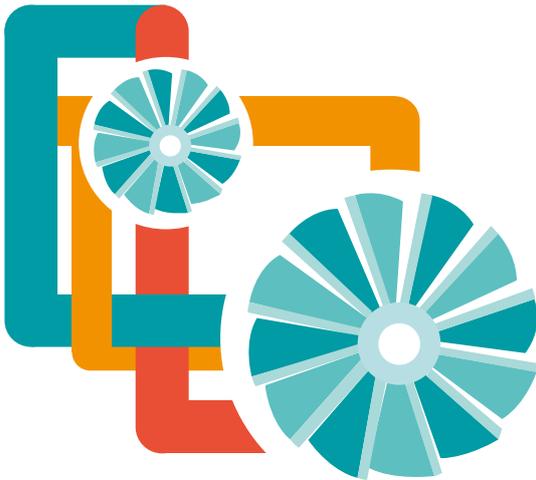
De nombreux procédés mis en œuvre dans divers secteurs industriels (agroalimentaire, métallurgie, pharmacie, énergie, chimie, cosmétique, plasturgie...) impliquent la fabrication, l'utilisation ou la transformation de matériaux sous forme de poudres, également nommés matériaux pulvérulents¹.

Un matériau pulvérulent peut provenir de la matière première ou du produit fini d'un procédé. Il peut également résulter de la manipulation de certains produits, capables de se réduire partiellement en poudre sous l'effet de frottements ou de chocs².

La mise en œuvre de matériaux pulvérulents et les opérations associées (telles que le transport, la manutention, la pesée, le mélange, le transfert, le fractionnement, le conditionnement et le déconditionnement) sont susceptibles de mettre en suspension dans l'air des poussières (ou particules) qui peuvent notamment être inhalées, voire ingérées, par les opérateurs ainsi que par tous les salariés présents sur les lieux de travail. Ces poussières peuvent également induire une explosion dans certaines conditions dès lors qu'elles sont combustibles. Enfin, elles peuvent se déposer sur les outils, les équipements, les sols et les surfaces de travail et sont donc susceptibles d'être remises en suspension suite, notamment, à des mouvements d'air, à des frottements...

1. Dans ce document, les appellations « poudre », « poussière », « particule » et « matériau pulvérulent » sont utilisées indifféremment.

2. Ne sont pas traitées dans ce guide les poussières résultant d'une action mécanique de type usinage (meulage, polissage...) réalisée sur un solide.



1. Les matériaux pulvérulents

1.1 Les caractéristiques

Un matériau pulvérulent est un produit solide constitué de particules divisées (distinctes), plus ou moins indépendantes.

En raison de cet état divisé, un matériau pulvérulent présente une surface de contact avec son environnement (nommée surface spécifique) beaucoup plus élevée qu'un solide compact de même composition, pour une masse de produit identique. Cette surface spécifique confère aux matériaux pulvérulents une plus grande réactivité et une plus grande capacité de dispersion dans l'air, induisant des risques spécifiques.

Un matériau pulvérulent est caractérisé par la proportion de particules de chaque taille qui le compose, appelée distribution granulométrique. Cette distribution granulométrique est représentée sous la forme d'une courbe qui symbolise le nombre de particules ayant un diamètre donné (ou le nombre de particules ayant un volume ou une surface donnés).

La distribution granulométrique peut évoluer au cours du temps, en fonction des conditions environnementales (humidité, température...) et des opérations mécaniques auxquelles le matériau est soumis (broyage, abrasion, frottement, choc...).

Il existe différentes techniques analytiques qui permettent de déterminer la distribution

granulométrique d'une poudre : tamisage, granulométrie optique, méthodes par comptage de particules...

Le comportement d'une poudre (facilité d'écoulement, tendance à colmater, oxydabilité, réactivité chimique...) dépend des nombreux paramètres suivants :

- la composition chimique,
- la distribution granulométrique,
- la forme ou la morphologie,
- la surface spécifique,
- la pulvérulence : la capacité de la poudre à générer un aérosol (également appelé nuage),
- la charge électrique de surface,
- la masse volumique.

1.2 Le comportement dans l'atmosphère

Un matériau pulvérulent dispersé dans l'atmosphère des lieux de travail génère un aérosol. Le terme « aérosol » désigne tout ensemble de particules solides (ou liquides) en suspension dans un milieu gazeux. Les particules sont conventionnellement considérées comme en suspension si leur vitesse limite de chute maximale n'excède pas 0,25 m/s. Dans l'air immobile à la température de 20 °C et à la pression atmosphérique, cette vitesse

correspond sensiblement à celle atteinte par une sphère de 100 µm de diamètre et de masse volumique égale à 10³ kg/m³.

Le transport dans l'air d'un matériau pulvérulent est déterminé par le diamètre aérodynamique³ des particules qui le composent et par la concentration en particules dans l'air.

Une poudre très aérée (faible concentration en solide) et composée de particules fines (faible diamètre aérodynamique) est aisément dispersée dans l'atmosphère (aérosol), tandis qu'une poudre très peu aérée (forte concentration en solide) et composée de particules grossières (diamètre aérodynamique élevé) s'avère peu sensible aux mouvements d'air.

Le passage d'un état peu aéré à un état aéré est déterminé par le procédé de fabrication ou de manipulation de la poudre.

Les particules peuvent être entraînées dans l'atmosphère du fait de divers mouvements du matériau pulvérulent, de chocs, de frottements, de courants d'air ou d'élévation de la température.

Si les particules sont suffisamment dispersées dans l'air calme, les plus fines restent plus longtemps en suspension.

Lorsque les particules sont résistantes, l'accumulation à leur surface de charges électrostatiques générées par les frottements entre elles et avec l'air ainsi que les matériaux environnants peut influencer leur comportement (dépôt ou dispersion accrue, étincelle de décharge...).

Les fines particules (de diamètre inférieur à 50 µm environ) en sédimentation en air calme atteignent

rapidement une vitesse limite de chute, du fait de la résistance à l'écoulement de l'air.

Le tableau 1 donne les vitesses limites de sédimentation en air calme pour des sphères de masse volumique égale à 1 000 kg/m³. Ce tableau montre que les vitesses atteintes par les très fines particules (de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm) sont très faibles et négligeables devant les courants d'air d'un atelier qui, même dans des atmosphères très calmes, ont une vitesse de l'ordre de 0,1 à 0,2 m/s.

Le tableau 2 donne, quant à lui, un aperçu des distances parcourues en air calme par des particules de masse volumique égale à 2 500 kg/m³ projetées par un procédé avant qu'elles ne soient arrêtées par le frottement de l'air (nommées distances d'arrêt). Ces distances varient fortement avec la taille des particules : d'environ 55 m pour les particules de 2 mm à environ 1 mm pour des particules de 2 µm.

Ces deux tableaux montrent que les poussières peuvent être, en première approximation, classées en deux catégories :

- les grosses particules qui, grâce à leur énergie cinétique élevée, peuvent parcourir des distances importantes lorsqu'elles sont projetées avec une vitesse initiale. Ces grosses particules ne peuvent être collectées que par des dispositifs de captage disposés sur leur trajectoire,
- les fines particules qui n'ont pas la latitude de se mouvoir par elles-mêmes dans l'air, même avec une vitesse initiale, mais dont une partie peut être entraînée dans le sillage créé par de grosses particules lancées à grande vitesse. Les fines particules n'ont donc pas de mouvements indépendants de ceux de l'air et, pour les capter, il convient (sauf le cas d'entraînement cité ci-dessus) de capter l'air dans lequel elles sont en suspension.

3. Le diamètre aérodynamique d'une particule est le diamètre de la sphère de masse volumique 10³ kg/m³ dont la vitesse limite de chute en air calme est identique à celle de la particule dans les mêmes conditions de pression, température et humidité relative. Le diamètre aérodynamique dépend de la forme de la particule et de sa densité.

Tableau 1. Valeurs des vitesses limites de sédimentation en air calme pour des particules sphériques de masse volumique 1 000 kg/m³ (densité 1) [1].

Diamètre (µm)	100	50	20	10	1	0,1
Vitesse limite (m/s)	0,3	0,07	0,01	3.10 ⁻³	3.10 ⁻⁵	9.10 ⁻⁷

Tableau 2. Valeurs des distances d'arrêt pour des particules sphériques de masse volumique 2 500 kg/m³ projetées à la vitesse de 50,8 m/s dans de l'air calme à 25 °C [1].

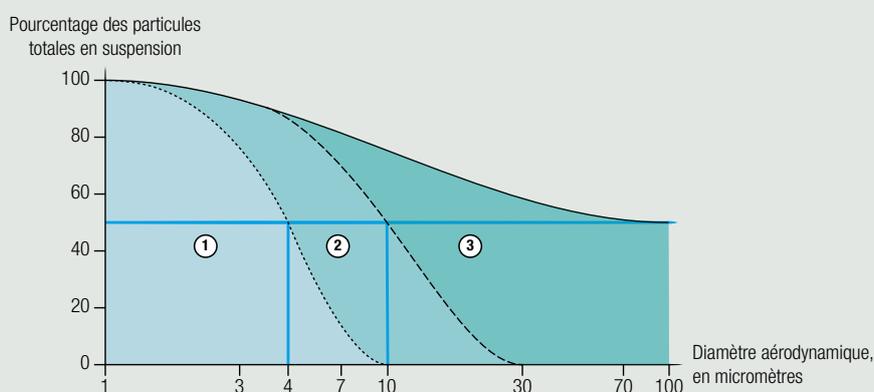
Diamètre (µm)	2 000	1 000	500	100	50	10	5	2
Distance d'arrêt (m)	54,9	23,1	9,35	0,892	0,291	19,5.10 ⁻³	6,1.10 ⁻³	1,2.10 ⁻³

■ Les fractions de particules

Les particules mises en suspension dans l'air au voisinage des voies respiratoires peuvent être inhalées. La fraction inhalée de l'aérosol dépend du diamètre aérodynamique des particules qui le composent et des caractéristiques de sélection à l'entrée des voies respiratoires.

En hygiène industrielle, différentes fractions granulométriques sont définies (voir figure 1) :

- **Fraction inhalable** : elle correspond à l'ensemble des particules pouvant être inhalées par le nez et la bouche. Les plus grosses (50 à 100 μm) ne pénètrent pas en totalité dans les voies respiratoires.
- **Fraction thoracique** : elle correspond à l'ensemble des particules de taille inférieure à 10 μm , et qui peuvent pénétrer au-delà du larynx.
- **Fraction alvéolaire** : elle correspond à l'ensemble des particules de taille inférieure à 4 μm , susceptibles d'atteindre les alvéoles pulmonaires.



■ Figure 1

Les fractions conventionnelles sont représentées par les zones que délimitent les courbes.
 ① alvéolaire ①+② thoracique ①+②+③ inhalable

1.3 Les dangers pour la santé et la sécurité

1.3.1 Les dangers pour la santé

Trois voies d'exposition potentielle aux matériaux pulvérulents peuvent être distinguées : l'inhalation, l'ingestion et le contact cutané.

L'appareil respiratoire constitue la voie majeure de pénétration des poussières dans l'organisme humain. Leur pénétration est d'autant plus importante que l'individu pratique une activité physique ou présente des fonctions pulmonaires altérées (asthme, bronchite...). Les particules, une fois inhalées, peuvent soit être exhalées (rejetées), soit se déposer dans les différentes régions de l'arbre respiratoire. Ce dépôt n'est généralement pas uniforme dans l'ensemble des voies respiratoires : il

varie considérablement en fonction du diamètre des poussières ainsi que de leur comportement dans l'air.

Les poussières peuvent également se retrouver dans le système gastro-intestinal après avoir été ingérées ou après déglutition lorsqu'elles ont été inhalées.

Elles peuvent enfin se déposer sur la peau (découverte) des opérateurs. La pénétration transcutanée des particules dépend de leur taille et de certaines de leurs caractéristiques physico-chimiques (propriétés de surface, élasticité...). Le sébum, la sueur, les pores, les irritations locales et les flexions répétées de la peau sont également des facteurs pouvant influencer la pénétration percutanée.

La toxicité des poussières (irritantes, allergisantes, cancérigènes, mutagènes...) dépend notamment de leur composition chimique et de leur taille. Certaines poussières peuvent également ne pas présenter de toxicité spécifique mais engendrer toutefois une surcharge pulmonaire.

L'exposition aux poussières sur les lieux de travail peut conduire au développement de pathologies, dont certaines sont reconnues et indemnisées au titre des tableaux de maladies professionnelles [2].

1.3.2 L'incendie et l'explosion

Certaines opérations courantes (par exemple, le chargement ou le déchargement de matériaux pulvérulents combustibles), de même que la remise en suspension de poussières combustibles déposées sur les sols et les surfaces de travail ainsi que l'utilisation d'appareils insuffisamment étanches (broyeurs, tamis, séchoirs, tapis transporteurs...), peuvent générer une atmosphère explosive dans les locaux de travail.

Une atmosphère explosive peut également se former à l'intérieur d'un équipement (dépoussiéreur, mélangeur...).

Toutes les poussières combustibles sont capables de former une atmosphère explosive dès lors que le diamètre des particules est inférieur à environ 500 µm. On peut citer notamment les poussières :

- alimentaires (amidon, sucre, farine, céréales...),
- végétales (bois, cellulose...),
- métalliques (aluminium, magnésium...),
- industrielles (matières plastiques, déchets...).

Les concentrations minimales nécessaires pour qu'une atmosphère de poussières combustibles soit explosive sont de l'ordre de quelques dizaines de grammes/m³ (limite inférieure d'explosivité).

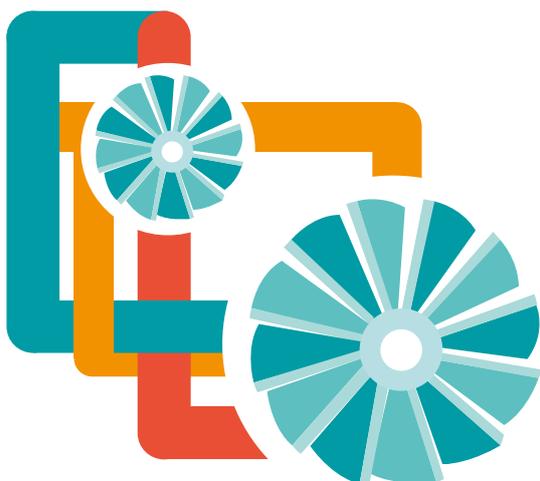
La prévention du risque d'explosion à l'intérieur d'un matériel n'est pas traitée dans ce guide, mais fait l'objet de plusieurs documents INRS [3], [4], [5].

Le stockage de matériaux pulvérulents en grande quantité peut générer un risque d'incendie (notamment par auto-échauffement) qu'il convient d'évaluer et de maîtriser.

Les mesures pour prévenir les explosions de matériaux pulvérulents

En présence de poussières combustibles, diverses mesures de prévention doivent être mises en place :

- Augmenter la granulométrie des poussières.
- Maintenir les surfaces des locaux exemptes de dépôts.
- Limiter les manutentions pouvant produire des nuages de poussières.
- Réaliser la meilleure étanchéité possible des appareils et machines hors desquels les poussières peuvent fuir (broyeurs, tamis, vis et tapis de transport, mélangeurs...).
- Capter à la source et dépoussiérer (par voie sèche ou par voie humide) les poussières qui sont produites par les équipements.
- Travailler sous atmosphère inerte (en remplaçant l'oxygène de l'air par un gaz inerte) lorsque cela est nécessaire (ceci n'est envisageable qu'à l'intérieur d'équipements étanches).
- Prévenir les sources d'inflammation, et notamment éviter toute accumulation de charges électrostatiques par une mise à la terre et une équipotentialité des installations.
- Protéger les installations contre les effets des explosions (en mettant en œuvre par exemple, un évent d'explosion, un suppresseur d'explosion, un découplage...).
- Informer et former les salariés.



2. La réglementation

Au-delà des dispositions générales applicables à toute démarche de prévention et imposant à l'employeur de prendre les mesures nécessaires afin de préserver la santé et la sécurité des salariés, des dispositions spécifiques sont prévues concernant l'aération et l'assainissement de l'atmosphère des lieux de travail [6] ainsi que la prévention du risque chimique [7].

2.1 L'aération et l'assainissement

Les locaux où s'exercent des opérations mettant en œuvre des matériaux pulvérulents sont des « locaux à pollution spécifique », ce qui induit, pour l'employeur, l'obligation de capter les poussières « *au fur et à mesure de leur production, au plus près de leur source d'émission et aussi efficacement que possible, notamment en tenant compte de la nature, des caractéristiques et du débit des polluants de l'air ainsi que des mouvements de l'air* » [6].

Des dispositions portant notamment sur les caractéristiques, l'entretien et les contrôles périodiques des installations d'aération et d'assainissement sont prévues [1], [6].

2.2 La prévention du risque chimique

Les règles générales de prévention du risque chimique [7] doivent être appliquées.

Des règles renforcées de prévention doivent également être mises en œuvre lors de toute opération exposant à un agent cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction de catégorie 1A ou 1B (règlement européen CLP⁴) ou à un procédé cancérigène [8].

La mesure prioritaire est la substitution. Quand elle n'est pas applicable, la recherche du niveau d'exposition le plus bas possible s'impose, en donnant la priorité aux mesures de prévention collective [7].

4. Le règlement CLP définit les règles européennes de classification, d'étiquetage et d'emballage des produits chimiques.

2.3 Les valeurs limites d'exposition professionnelle

Les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) désignent les seuils de concentration qui ne doivent jamais être dépassés dans l'air inhalé par un travailleur [9]. Elles découlent notamment des données scientifiques et techniques actuelles dont disposent les spécialistes sur la toxicité des polluants. En raison de l'évolution permanente de l'état des connaissances scientifiques, elles ne sauraient garantir l'absence de développement d'une pathologie. Ces valeurs limites d'exposition professionnelle constituent donc un objectif minimal. Il convient de choisir les pratiques, les équipements de production et les installations de ventilation visant à abaisser les niveaux d'exposition à des valeurs aussi faibles que possible.

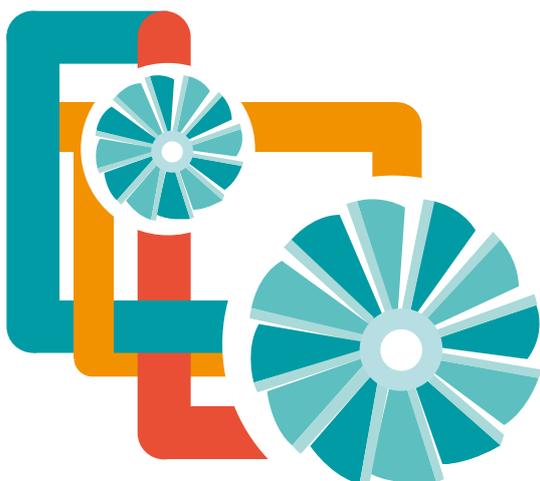
Il existe en France deux types de valeurs limites d'exposition professionnelle : les valeurs limites d'exposition à court terme mesurées sur une durée maximale de 15 minutes (VLEP CT) et les valeurs limites d'exposition estimées sur la durée d'un poste de travail de 8 heures (VLEP 8 h).

S'il n'existe pas de valeur limite française pour un polluant donné, il est d'usage de se référer aux valeurs recommandées aux États-Unis (par l'ACGIH⁵) ou en Allemagne (par la commission MAK⁶) si elles existent⁷ ou, à défaut, de se référer à la valeur limite d'exposition professionnelle définie en France pour les poussières réputées sans effet spécifique. Les concentrations moyennes en poussières totales et alvéolaires de l'atmosphère inhalée par un salarié, évaluées sur une période de 8 heures, ne doivent ainsi pas dépasser respectivement 10 et 5 mg/m³.

5. *American conference of governmental industrial hygienists* (association professionnelle d'hygiénistes industriels).

6. *Maximale arbeitsplatz-konzentration*.

7. Base de données Gestis - *International limit values* : <https://limit-value.ifa.dguv.de>



3. La démarche de prévention

L'employeur doit, en premier lieu, évaluer les risques générés par les activités susceptibles d'exposer les salariés à des agents chimiques manipulés ou émis sous forme de poussières. Lorsque l'évaluation a révélé un risque, les règles générales de prévention du risque chimique consistent à supprimer le risque ou, si ce n'est pas possible, à réduire au minimum l'exposition [7].

Les principes à appliquer sont, dans l'ordre hiérarchique, les suivants :

1. La substitution de l'agent chimique dangereux par un procédé de travail ou un agent chimique non dangereux ou moins dangereux.
2. La réduction des émissions d'agents chimiques dangereux.
3. Le captage à la source des polluants avec rejet à l'extérieur après filtration.
4. La mise en place d'une ventilation générale en complément de la ventilation locale.
5. La mise en œuvre d'équipements de protection individuelle.

3.1 La réduction des émissions

Dans le cas des poudres, les risques spécifiques pour la santé et la sécurité sont directement liés à

l'état divisé du matériau, qui lui confère une réactivité et une aptitude à la dispersion dans l'atmosphère plus élevées. Ces propriétés sont potentialisées par l'aération du matériau, c'est-à-dire la fraction volumique d'air qu'il contient. En effet, sauf cas particulier, un matériau pulvérulent présentera des facultés de dispersion croissante avec son état d'aération.

Au-delà de la substitution, la mesure de prévention à adopter en priorité est donc d'éviter par tous les moyens possibles la dispersion initiale dans l'air des matériaux pulvérulents. Ces matériaux devront, dans la mesure du possible, toujours être produits, manipulés et transportés à l'état le plus compact possible, et toute action pouvant provoquer leur aération sera évitée.

D'un point de vue pratique, une attention particulière doit notamment être portée à la manière dont les matériaux pulvérulents sont transférés, notamment si l'écoulement de la poudre sous l'effet de son propre poids est utilisé : vidange de trémie, déversement manuel, entonnoir, mélangeur rotatif... Dans ce type de situation, la dispersion dans l'air provient de deux phénomènes successifs qu'il convient d'éviter :

- **Le défaut de coulabilité** : par opposition à un liquide, les particules d'une poudre présentent une faible cohésion entre elles. Ainsi, le matériau pulvérulent peut passer d'un régime d'écoulement dense, caractérisé par une forte concentration en solide et des contacts permanents entre les particules, à un

régime d'écoulement dispersé où les particules ne se touchent plus : dans ce cas, la dispersion dans l'air est inévitable. La transition du régime dense vers le régime dispersé peut se produire s'il y a une entrave à l'écoulement de la poudre et que le régime dispersé demeure possible. Ainsi, par exemple, en sortie d'une trémie, l'écoulement dense n'est généralement pas possible à cause du rétrécissement de la section de passage et du frottement des particules entre elles et avec la paroi, ceci ayant pour conséquence de bloquer l'écoulement. En revanche, les particules conservent la possibilité de tomber individuellement, c'est la raison pour laquelle l'écoulement est souvent très dispersé à ce niveau. Cette propriété est d'ailleurs utilisée pour contrôler le débit de poudre.

- **L'impact sur une surface** : l'impact d'un écoulement dispersé de particules sur une surface provoque un tassement de la poudre avec une chasse de l'air interstitiel. Cette chasse d'air entraîne avec elle une grande quantité de poussières, notamment les particules les plus fines. Si la poudre n'est pas dispersée initialement, cette dispersion secondaire par la chasse de l'air interstitiel demeure faible.

Pour éviter la dispersion initiale de la poudre par défaut de coulabilité, il convient de :

- substituer la poudre initiale par une poudre présentant une meilleure coulabilité ou d'introduire un adjuvant favorisant la coulabilité (dès lors que cet additif n'induit pas de risques supplémentaires),
- éviter au maximum les entraves à l'écoulement de la poudre (tels que les rétrécissements),
- utiliser des dispositifs de transfert qui sollicitent la poudre en bloc (employer, par exemple, une vis sans fin au lieu d'une trémie, ou une trémie à pente adaptée) afin de contrôler le débit,
- limiter les hauteurs de chute au strict minimum possible, en utilisant notamment des dispositifs à hauteur de chute variable. Dans l'idéal, la sortie de la trémie doit toucher le tas de poudre en aval. D'une manière générale, un contact continu entre le récipient amont et le récipient aval est recommandé, sans passage à l'air libre entre les deux,
- utiliser un dispositif mécanique provoquant une chute séquentielle en régime dense (écluse), si limiter la hauteur de chute n'est pas techniquement possible.

Par ailleurs, si lors des opérations de transfert, la poudre est peu compacte (forte aération) dans le convoyeur amont, une étape de compaction avant le transfert peut être utile.

Il est, enfin, recommandé de privilégier les grands contenants de type big-bags aux petits sacs afin de limiter les manipulations et donc les expositions des salariés aux poussières. De même, il est conseillé d'automatiser, dès que le contexte le permet, les opérations de transfert, de déversement et de dosage. Ainsi, le dosage de matériaux pulvérulents automatisé par big-bags est préférable au dosage manuel par versement de sacs.

3.2 Le captage et la ventilation

Les différentes techniques utilisables pour l'aération et l'assainissement de l'air des lieux de travail peuvent être classées en deux grandes catégories : la ventilation locale par captage des poussières à la source et la ventilation générale [1].

La ventilation locale consiste à capter les poussières au plus près possible de leur source d'émission, avant qu'elles ne pénètrent dans la zone des voies respiratoires des travailleurs ou ne soient dispersées dans toute l'atmosphère du local de travail. Elle confine les poussières dans un volume aussi faible que possible et les évacue.

La ventilation locale doit donc être retenue en priorité.

En complément de la ventilation locale, une ventilation générale doit être mise en place.

Il est, par ailleurs, nécessaire de compenser les sorties d'air véhiculant les polluants par des entrées d'air neuf dans les locaux en quantité équivalente. Le confort thermique des opérateurs doit également être pris en compte.

Le bon fonctionnement d'une installation de captage et de ventilation est lié au respect d'un certain nombre de règles techniques et organisationnelles qui peuvent se résumer en neuf principes généraux [10] :

1. Envelopper au maximum la zone de production des poussières.

Il convient d'isoler autant que possible le procédé polluant dans une enceinte, une cabine ou à l'aide de parois, de rideaux..., afin de contenir au maximum les poussières et de réduire les

effets nuisibles des courants d'air. Les capotages devront être conçus en tenant compte des opérations effectuées par les salariés. Ce principe permet d'augmenter l'efficacité des dispositifs d'aspiration et de diminuer les débits d'air mis en jeu.

2. Capturer au plus près de la zone d'émission.

L'efficacité des dispositifs de captage diminue très rapidement avec la distance. Ainsi, par exemple, la vitesse d'air dans l'axe d'un dispositif de captage n'est plus que le dixième de la vitesse moyenne dans l'ouverture à une distance égale au diamètre de celle-ci. Le positionnement du système d'aspiration au plus près de la zone d'émission des poussières permet de garder une bonne efficacité en utilisant des débits d'aspiration plus faibles.

3. Placer le dispositif d'aspiration de manière à ce que l'opérateur ne soit pas entre celui-ci et la source de pollution.

Le mouvement de l'air propre doit toujours se faire de l'opérateur vers la source de pollution puis vers le dispositif d'aspiration.

4. Utiliser les mouvements naturels des poussières.

5. Induire une vitesse d'air suffisante.

Afin que le captage des poussières soit effectif, il est nécessaire que les vitesses de captage et les débits d'air soient suffisants pour s'opposer aux effets dispersifs des courants d'air et aux mouvements initiaux de l'air pollué, de façon à forcer ce dernier à s'écouler à l'intérieur du réseau d'aspiration.

6. Répartir uniformément les vitesses d'air au niveau de la zone de captage.

Les critères de ventilation sont généralement exprimés sous forme de vitesses moyennes d'aspiration au niveau de la zone de captage. Les vitesses d'aspiration doivent être réparties le plus uniformément possible afin d'éviter des fuites d'air pollué.

7. Compenser les sorties d'air par des entrées d'air correspondantes.

8. Éviter les courants d'air et les sensations d'inconfort thermique.

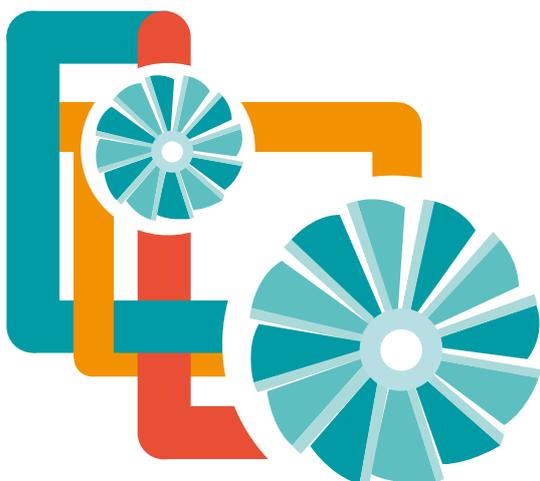
9. Rejeter à l'extérieur du bâtiment l'air pollué en dehors des zones d'entrée d'air neuf.

■ La ventilation générale

La ventilation générale opère généralement par dilution des poussières à l'aide d'un apport d'air neuf dans le local en quantité suffisante pour amener les concentrations de substances dangereuses en dessous des valeurs limites d'exposition professionnelle.

De par son principe même, la ventilation générale seule n'est pas satisfaisante comme technique principale d'aération et d'assainissement de l'air car :

- elle ne protège pas immédiatement l'opérateur,
- elle induit une dispersion ou une accumulation des polluants dans certaines zones,
- elle nécessite la mise en œuvre de débits d'air plus importants que le captage à la source, d'où des coûts de fonctionnement, de chauffage et parfois d'investissement, plus élevés.



4. Les dispositifs de captage à la source en fonction des opérations

Les exemples qui suivent correspondent à des procédés couramment utilisés dans l'industrie auxquels ont été associées des solutions de captage à la source.

Les critères aérauliques (débits, vitesses d'air...) sont donnés à titre indicatif ; en situation réelle, il conviendra de les ajuster en fonction du poste de travail, du procédé utilisé, du matériau pulvérulent mis en œuvre, de la capacité d'entraînement du produit dans l'air, de la vitesse des courants d'air, voire des vents météorologiques pour les installations extérieures...

Ces procédés peuvent être classés en sept grandes catégories en fonction de leur utilisation :

- le broyage, le concassage, le compactage et le mélange,
- le triage (le criblage, le tamisage...),
- la pesée et l'échantillonnage,
- le transport (bandes transporteuses, élévateurs à vis et à godets...),
- le chargement,
- le conditionnement et le déconditionnement (ensachage, vidange d'un sac...),
- le nettoyage.

4.1 Le broyage, le concassage, le compactage et le mélange

Des émissions importantes de poussières peuvent survenir aux points d'alimentation des appareils et aux points de sortie des produits broyés, concasés, compactés ou mélangés.

Deux types d'équipements peuvent être rencontrés : « en ligne » (alimentation continue en matériaux) ou « hors ligne » (alimentation en matériaux par lots ou « batchs »). Ces équipements peuvent être fermés ou ouverts.

Il est recommandé, quel que soit le procédé utilisé, de confiner le plus possible la zone d'émission des poussières et de mettre en dépression l'équipement de manière à assurer des vitesses d'aspiration suffisantes au niveau des ouvertures.

L'installation doit être conçue de telle sorte qu'aucune projection émanant du procédé ne puisse se faire en direction des ouvertures (carter, déflecteur...). Dans ces conditions, une vitesse d'aspiration de 1 m/s dans les ouvertures est préconisée.

Il est, par ailleurs, recommandé d'assurer un temps de temporisation avant l'ouverture d'un équipement « hors ligne » afin de permettre l'assainissement

de son volume interne. En pratique, le temps (en secondes) nécessaire pour réduire d'un facteur 100 la concentration en poussières initialement présente dans l'équipement est égal à $5V/Q$; (V) étant le volume intérieur de l'équipement en m^3 et (Q) le débit d'aspiration utilisé en m^3/s .

Les petits équipements doivent préférentiellement être implantés dans une sorbonne ou sous un dispositif de captage enveloppant équivalent.

4.2 Le triage

Le criblage de produits friables engendre des poussières qu'il faut éliminer par encoffrement total de l'ensemble des surfaces ouvertes (trémie d'alimentation, chute de matières...). Une vitesse de 1 m/s dans les ouvertures doit être respectée.

Les captages aux points de chute des produits criblés sur les bandes transporteuses ou dans les trémies se traitent comme dans le cas du transport mécanique (voir § 4.4 « Le transport »).

4.3 La pesée et l'échantillonnage

Les opérations de pesée sont susceptibles de générer des poussières, principalement lors :

- de l'ouverture et de la manutention des contenants (bacs, sacs...) de matériaux pulvérulents,
- du prélèvement éventuel (échantillonnage) de matériaux pulvérulents,
- de la dépose de matériaux pulvérulents sur la balance,
- de la fermeture et de la manutention des contenants, en particulier les sacs,
- du stockage éventuel des contenants entamés,
- de la mise à la poubelle des contenants et emballages souillés (remise en suspension des poussières),
- du nettoyage du poste.

Il est préconisé de mettre en place une enceinte ventilée et, plus précisément, un caisson aspirant (dispositif de captage enveloppant) lors



■ Pesée de petites quantités de poudre dans une sorbonne de laboratoire

de la pesée et de l'échantillonnage de matériaux pulvérulents.

La conception du caisson doit être intégrée dans une démarche globale d'organisation du poste de travail visant à limiter les expositions des opérateurs et les manutentions en aval et en amont de la pesée (étape de stockage des matériaux pulvérulents comprise).

Le dispositif doit être adapté à la configuration de l'opération et doit être conçu afin de limiter les sollicitations physiques des opérateurs. Il enveloppe les sources d'émission des polluants presque complètement et dispose d'ouvertures les plus réduites possible (en vue de minimiser le débit d'air aspiré). Il est muni de parois latérales et supérieures rigides et est équipé d'une aspiration en face arrière. Il peut également être pourvu d'une casquette translucide.

Le débit mis en œuvre doit permettre d'assurer une vitesse d'air moyenne dans les ouvertures du caisson qui ne doit pas être inférieure à 0,5 m/s et aucun point ne doit être inférieur à 0,4 m/s.

■ Les dispositifs de captage à la source

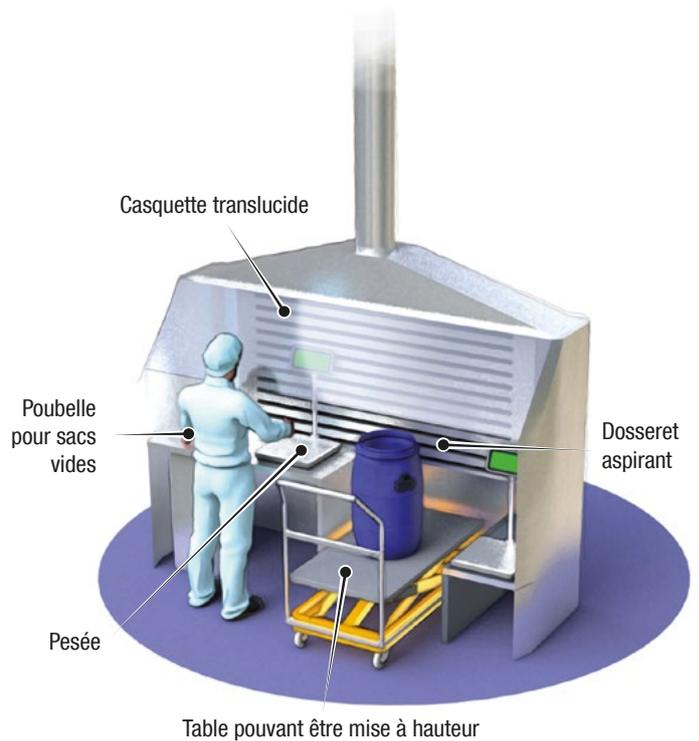
En fonction des contraintes dimensionnelles du procédé, des lanières peuvent être utilisées en remplacement des parois latérales.

L'intégration dans le caisson d'une poubelle, notamment pour les contenants de matériaux pulvérulents vides, est recommandée (voir figure 2). Dans le cas où une poubelle ne peut être installée dans le caisson, une poubelle ventilée doit être mise en place à proximité immédiate. Il convient également de prévoir un système d'aspiration pour le nettoyage du poste de pesée.

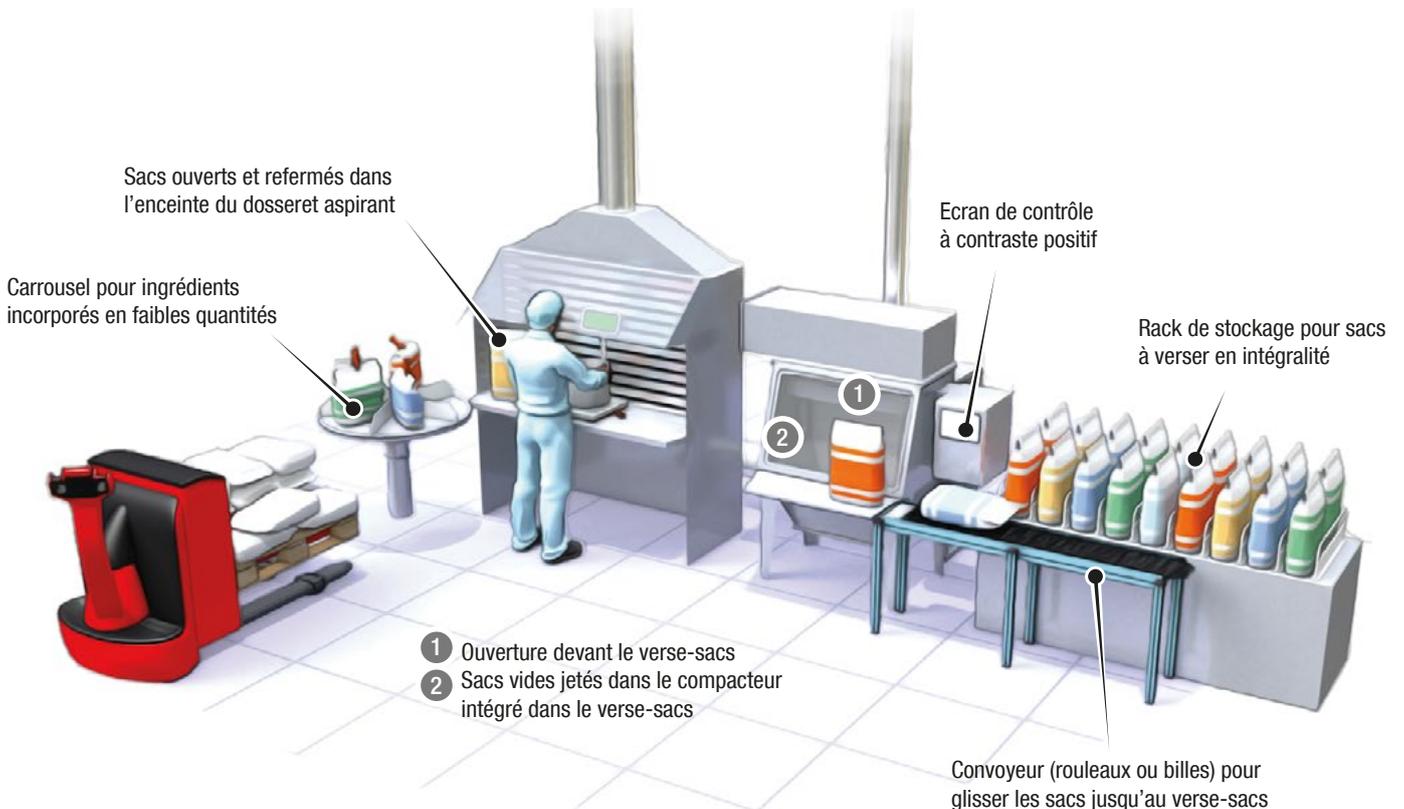
Le système de ventilation doit être installé de manière à ne pas engendrer de phénomène vibratoire susceptible de perturber la pesée (désolidarisation du ventilateur de la structure du local, montage du ventilateur sur des plots anti-vibratoires...). Il est également possible de mettre en place un carrousel à la place de la table élévatrice pour un nombre de produits importants (voir figure 3).

Les très grandes quantités peuvent être pesées dans des caissons aspirants de dimensions adaptées et munis d'une balance posée à même le sol.

Les petites quantités peuvent être pesées ou échantillonnées dans une sorbonne de laboratoire.



■ Figure 2 – Schéma d'un caisson aspirant muni d'une poubelle et d'une table élévatrice (le visage de l'opérateur se situe au-dessus de la casquette translucide)



■ Figure 3 – Schéma d'un caisson aspirant intégrant un carrousel de matériaux pulvérulents (le visage de l'opérateur se situe au-dessus de la casquette translucide)

4.4 Le transport

Il existe différents systèmes permettant le transport des matériaux pulvérulents. Les émissions de poussières se situent généralement aux niveaux de l'alimentation des trémies ainsi qu'aux points de jonction entre deux systèmes de transport. Il faut donc porter une attention particulière à la conception de ces points singuliers où une chute de matière est possible.

La chute par gravité non maîtrisée de poudres est à proscrire. Il convient, de façon générale, d'encoffrer tout système de transport de matériaux pulvérulents et de maintenir cet encoffrement en dépression par rapport à l'environnement de travail grâce à son raccordement à un réseau d'aspiration.

4.4.1 Le transport pneumatique

Plusieurs dispositifs de transport pneumatique peuvent être distingués :

- les systèmes de vrac pulsé ou à lit « fluidisé » (aéroglossière), permettant le transfert de produits pulvérulents avec des débits de matière importants,
- les systèmes dits « de transport pneumatique en phase dense », permettant de convoier des produits dans des canalisations à vitesse plus réduite mais en quantités plus importantes : des buses réinjectent de l'air comprimé en des points choisis de la canalisation de transport dès lors que la pression tombe en dessous d'une certaine valeur. Ces systèmes provoquent moins d'usure des canalisations et moins de fragmentation des produits.

Ces dispositifs de transport pneumatique sont fermés. Néanmoins, dès lors qu'ils sont en surpression, il convient de demeurer vigilant quant aux fuites qui peuvent survenir, notamment avec le vieillissement des installations.

4.4.2 Le transport mécanique

Le transport par vis

Le transport par vis s'effectue par des canalisations ou des conduites dans lesquelles le produit est déplacé par le mouvement d'un rotor en forme

de vis d'Archimède ou d'une spirale. Il a l'avantage de limiter les mouvements d'air et la remise en suspension des poussières, en raison de la faible vitesse du rotor. Il est nécessaire, comme pour le transport pneumatique, de rester attentif aux fuites qui peuvent apparaître avec le vieillissement de l'installation.

Le transport à bandes, à godets et à chaînes

Une bande de transport non capotée présente l'inconvénient de véhiculer le produit à l'air libre, ce qui est susceptible de favoriser sa dispersion, notamment par les courants d'air. Il est donc préconisé d'encoffrer les bandes de transport et de maintenir cet encoffrement en dépression par rapport à l'environnement de travail grâce à son raccordement à un réseau d'aspiration.

Le transporteur à bande horizontale doit être encoffré sur toute sa longueur et être mis en légère dépression pour éviter l'émission de poussières. Les débits d'air extrait à prévoir sont fonction de la section de l'encoffrement (S) et de la vitesse du transporteur (V) ; (S) correspondant à l'aire de la section transversale encoffrée du convoyeur qui est libre de produits transportés (c'est-à-dire située entre les produits convoyés et l'encoffrement).

Il est conseillé d'installer un point de captage tous les 10 mètres afin de compenser les défauts d'étanchéité de l'encoffrement, assurant pour chacun d'eux un débit d'air : $Q = S \times V$.

Exemple : pour une bande de transport ayant une vitesse de 2 m/s et une section de 0,2 m², le débit d'aspiration doit être supérieur à $0,2 \times 2 \times 3\,600 = 1\,440$ m³/h (tous les 10 m), en tenant compte des éventuelles entrées et sorties pour que l'ensemble soit en dépression.

En complément de la mise en dépression, et afin d'assurer un captage efficace, il est nécessaire d'encoffrer les rouleaux de renvoi aux points de chute sur une longueur comprise entre 2 et 3 mètres. Par ailleurs, la mise en œuvre de racleurs sur le retour de la bande tend à limiter le rejet de matériaux en dehors de l'encoffrement. Les racleurs nécessitent un entretien régulier afin de garantir leur efficacité. Des racleurs sont parfois utilisés en plusieurs points des bandes de

■ Les dispositifs de captage à la source

transport ; un dispositif de captage enveloppant par racleur doit alors être mis en place.

Des versions dans lesquelles le confinement est assuré par la bande transporteuse elle-même sont disponibles sur le marché : celle-ci est repliée sur elle-même pendant la majeure partie de son déplacement et se présente donc sous la forme d'une conduite fermée (par exemple, transporteur à bandes en gouttes d'eau (voir figure 4), transporteur à bandes roulées avec recouvrement des bords, transporteur tubulaire...). Ces systèmes fermés limitent l'émission de poussières dans l'atmosphère au cours du transport.

Dans le cas d'un élévateur à godets, généralement entièrement encoffré afin d'éviter l'émission de poussières, le débit d'air au point haut de l'élévateur est fonction de sa capacité. Il doit être tel que la vitesse d'air dans les ouvertures soit de 0,75 à 1 m/s, selon la vitesse de l'élévateur.

4.5 Le chargement

Les opérations suivantes sont considérées comme un chargement : l'alimentation d'un transporteur ou d'une trémie, le passage d'un transporteur à un autre, le déversement, le remplissage d'une cuve...

Quelle que soit l'opération, la chute par gravité non maîtrisée (chute libre) de poudres aux points de jonction est à proscrire. La maîtrise des écoulements peut s'effectuer via, par exemple, des glissières, des goulottes ou des collecteurs pour concentrer et désaérer le flux de matière. Un encoffrement des points de jonction doit systématiquement être envisagé par la mise en place de cloisons souples ou rigides. Cet encoffrement doit être muni d'un captage localisé. Le débit mis en œuvre doit permettre d'obtenir une vitesse d'air moyenne dans les ouvertures supérieure ou égale à 0,5 m/s, en tenant compte de la chasse d'air liée au déplacement du produit.

Lors du chargement de matériaux pulvérulents, la mise en place d'une enceinte ventilée, et plus précisément d'un caisson aspirant (dispositif de captage enveloppant), doit être privilégiée. Le caisson doit être adapté à la configuration de l'opération. Il enveloppe la source d'émission des poussières



■ Figure 4 – Coupes schématiques de transporteur avec bandes en gouttes d'eau



■ Mise en place d'une goulotte dépliant sur un silo

presque complètement et dispose d'ouvertures les plus réduites possible (afin de minimiser le débit d'air aspiré). Il est muni de parois latérales et supérieures, rigides de préférence, et est équipé d'une aspiration en face arrière.

Le débit mis en œuvre permet d'assurer une vitesse d'air moyenne dans les ouvertures du caisson qui ne doit pas être inférieure à 0,5 m/s et aucun point ne doit être inférieur à 0,4 m/s.

En fonction des contraintes dimensionnelles du procédé, des lanières peuvent être utilisées en remplacement des parois latérales. Si un caisson aspirant ne peut être techniquement mis en œuvre, il est recommandé d'utiliser un dosseret aspirant.

L'anneau aspirant peut également constituer une solution pour le chargement et le transfert de matériaux pulvérulents. Il s'agit d'un dispositif de captage circulaire qui entoure l'ouverture du volume dans lequel se trouve la zone d'émission des particules (cuve, trémie, fût, récipient...).

Des orifices d'aspiration de débits identiques sont disposés sur un cercle autour de la source de pollution. Deux zones sont limitées :

- une zone polluée où se situent la zone d'émission des poussières et, éventuellement, les mains de l'opérateur,



© Gael Kerbaol/INRS/2013

■ Poste de chargement manuel de poudres muni d'un demi-anneau aspirant

Exemples de dispositifs de captage mis en place en entreprise lors du chargement de matériaux pulvérulents

Le chargement manuel de sacs

L'entreprise reçoit les rebuts de fabrication des industries du plastique en vue de leur recyclage. Les salariés sont amenés à trier, regrouper et broyer ces déchets afin de les remettre dans le circuit de production, en tant que matière première. Le broyage des rebuts conduit à la mise en sacs de copeaux et de poussières par le biais d'un réseau de transport par bandes ou d'un chargement manuel. Cette opération expose les opérateurs aux émissions de poussières lors du déversement.

L'aspiration des poussières émises a été réalisée au moyen d'anneaux aspirants, munis d'une fente de 3 cm d'épaisseur sur l'ensemble de leur circonférence intérieure. Ces dispositifs sont amovibles de manière à faciliter la maintenance et le nettoyage des trémies. Ils sont reliés à une aspiration par des conduits souples. Le débit de chaque anneau est d'environ 850 m³/h. La vitesse au centre des anneaux est de 0,8 m/s.

Le remplissage d'un mélangeur

L'entreprise formule des produits pharmaceutiques. De nombreuses substances, notamment sous forme de poudres, sont incorporées dans un mélangeur puis sont conditionnées dans des flacons. Parmi les produits mis en œuvre, certains sont classés toxiques, irritants ou inflammables. Les poudres utilisées sont particulièrement pulvérulentes. Le fonctionnement par lots n'impliquant pas la présence permanente d'un opérateur, l'exposition aux poussières n'est effective que lors des opérations de remplissage du mélangeur.

L'aspiration des poussières générées a été réalisée au moyen d'une gaine souple connectée à un demi-dôme s'insérant par-dessus l'ouverture de la trémie. Ce demi-dôme a été confectionné en résine thermodurcissable afin d'être le plus léger possible, et donc très facilement manipulable au regard de l'étroitesse et de la situation en hauteur du poste de travail (au-dessus du mélangeur). Il doit, par ailleurs, être systématiquement ôté en fin de production afin de nettoyer les équipements. La vitesse d'aspiration dans le plan d'ouverture du demi-dôme est de 0,6 m/s, pour un débit de 1 100 m³/h.

– une zone propre où se situent les voies respiratoires de l'opérateur.

L'air aspiré par les orifices forme une sorte de couvercle immatériel sur l'opération polluante. La forme des filets d'air ainsi créés est telle que les polluants se trouvent canalisés vers les orifices d'aspiration par des courants d'air de vitesse élevée. La taille de l'anneau, le nombre et les dimensions des orifices (trous ou fentes) ainsi que la vitesse et le débit d'air doivent être adaptés au procédé de travail et à la nature du matériau pulvérulent. Ce dispositif de captage est sensible aux courants d'air latéraux ; la mise en place d'une rehausse peut permettre de remédier à ces perturbations et améliorer l'efficacité d'aspiration.

La gestion des emballages vides souillés est une source de pollution (voir § 4.6 « Le conditionnement et le déconditionnement »).

4.6 Le conditionnement et le déconditionnement

Les matériaux pulvérulents stockés dans les trémies sont ensuite généralement conditionnés en sacs ou en paquets.

Ces opérations génèrent des poussières qu'il convient d'éliminer pour assainir l'atmosphère du poste de travail et éviter les pertes de produits finis. Sont considérées ici toutes les opérations d'emballage, d'ensachage, de désensachage et de compactage des sacs.

En plus des solutions de captage décrites pour le chargement des matériaux pulvérulents (voir § 4.5 « Le chargement »), d'autres dispositifs peuvent être mis en place.

4.6.1 La canne poreuse

L'ensachage implique une rapidité de mouvement du matériau pulvérulent, un changement de forme géométrique de la masse du matériau pulvérulent, voire du contenant, ainsi qu'un effet de chasse de cette masse en mouvement qui pousse l'air devant elle en pénétrant dans le sac.

Un désaéragé du matériau pulvérulent peut être effectué pendant le remplissage des contenants.

■ Le bras aspirant

Le captage effectué à l'aide d'un bras orientable ou articulé (dispositif de captage inducteur) nécessite systématiquement l'intervention de l'opérateur pour positionner correctement le dispositif. En effet, lorsque le bras est trop proche du procédé, le matériau pulvérulent peut être aspiré ; à l'inverse, son efficacité décroît très rapidement avec son éloignement. En pratique, positionné au-delà d'approximativement 20 cm de la source d'émission des poussières, le bras n'est plus efficace. De plus, l'efficacité d'aspiration est très sensible aux courants d'air.

Du fait de ces limites et contraintes, il est généralement difficile de garantir une vitesse de captage satisfaisante. Ce dispositif de captage est donc généralement à proscrire lors du chargement de matériaux pulvérulents.

L'opération consiste à introduire dans le contenant, avant la chute du matériau pulvérulent, une canne poreuse. Mise en dépression, cette canne va aspirer l'air contenu dans le produit. L'effet de chasse (le matériau pulvérulent en mouvement pousse l'air devant lui en pénétrant dans le contenant) est évité et l'émission de poussières est très réduite.



© Cramif/2021

■ Canne d'aspiration placée dans une cuve de matériaux pulvérulents

4.6.2 La chambre de décompression

Le remplissage a lieu par un tube vertical traversant une chambre de décompression de volume suffisant et mise en légère dépression.

La chasse de l'air s'effectue dans ce volume fermé où un faible débit d'aspiration suffit pour éliminer les poussières qui s'y trouvent et les empêcher de se disperser dans l'atmosphère de travail.

4.6.3 Le dispositif de mise à l'air

Le dispositif de mise à l'air à la pression atmosphérique permet de canaliser l'air chassé par l'introduction du matériau pulvérulent dans un contenant. En sortie de dispositif de mise à l'air, le raccordement à un dispositif de captage permet d'éviter le dégagement de l'air pollué dans le local de travail. Ce captage peut être connecté à un système de dépoussiérage ou relié au procédé (fonctionnement en circuit fermé).

Il convient d'éviter que le captage mette le contenant en dépression. À cette fin, une entrée d'air additionnelle peut être aménagée via, par exemple, le raccordement indirect du captage au contenant. Le captage est réalisé de manière à aspirer un débit d'air toujours supérieur au débit d'air pouvant être chassé. L'air capté provient alors, pour partie, de l'environnement de travail et, pour partie, de l'air pollué chassé hors du contenant ; l'équilibrage se faisant naturellement avec la garantie de capter la totalité de l'air pollué sans mettre en dépression le contenant.

■ La gestion des emballages

La gestion des emballages souples souillés induit un empoussiérement important lors de leur compactage et de leur mise en déchet. Afin d'éviter leur déplacement et leur stockage temporaire, il est préconisé de compacter et de collecter ces emballages dans une poubelle ou tout autre dispositif de collecte ventilé et intégré au poste de travail. Idéalement, à la conception, l'installation de captage doit être dimensionnée de manière à intégrer les opérations de gestion des emballages.

4.7 Le nettoyage

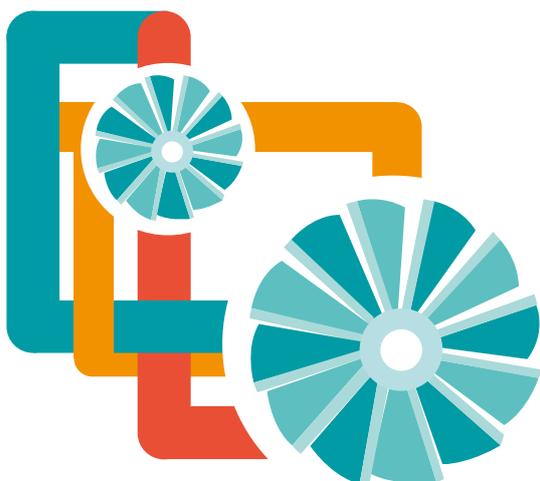
Le nettoyage permet de limiter la pollution résiduelle de l'atelier par remise en suspension des poussières déposées sur le sol, le mobilier et les équipements de travail. Les opérations d'entretien, de maintenance ou de réparation peuvent, par ailleurs, conduire à des déversements ponctuels de matériaux pulvérulents en divers points de l'atelier. Il convient donc de procéder à un nettoyage régulier du local de travail afin de limiter l'accumulation de poussières sur le sol et les surfaces.

Pour les installations développées en hauteur avec plusieurs niveaux de passerelles, l'usage d'un aspirateur industriel portable est souvent compliqué et demande de tels efforts de manutention que le nettoyage est fréquemment omis.

Une alternative efficace à l'aspirateur industriel consiste à installer un système d'aspiration haute dépression centralisé desservant chaque poste de travail. Les prises pour le nettoyage doivent être disposées de manière à atteindre tout point d'un étage ou d'une plate-forme à l'aide des flexibles disponibles. Il convient de déterminer au préalable (lors de la rédaction du cahier des charges du système) la quantité et la localisation des prises, ainsi que le nombre d'utilisateurs simultanés.

Le réseau haute dépression peut également permettre le raccordement de matériels de nettoyage des sols et des vêtements tels que les balayettes aspirantes.

L'emploi du balai ou de la soufflette est à proscrire (y compris pour le nettoyage des vêtements) : ils remettent les poussières en suspension et génèrent une exposition significative des opérateurs. L'utilisation de la soufflette induit, de surcroît, des nuisances sonores.



5. L'apport d'air de compensation

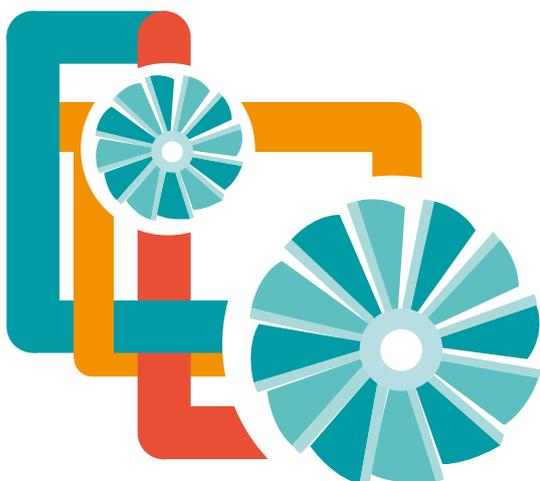
L'air extrait par les systèmes de ventilation locale et générale doit être compensé par des apports d'air neuf afin :

- d'assurer l'efficacité des systèmes de ventilation : un dimensionnement inadapté des entrées d'air entraîne un accroissement de perte de charge d'où une diminution des débits et une perte d'efficacité des dispositifs de captage,
- d'éviter que l'air provenant des zones polluées soit entraîné dans les zones propres,
- d'éviter les courants d'air qui entraînent :
 - une perte d'efficacité des dispositifs de captage à la source,
 - une dispersion des poussières dans le local de travail,
 - un inconfort thermique des salariés, pouvant inciter à l'arrêt des installations de ventilation.

Une introduction mécanique de l'air est recommandée. Cette disposition permet d'assurer le traitement de l'air introduit, en contrôlant sa propreté (par filtration), sa température ainsi qu'éventuellement son humidité et sa répartition dans l'atelier. L'air neuf doit être pris à l'extérieur des locaux, dans une zone éloignée de l'air pollué rejeté.

La surface d'introduction d'air doit être suffisante pour induire des vitesses d'air de soufflage inférieures aux vitesses de captage. L'utilisation de dispositifs de diffusion d'air à basse vitesse, tels que des gaines à surface poreuse, doit être privilégiée.

Dans la plupart des cas, le débit d'arrivée d'air est prévu égal au débit d'extraction d'air de tous les systèmes existants dans le local de travail, auquel sont ajoutés les débits d'air nécessaires aux procédés et aux appareils de combustion.



6. Le transport et le traitement de l'air

La conception d'un réseau de transport de l'air permet l'évacuation vers l'extérieur de l'air pollué. Elle est donc réalisée en tenant compte de différents facteurs tels que la vitesse de l'air dans les conduits, les pertes de charge et le bruit.

6.1 Le réseau de transport

Une étude préalable à la mise en place d'un réseau de ventilation, comprenant un calcul de la perte de charge de l'installation (réseau et capteurs) et un équilibrage, doit être réalisée par l'installateur.

6.1.1 La vitesse de transport

Quel que soit le type de réseau de ventilation employé, et suivant les débits mis en œuvre, il est indispensable de dimensionner correctement les conduits afin d'éviter une sédimentation des poussières et un bouchage qui, à terme, seraient préjudiciables au bon fonctionnement de l'installation, voire dangereux (effondrement des conduits, formation d'une atmosphère explosive, incendie...). La vitesse de transport est donc un facteur essentiel pour les réseaux d'évacuation de l'air contenant des poussières. Elle doit être d'autant plus élevée que les poussières sont de masse volumique et de dimensions importantes.

Une vitesse de transport minimale doit être maintenue dans l'ensemble du réseau pour les poussières (voir tableau 3).

Tableau 3. Gamme des valeurs minimales des vitesses de transport d'air pollué dans les conduits [1].

Types de polluants	Exemples	Vitesse minimale (m/s)
Fumées	Fumées d'oxydes de zinc et d'aluminium	7 à 10
Poussières très fines et légères	Peluches très fines de coton	10 à 13
Poussières sèches et poudres	Poussières fines de caoutchouc et de moulage de bakélite ; peluche de jute ; poussières de coton et de savon	13 à 18
Poussières industrielles moyennes	Abrasif de ponçage à sec ; poussières de meulage ; poussières de jute et de granit ; coupage de briques ; poussières d'argile et de calcaire	18 à 20
Poussières lourdes	Poussières de tonneaux de désablage, de décochage, de sablage et d'alésage de fonte	20 à 23
Poussières lourdes ou humides	Poussières de ciment humide, de découpe de tuyaux en fibres-ciment et de chaux vive	> 23

6.1.2 L'équilibrage

Tout réseau doit faire l'objet d'un équilibrage des débits d'air, nécessitant des compétences spécifiques. Cet équilibrage doit être revu à chaque évolution du réseau.

6.1.3 Les pertes de charge

L'air s'écoulant dans une canalisation subit une baisse de pression appelée perte de charge.

Cette perte de charge est due aux dispositifs de captage, aux frottements le long des parois des conduits et à la configuration du réseau (coudes, raccords, filtres...) ; elle est proportionnelle au carré de la vitesse d'écoulement.

L'emploi de tuyaux annelés est à limiter en raison des pertes de charge élevées qu'ils induisent et de leur fragilité. Il convient de privilégier les conduits lisses, rigides et antistatiques (non résistifs) afin de limiter les dépôts.

6.1.4 Le bruit

L'écoulement de l'air dans un réseau de ventilation est générateur de bruit (plus la vitesse de transport de l'air est élevée, plus le niveau sonore est important).

Afin de réduire le bruit, il est possible d'installer des silencieux en aval des postes de travail et en amont du groupe d'aspiration. De même, il convient de choisir des bouches de forme pavillonnaire ou conique afin de limiter le bruit provoqué par le passage de l'air.

Les extracteurs (turbines et ventilateurs) et les installations de ventilation, toujours générateurs de bruit, doivent être disposés dans une zone dédiée et isolée des locaux de travail et reliés au réseau par des manchons souples. Ce local technique peut également recevoir les autres équipements de travail bruyants tels que les compresseurs d'air. Il doit être muni d'une ventilation générale qui permettra sa mise en dépression par rapport aux autres locaux ainsi que l'évacuation des calories. En fonction de la localisation de ce local technique, il peut s'avérer nécessaire de l'isoler acoustiquement et de l'insonoriser.

Le niveau sonore induit par l'installation de ventilation ne doit pas être source d'inconfort pour les opérateurs. Il ne doit pas augmenter de plus de 10 dB(A) le niveau sonore ambiant quand l'installation de ventilation est à l'arrêt. Le niveau sonore au poste de travail ne doit en aucun cas excéder 75 dB(A).

L'hygroscopicité des matériaux pulvérulents

Certaines poudres sont particulièrement hygroscopiques. Une attention particulière doit alors être portée à la conception du réseau de transport. En effet, un phénomène de condensation de la vapeur d'eau dans les gaines peut survenir, notamment lorsque les poussières passent d'une zone tempérée à une zone froide. Elles se chargent alors en humidité et provoquent un encrassement des conduits, voire une obturation.

Afin de limiter ce phénomène, il est recommandé d'isoler thermiquement le réseau de transport (voire de le chauffer), d'installer des trappes après les obstacles significatifs et de le nettoyer annuellement (le nettoyage peut être réalisé en même temps que la vérification aéraulique).

6.2 Le traitement de l'air pollué

6.2.1 Le rejet de l'air à l'extérieur

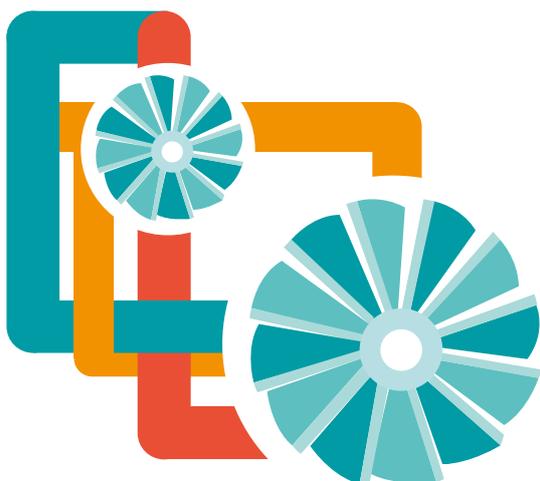
Le procédé d'assainissement de l'air des locaux offrant les meilleures garanties de sécurité est le rejet de l'air chargé de poussières à l'extérieur. Il évacue directement les poussières en dehors des locaux de travail au fur et à mesure de leur production et de leur captage. Le rejet doit s'effectuer à l'écart des zones d'entrée d'air neuf et des ouvrants du bâtiment. Il peut être accompagné d'une récupération d'énergie.

L'air doit par ailleurs être filtré avant son rejet à l'extérieur de l'atelier (il convient de se conformer aux contraintes environnementales en vigueur).

6.2.2 Le recyclage de l'air après filtration

Le recyclage consiste à capter l'air pollué, à l'assainir par un traitement approprié et à le réintroduire dans le local de travail (réintroduction de l'air épuré).

L'utilisation du recyclage est soumise à des conditions très restrictives limitant son domaine d'application [6]. Le recyclage doit être proscrit pour respecter les exigences de prévention.



7. Le contrôle et la maintenance d'une installation de ventilation

Pour maintenir son efficacité dans le temps, une installation de ventilation doit être correctement réceptionnée et régulièrement entretenue. Elle doit faire l'objet de contrôles périodiques [11].

L'installation doit, en outre, permettre d'accéder en toute sécurité à l'ensemble des éléments nécessitant une maintenance fréquente (il est, par exemple, recommandé de placer les ventilateurs au sol).

La réglementation impose au chef d'établissement la constitution et la mise à jour d'un dossier pour chaque installation [6]. Ce dossier doit comporter, d'une part, la notice d'instructions incluant le descriptif de l'installation et les valeurs aérauliques de référence et, d'autre part, la consigne d'utilisation comprenant, en particulier, le dossier de maintenance (recueil des opérations d'entretien, résultats des contrôles périodiques...).

7.1 La réception de l'installation

Au plus tard un mois après sa mise en service, l'installation de ventilation doit être caractérisée par des valeurs aérauliques de référence qui seront mesurées dans les conditions nominales

et minimales de fonctionnement. Celles-ci constituent les valeurs réputées satisfaisantes pour le bon fonctionnement de l'installation. Elles servent de base à l'entretien de l'installation et au contrôle de son efficacité.

Pour les installations existantes, le dossier de valeurs aérauliques de référence peut être constitué à partir des résultats des premiers contrôles périodiques réalisés.

La description de l'installation et les valeurs aérauliques de référence doivent comporter les éléments suivants :

- les caractéristiques détaillées des éléments constituant l'installation (nombre de dispositifs de captage, caractéristiques du ou des ventilateurs, type et caractéristiques de l'introduction d'air...),
- les configurations dans lesquelles les tests ont été réalisés (quels procédés étaient en fonctionnement en même temps),
- les débits, les pressions statiques ou les vitesses d'air pour chaque dispositif de captage,
- les vitesses d'air dans les ouvertures ou au point d'émission des polluants,
- les essais au fumigène pour vérifier qualitativement les flux d'air,
- le débit global d'air extrait,
- les caractéristiques des systèmes de surveillance,
- les consignes à appliquer en cas de panne ou de dysfonctionnement.

7.2 La maintenance de l'installation

La fréquence des opérations de maintenance (nettoyage des dispositifs de captage, purge des conduits, changement des filtres des épurateurs, nettoyage des épurateurs...) doit être définie par le chef d'entreprise en concertation avec le fournisseur de l'installation de ventilation.

Les travaux réalisés et leur date d'exécution doivent être consignés dans le dossier de maintenance.

à l'entreprise), dans les mêmes configurations que celles définies lors de la mesure des valeurs de référence :

- l'examen visuel de l'état de tous les éléments de l'installation,
- la mesure du débit global d'air extrait par l'installation,
- la mesure des pressions statiques et des vitesses d'air dans les conduits,
- la mesure des vitesses dans les ouvertures ou au point d'émission des polluants.

Pour les installations avec recyclage de l'air dans les locaux de travail, des contrôles supplémentaires sont réglementairement requis.

L'ensemble des contrôles permet de s'assurer que les valeurs aérauliques de référence sont toujours respectées. Ils doivent être consignés dans le dossier de maintenance.

Chaque modification du réseau devra être suivie d'un nouveau contrôle de l'installation de ventilation, afin d'obtenir les valeurs de référence des parties modifiées et de vérifier la non-dégradation des performances des parties du réseau qui n'ont pas évolué.

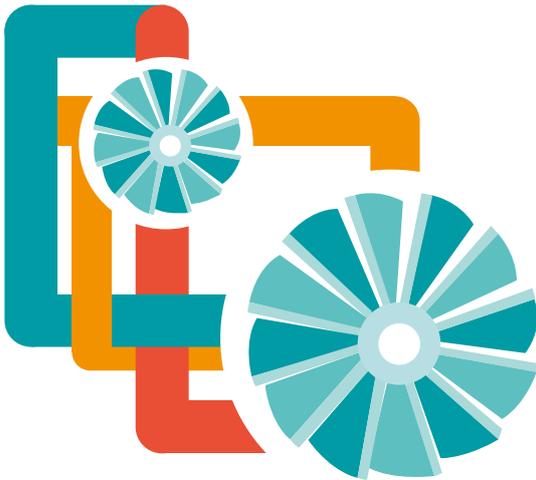
7.3 Les contrôles périodiques

Les contrôles annuels suivants doivent être réalisés par un technicien qualifié (appartenant ou non

■ Le dépoussiérage

Différents équipements de dépoussiérage existent, parmi lesquels :

- **Les filtres à manches** : ils sont constitués d'un caisson fermé à sa base par une trémie dans lequel sont suspendues des manches filtrantes ouvertes à une extrémité. Ils permettent d'atteindre une bonne efficacité de filtration, notamment vis-à-vis des particules les plus fines. Le colmatage des manches réduit l'efficacité du réseau de captage. Des systèmes de décolmatage existent (injection d'air comprimé, secouage, vibration...). De même, des dispositifs de détection d'encrassement permettent d'alerter lorsque les filtres sont saturés. Enfin, la mise en place d'une sonde triboélectrique sur la gaine de rejet permet de prévenir d'un éventuel percement d'une manche. Les filtres à manches nécessitent ainsi une maintenance et une surveillance régulières.
- **Les cyclones** : ce sont des épurateurs utilisant la force centrifuge pour séparer les poussières. Il s'agit de dispositifs simples avec des coûts d'installation et de fonctionnement plus faibles que les filtres à manches. En revanche, ils ne sont pas adaptés pour les poussières fines ou de faible densité et leur rendement n'est optimal qu'à un débit fixe dépendant de leurs dimensions.



8. Les dossiers techniques

8.1 Le transfert de matériaux pulvérulents dans une citerne, une benne ou un espace de stockage

Contexte

L'entreprise fabrique des matériaux pulvérulents. Parmi les opérations effectuées, l'une d'elles consiste à transférer ces poudres depuis un conteneur de produits en vrac dans une citerne de camion, ou dans une benne tractée, ou encore dans un espace de stockage temporaire.

Ce type de travaux est particulièrement générateur de poussières du fait de l'expulsion de l'air à plus ou moins forte pression par les trous d'homme laissés ouverts au sommet de la citerne ou par toute la surface de la benne ou du lieu de stockage.

Le système de captage mis au point est différent pour les deux cas de figure.

Solutions de captage à la source mises en place

1. Le captage sur la citerne

Le matériau pulvérulent est chargé par gravité depuis le silo via une trémie télescopique permettant une connexion au plus près de l'ouverture de la citerne. Entourant cette connectique, une seconde enveloppe cylindrique est mise en place et reliée au système d'aspiration. Lors de la chute du matériau pulvérulent, l'air expulsé de la citerne, qui entraîne dans sa remontée à l'air libre une partie des poussières introduites, est capté par cette aspiration périphérique ascendante puis est rejeté dans une zone dégagée.

Le calcul du débit d'aspiration doit tenir compte :

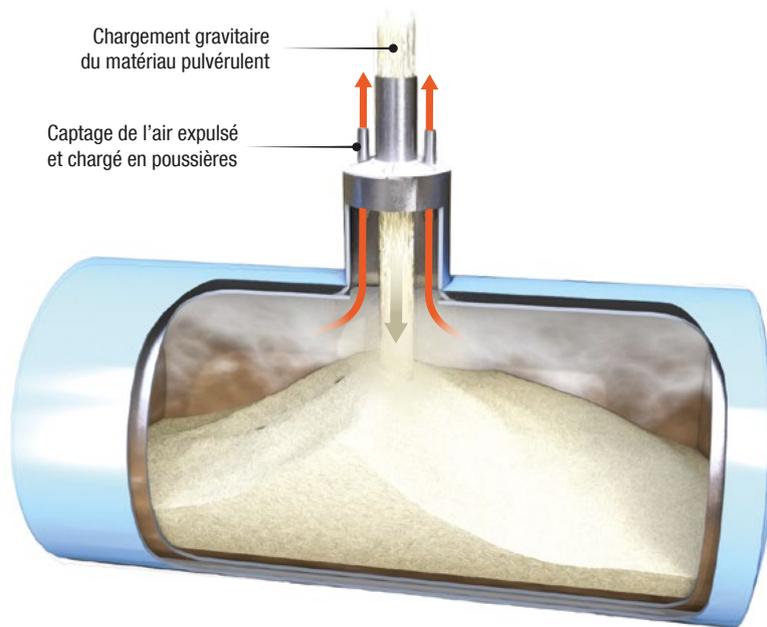
- du volume de la citerne,
- de la vitesse de transfert du matériau pulvérulent,
- de la surface d'aspiration périphérique.

2. Le captage sur la benne ou au niveau de l'espace de stockage

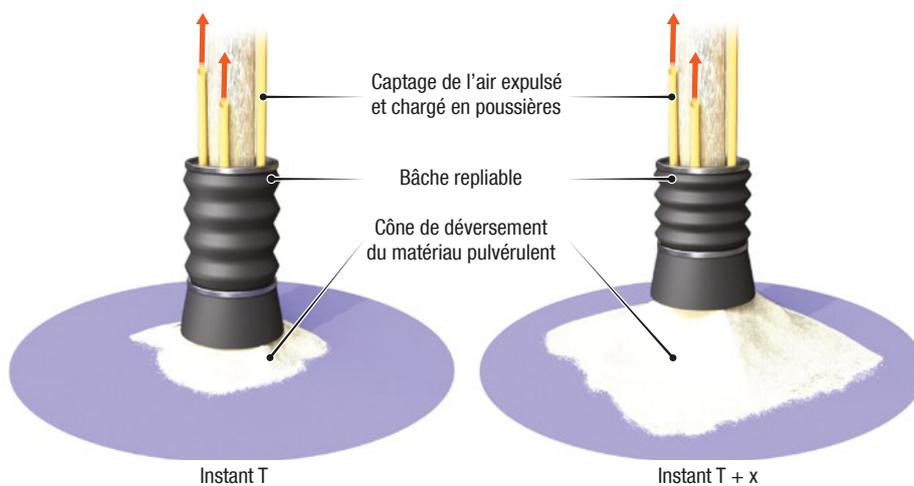
La trémie de décharge, à l'intérieur de la benne ou à même le sol de l'espace de stockage, est entourée d'une bâche souple en accordéon, dans laquelle est réalisé le captage. L'élargissement de la base du cône formé par le déversement du matériau pulvérulent provoque, via des capteurs, la remontée et le repliement progressifs de la bâche.

Cette adaptation progressive du dispositif de décharge et de captage permet de capter en permanence au plus près du sommet du cône de déchargement où se produisent les émissions de poussières.

Le débit d'extraction est calculé en fonction de la section horizontale de la bâche et de la vitesse de transfert du matériau pulvérulent.



■ Schéma de fonctionnement du dispositif de captage sur la citerne



■ Schéma de fonctionnement du dispositif de captage sur la benne ou au niveau de l'espace de stockage

8.2 Le déconditionnement et le transfert de matériaux pulvérulents

Contexte

L'entreprise met en œuvre des poudres céramiques. Le poste de travail consiste à effectuer un transfert manuel de poudres à partir de grands, moyens et petits fûts vers un contenant posé à hauteur de l'opérateur. Le transfert d'un contenant à un autre expose l'opérateur à des poussières.

Solution de captage à la source mise en place

Un caisson aspirant a été réalisé, avec :

- une adaptation de la hauteur de travail,
- une récupération des poussières dans un tiroir,
- un encoffrement protégeant des courants d'air,
- un objectif de vitesse homogène en surface ouverte du caisson de 0,5 m/s.



■ Caisson aspirant

Le caisson mesure 1,65 m de large et 1,95 m de haut. Le plan de travail est à 0,8 m de hauteur. En situation de travail, avec la présence de fûts, la surface ouverte du caisson est d'environ 1,65 m x 1,95 m et le débit utile pour générer 0,5 m/s en surface ouverte est d'environ 5 790 m³/h :

$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = V \text{ (m/s)} \times S \text{ (m}^2\text{)} \times 3\,600$$

$$Q = 0,5 \times (1,65 \times 1,95) \times 3\,600$$

$$Q \sim 5\,791 \text{ m}^3\text{/h}$$

Des fentes d'aspiration sont positionnées au niveau de la manipulation des poussières et disposées sur toute la largeur du caisson afin de répartir les courants d'air générés uniformément dans sa surface ouverte. Afin d'atténuer le bruit généré par le ventilateur, un silencieux a été inséré entre celui-ci et le caisson. Le conduit d'évacuation des polluants sort vers une cheminée.

Ce dispositif peut être amélioré en fixant des lanières souples translucides en façade de l'installation, ce qui permet de réduire la surface ouverte et d'améliorer le captage.



■ Caisson aspirant

8.3 Le déversement de matériaux pulvérulents dans un mélangeur

Contexte

L'entreprise utilise trois mélangeurs. Le préparateur vide des sacs de poudres et de copeaux de résine dans une cuve avec un brassage de la pâte obtenue.

Afin de protéger les opérateurs manipulant le produit ainsi que les personnes travaillant dans l'atelier, le poste de travail a été aménagé comme suit :

- des passerelles d'accès,
- un système de manutention des sacs par aspiration haute dépression sur palan,
- un caisson aspirant englobant la trappe de remplissage du mélangeur,
- une goulotte d'évacuation des sacs vides vers l'ensacheur depuis le caisson,
- un ensacheur automatique des sacs souillés,
- un réseau d'aspiration, avec des cyclones filtrants et un ventilateur intégré.



© Carsat Centre-Ouest/2021

■ Ensemble lève-sacs, caisson vide-sacs, mélangeur, ensacheur



© Carsat Centre-Ouest/2021

■ Poste manuel de vidage des sacs



© Carsat Centre-Ouest/2021

■ Caisson aspirant encadrant la trappe de remplissage

Solution de captage à la source mise en place

Le caisson doit générer une vitesse d'air de 0,5 m/s en façade, empêchant les polluants de sortir de l'enceinte. Les voies respiratoires du préparateur sont ainsi protégées. La dimension de la surface d'ouverture du caisson est de 0,99 m x 0,75 m. Un débit d'air d'environ 1 340 m³/h est alors nécessaire :

$$Q = (m^3/h) = V (m/s) \times S (m^2) \times 3\,600$$

$$Q = 0,5 \times (0,99 \times 0,75) \times 3\,600$$

$$Q \sim 1\,340 \text{ m}^3/h$$

Des fentes d'aspiration sont positionnées au niveau de la manipulation des sacs et disposées sur toute la largeur du caisson pour répartir les courants d'air générés uniformément dans sa surface ouverte (la largeur des fentes est de 20 mm).

Les vitesses d'air sont vérifiées une fois par an, de même que les cyclones nettoyés une fois par an, en raison des propriétés collantes des matériaux pulvérulents mis en œuvre.



© Carsat Centre-Ouest/2021

■ Système intégré d'évacuation des sacs

8.4 La vidange de sacs de matériaux pulvérulents

Contexte

L'entreprise est spécialisée dans l'abattage et la transformation de volailles. Elle a pour projet de mettre en œuvre une solution de captage afin d'éviter la dispersion de poussières dans le local lors du déversement de produits en poudre dans la cuve servant à la préparation de la saumure.

La préparation de la saumure est effectuée dans un local spécifique disposant d'une cuve de

mélange. Le déversement des sacs de matières premières est effectué par un salarié situé sur une plateforme et via un convoyeur permettant la mise à hauteur des sacs. La cuve dispose d'un système de montée et de descente pour pouvoir effectuer la vidange dans des bacs.

Lors du déversement des sacs, une quantité importante de poussières ressort de la cuve et se disperse dans le local et ce malgré la présence d'eau au fond de la cuve. Afin de limiter ce phénomène, des buses d'eau ont, dans un premier temps, été mises en place mais les essais réalisés ne sont pas concluants.

Il a donc été nécessaire de mettre en place un dispositif de captage à la source des poudres.



■ Cuve de mélange en position haute



■ Cuve de mélange en position basse



■ Vidange de la cuve en position haute



■ Cuve de mélange, vue de dessus (depuis la plateforme)

Solution de captage à la source mise en place

Le dispositif d'aspiration devait prendre en considération les contraintes suivantes :

- la présence d'une forte humidité ; le système doit être conçu de manière à éviter un colmatage prématuré des conduits et du système de filtration,
- être facilement nettoyable de manière à limiter au maximum les risques bactériologiques,
- permettre de s'affranchir du risque de contamination croisée en maîtrisant, notamment, le risque de retombées de produits,
- permettre la montée et la descente de la cuve.

Sur la cuve, il a donc été mis en place un caisson aspirant et un réseau d'aspiration équipé d'un dispositif permettant la montée et la descente de la

cuve. Des trappes ont également été installées afin de faciliter le nettoyage des conduits entre chaque recette et éviter les problèmes de contamination croisée.

Ce caisson a une hauteur de 0,8 m et une largeur de 1,02 m (diamètre de la cuve). Il est raccordé à un dépoussiéreur humide. Le débit théorique annoncé est de 2 500 m³/h.



© Carsat Bretagne/2021

■ Caisson aspirant



© Carsat Bretagne/2021

■ Caisson aspirant



© Carsat Bretagne/2021

■ Arrière du caisson avec trappe et système de récupération des poussières pour faciliter le nettoyage et limiter les risques de contamination croisée



© Carsat Bretagne/2021

■ Caisson et cuve de mélange en position haute lors de la vidange dans les bacs

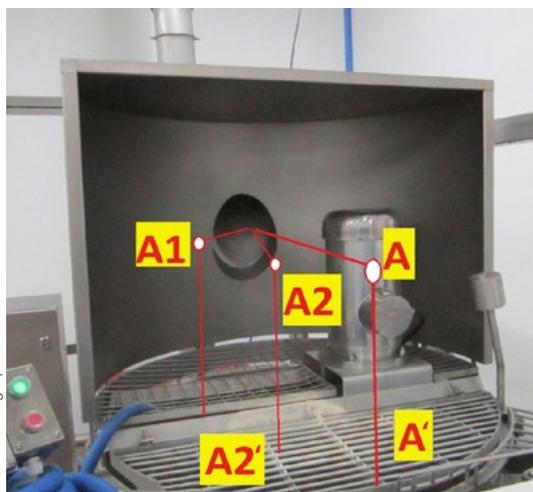
Sur ce type de solution de captage, les objectifs attendus étaient les suivants :

- un captage de l'ensemble des poussières émises avant d'atteindre les voies respiratoires des salariés,
- une vitesse de captage au point d'émission le plus éloigné du caisson (bord de la cuve situé à 46 cm de l'ouverture du caisson) supérieure ou égale à 0,5 m/s,
- un niveau sonore généré par ce système de ventilation, seul en fonctionnement, inférieur à 75 dB(A),
- une vitesse de transport dans les conduits supérieure à 18 m/s.

L'observation visuelle de plusieurs opérations de versement de poudres a montré une bonne efficacité de captage des poussières émises. Cette constatation a été confirmée par les tests au fumigène : l'ensemble des fumées émises au bord de la cuve est capté par le dispositif.

Les résultats des mesures de vitesse de captage figurent dans le tableau suivant :

Point	Détails	Vitesse en m/s (moyenne sur environ 30 s)
A'	À 46 cm du caisson. Au niveau de la grille.	0,35
A	À 46 cm du caisson. À environ 30 cm au-dessus de la grille.	0,25
A2'	À 25 cm du caisson. Au niveau de la grille.	0,44
A2	À 25 cm du caisson. À environ 30 cm au-dessus de la grille.	0,50
A1	Dans la surface d'ouverture du caisson.	Entre 0,4 et 0,7 m/s



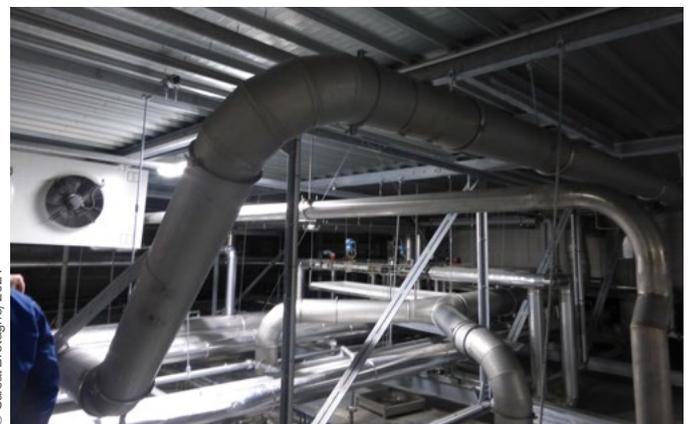
■ Emplacement des points de mesure

Les vitesses de captage mesurées sont inférieures aux valeurs recommandées (0,25 m/s au point le plus éloigné du caisson au lieu de 0,5 m/s). Il a néanmoins été constaté visuellement que la quasi-totalité des poussières émises étaient captées. Il est à noter que le déversement des sacs s'effectue généralement à environ 30 cm du caisson où la vitesse de captage est proche de 0,5 m/s.

Des essais réalisés en simulant la mise en place de parois latérales sur les côtés de la cuve ont permis d'atteindre des vitesses proches de 0,5 m/s au point le plus éloigné. Il a donc été recommandé de mettre en place de telles parois afin de limiter l'influence des courants d'air présents dans le local et de permettre un meilleur captage, notamment lors du secouage des sacs. Ces parois pourraient également être complétées par une casquette.



■ Caisson et cuve de mélange en position haute



■ Réseau avec plusieurs trappes en amont et aval des coudes pour faciliter le nettoyage

8.5 Le remplissage et la pesée de matériaux pulvérulents

Contexte

L'entreprise est spécialisée dans la fabrication de plats préparés. Elle réalise de nombreuses opérations de pesée et de préparation d'épices, génératrices de poussières. Initialement, elle avait pour projet de ne traiter que les postes de pesée où sont préparés les mélanges d'épices. Après une étude du travail réel effectué (via des photographies et des vidéos), il a été montré qu'il convenait également de traiter le remplissage des bacs de matières premières réalisé en début de poste, opération ne durant que quelques minutes mais lors de laquelle la quantité de matières manipulées est égale à la quantité qui sera ensuite traitée tout au long de la journée sur les postes de pesée.

Solutions de captage à la source mises en place

Trois postes de travail ont été équipés :
– le poste de remplissage des bacs de matières premières avec un dosseret aspirant,



■ Poste de remplissage des bacs de matières premières

- le poste de préparation des grosses pesées avec deux dosserets aspirants (l'un pour le bac de matières premières et l'autre, muni de parois latérales, pour la zone de pesée),
- le poste de préparation des petites pesées avec un seul dosseret aspirant muni de parois latérales permettant de traiter à la fois le petit bac de matières premières et le poste de pesée.

L'installation a été conçue de manière à concentrer le débit soit sur le poste de remplissage des bacs de matières premières, soit sur les deux postes de pesées qui sont ventilés en simultanément.



■ Poste dédié aux grosses pesées



■ Poste dédié aux petites pesées

Le débit d'air prévu pour cette installation est de 3 000 m³/h.

Les mesures effectuées lors de la réception de l'installation ont donné les résultats suivants :

- **Le poste de remplissage** des bacs de matières premières : les vitesses mesurées sont comprises entre 0,5 et 0,6 m/s au bord du bac. Même si ces vitesses sont jugées satisfaisantes, il a été demandé de confiner davantage cette zone par la mise en place de parois latérales et d'une casquette afin de limiter le risque de dispersion de poussières lorsque les sacs vides sont repliés.
- **Le poste dédié aux grosses pesées** : la vitesse mesurée au bord du bac de matières premières est de 0,4 m/s pour un objectif de 0,5 m/s. Cette vitesse a été tout de même jugée acceptable en l'absence de courants d'air. La vitesse mesurée au bord du seau à remplir pour la pesée est de 0,3 m/s. Afin de se rapprocher de l'objectif de 0,5 m/s, il a été demandé d'améliorer le confinement de la balance.

- **Le poste dédié aux petites pesées** : la vitesse mesurée est de 0,6 m/s aux points d'émission de poussières les plus éloignés du dossier aspirant.

Le débit total d'aspiration mis en œuvre et mesuré dans le conduit principal lorsque les deux postes de pesée sont en fonctionnement est de 4 000 m³/h.

La filtration de l'air aspiré avant rejet à l'extérieur du bâtiment est assurée par un dépoussiéreur à voie humide présentant une pression disponible de 160 daPa. Ce dispositif permet de répondre aux exigences ATEX en vigueur.

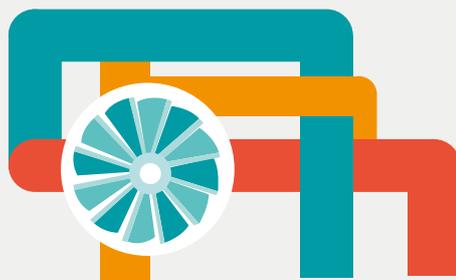
La compensation en air neuf est effectuée via des gaines textiles semi-circulaires de diffusion basses vitesses (gainés poreuses) pour limiter les courants d'air et les phénomènes d'inconfort thermique. Ces gaines sont raccordées à une centrale de traitement d'air qui souffle un débit d'air neuf filtré de 2 500 m³/h afin de maintenir le local en légère dépression.



© Carsat Bretagne/2021

■ Poste dédié aux petites pesées

Bibliographie



- [1] Principes généraux de ventilation. Guide pratique de ventilation. INRS, ED 695
- [2] Tableaux des maladies professionnelles. Base de données INRS, disponible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/mp.html>
- [3] L'explosion d'Atex sur le lieu de travail. INRS, ED 6337
- [4] Les mélanges explosifs. 2. Poussières combustibles. INRS, ED 944
- [5] Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives (Atex). Guide méthodologique. INRS, ED 945
- [6] Aération et assainissement. Aide-mémoire juridique. INRS, TJ 5
- [7] Risques chimiques. Réglementation. Dossier web INRS, disponible sur : <http://www.inrs.fr/risques/chimiques/reglementation.html>
- [8] Agents chimiques CMR. Réglementation. Dossier web INRS, disponible sur : <http://www.inrs.fr/risques/cmr-agents-chimiques/reglementation.html>
- [9] Liste des VLEP françaises. Valeurs limites d'exposition professionnelle établies pour les substances chimiques. INRS, outil 65
- [10] L'assainissement de l'air des locaux de travail. Guide pratique de ventilation. INRS, ED 657
- [11] Le dossier d'installation de ventilation. Guide pratique de ventilation. INRS, ED 6008

Toutes les publications de l'INRS sont téléchargeables sur www.inrs.fr

Pour commander les publications de l'INRS au format papier

Les entreprises du régime général de la Sécurité sociale peuvent se procurer les publications de l'INRS à titre gratuit auprès des services prévention des Carsat/Cramif/CGSS.

Retrouvez leurs coordonnées sur www.inrs.fr/reseau-am

L'INRS propose un service de commande en ligne pour les publications et affiches, payant au-delà de deux documents par commande.

Les entreprises hors régime général de la Sécurité sociale peuvent acheter directement les publications auprès de l'INRS en s'adressant au service diffusion par mail à service.diffusion@inrs.fr

La mise en œuvre, dans de nombreux secteurs industriels, de matériaux pulvérulents et les opérations associées telles que la pesée, le mélange, le transfert... sont susceptibles de mettre en suspension dans l'air des poussières qui peuvent être inhalées par les opérateurs ainsi que par tous les salariés présents sur les lieux de travail. L'exposition à ces poussières peut, selon leur toxicité, conduire au développement de pathologies. Ce guide a pour objectif de fournir des recommandations pour la réduction des émissions ainsi que pour la conception, l'exploitation et l'entretien des installations de ventilation des poussières émises lors de la manipulation de matériaux pulvérulents. Il propose ainsi des dispositifs de captage à la source des poussières adaptés à diverses opérations fréquemment rencontrées en entreprise telles que le concassage, le transport ou le chargement.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail
et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris
Tél. 01 40 44 30 00 • info@inrs.fr

Édition INRS ED 6441

1^{re} édition | août 2021 | 1 000 ex. | ISBN 978-2-7389-2688-3

L'INRS est financé par la Sécurité sociale
Assurance maladie / Risques professionnels

www.inrs.fr   

