

Cabines d'application par projection de peintures en poudre

Cette brochure a été réalisée par un groupe
de travail constitué d'agents des services Prévention des Carsat
et de la Cramif et d'experts INRS.

Elle a été mise à jour par Annabelle Guilleux (INRS).

ED 928 • 2^e édition • octobre 2019

© INRS • ISBN 978-2-7389-2512-1 • Disponible uniquement en version électronique
Mise en pages : Opixido • © Schémas : At. Causse • © Photos : DR

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 • www.inrs.fr • info@inrs.fr

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 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

Sommaire

1. Domaine d'application	4
2. Technologie du poudrage	6
2.1. Généralités.....	6
2.2. Les cabines de poudrage.....	6
3. Rappel des différents risques	6
3.1. Principaux risques	6
3.2. Spécificité des opérations de poudrage	10
4. Assainissement de l'atmosphère des cabines d'application	11
4.1. Principes de ventilation	11
4.2. Cabines fermées.....	12
4.3. Cabines ouvertes – Tunnels	13
5. Compensation et implantation dans l'atelier	16
5.1. Compensation	16
5.2. Implantation dans l'atelier.....	16
6. Gestion de la peinture poudre	17
6.1. Approvisionnement en poudre.....	17
6.2. Récupération de la poudre	17
6.3. Changement de teinte	18
7. Épuration de l'air pollué	18
8. Rejet ou recyclage après épuration	19
9. Bruit	19
10. Contrôle et entretien des systèmes de ventilation et des installations connexes	19
10.1. Généralités.....	19
10.2. Surveillance du colmatage des filtres par mesure de pression différentielle.....	20
10.3. Protocole de contrôle de la ventilation des cabines	22
Bibliographie	23

Le présent document a été établi par un **groupe de travail** constitué sous l'égide de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam) et comprenant des spécialistes en ventilation, nuisances chimiques, incendie et explosion de la Cnam, des Carsat (caisses d'assurance retraite et de la santé au travail), de la Cramif (caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France) et de l'INRS (Institut national de recherche et de sécurité).

Il a été préparé dans le but de servir de **guide** et de **document de référence** à l'usage des personnes et organisations concernées par la **conception**, la **construction**, l'**exploitation** et le **contrôle** des installations de ventilation des cabines et postes d'application par projection de peintures en poudre. Seuls les points essentiels relatifs à la ventilation et à certains risques principaux (intoxication, électrisation, incendie, explosion, bruit) ont été traités.

En ce qui concerne les nuisances chimiques, l'objectif minimal à atteindre est le maintien de la salubrité des locaux de travail.

Ont été consultés :

- le SITS (Syndicat général des industries de matériels et procédés pour les traitements de surface);
- le SATS (Syndicat national des entreprises d'application de revêtements et traitements de surface).

Ce guide de ventilation sera réexaminé régulièrement et au besoin modifié. Le groupe de travail demande à toute personne ou organisme ayant des remarques à formuler sur ce document de bien vouloir les lui faire connaître (commentaires à adresser à l'INRS, en faisant référence au groupe de travail ventilation n°9.2).

1. Domaine d'application

Les données faisant l'objet du présent guide de ventilation ont pour but la réalisation d'installations d'application par projection de peintures en poudre permettant d'assurer principalement la protection de l'opérateur contre les risques d'intoxication, d'électrisation, d'incendie, d'explosion. Elles s'appliquent aux procédés d'application par projection dans les cabines ainsi

qu'aux procédés de cuisson des peintures dans les fours où la poudre fond et durcit par réticulation.

Une installation d'application de poudre se compose en général d'une enceinte d'application suivie d'une unité assurant la réticulation de la peinture. Elle peut être précédée d'une unité de préparation des surfaces à peindre (grenillage, dégraissage...) et d'une unité de préchauffage du subjectile si nécessaire. Le plus souvent, un convoyeur assure le transfert des pièces le long de la chaîne de poudrage. L'application de la poudre elle-même se fait à l'aide d'un procédé électrostatique.

Pour rendre la lecture du texte plus aisée, on parlera, dans les paragraphes qui vont suivre, de «cabines de poudrage», de poudre ainsi que de peintres.

Les opérations de poudrage se distinguent fondamentalement des opérations d'application par pulvérisation de peintures ou vernis liquides qui sont traitées dans le guide pratique de ventilation n°9.1. En effet, dans le cas du poudrage, la poudre en excès doit être récupérée pour réutilisation ou élimination.



Vue d'un atelier abritant une cabine de poudrage et son convoyeur.

ENCADRÉ 1

Cadre réglementaire pour la mise en œuvre de cabines de poudrage

L'employeur est responsable de la santé et de la sécurité de ses salariés. À ce titre, il doit mettre en œuvre une démarche de prévention dans son entreprise et s'assurer que les lieux dans lesquels ses salariés travaillent respectent la réglementation applicable.

Les principaux risques associés à l'activité de poudrage sont les risques d'intoxication, en particulier par inhalation, les risques d'incendie et d'explosion, les risques électriques et ceux liés au bruit.

Les mesures de prévention définies par l'employeur devront donc notamment permettre :

- de maintenir un état de pureté de l'atmosphère propre à préserver la santé des travailleurs ;
- d'éviter le déclenchement d'un incendie, de limiter sa propagation, d'évacuer rapidement les occupants en cas de sinistre et de faciliter l'intervention des services de secours et de lutte contre l'incendie ;
- d'éviter la survenue d'une explosion et d'en limiter les effets si elle se produit ;
- de mettre en sécurité les installations et les matériels électriques ;
- de limiter au minimum le bruit émis dans l'environnement de travail et de protéger les travailleurs des risques d'exposition au bruit résiduel.

Les dispositions réglementaires dans le domaine de l'aération et de l'assainissement et dans le domaine de la prévention des risques d'incendies et d'explosions, des risques électriques et des risques d'exposition au bruit sont présentées dans les ouvrages INRS suivants :

- *Aération et assainissement*, coll. «Aide-mémoire juridique», TJ 5 ;
- *Prévention des incendies sur les lieux de travail*, coll. «Aide-mémoire juridique», TJ 20 ;
- *Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives (ATEX). Guide méthodologique*, ED 945 ;

- *La prévention du risque électrique. Textes réglementaires relevant du Code du travail*, ED 6187 ;
- *Le bruit en milieu de travail*, coll. «Aide-mémoire juridique», TJ 16.

Les dispositions réglementaires relatives à l'aération et à l'assainissement sont complétées par des textes spécifiques à l'activité de peinture par pulvérisation ou poudrage, en particulier :

- le décret n° 47-1619 du 23 août 1947 portant règlement d'administration publique en ce qui concerne les mesures particulières relatives à la protection des ouvriers qui exécutent des travaux de peinture ou de vernissage par pulvérisation ;
- la circulaire DRT n° 90-7 du 9 mai 1990 relative à l'application du décret n° 90-53 du 12 janvier 1990 (*Bulletin officiel* du ministère chargé du travail n° 90/12 p. 45-49).

La mise en place d'une installation de ventilation pour l'application par projection de peintures en poudre et la réticulation de ces peintures contribue à l'atteinte de ces objectifs de prévention.

À cette fin, cet équipement de travail doit respecter des règles de conception et d'utilisation.

Les dispositions concernant la conception et la mise sur le marché des équipements de travail figurent aux articles R. 4311-1 et suivants du Code du travail.

Celles concernant l'utilisation des équipements de travail figurent aux articles R. 4321-1 et suivants du Code du travail.

En outre, les cabines de peintures étant considérées comme des machines, elles doivent répondre aux exigences essentielles de santé et de sécurité de la directive «Machines» 2006/42/CE, codifiées aux articles R. 4312-1 et R. 4312-2 du Code du travail.

Pour nombre de machines, des normes européennes harmonisées

ont été élaborées afin d'aider les constructeurs à respecter ces exigences essentielles de santé et de sécurité. La conformité à ces normes européennes harmonisées donne en effet présomption de conformité aux exigences essentielles de santé et de sécurité de la directive «Machines», pour les domaines couverts par ces normes.

La norme européenne harmonisée EN 12981 avait été élaborée pour la conception des cabines de poudrage. Cette norme a récemment fait l'objet d'une révision et a été remplacée par la norme européenne harmonisée EN 16985 : «Cabines d'application par pulvérisation de produits de revêtement organiques». Prescriptions de sécurité», homologuée par l'Afnor en mars 2019.

La norme européenne harmonisée de référence pour les cabines de poudrage dépend de leur date de mise sur le marché. Pour les cabines de poudrage mises en service avant 2019, il s'agit de l'EN 12981. Depuis le 1^{er} janvier 2019, il s'agit de l'EN 16985.

En dernier lieu, il est important de rappeler que, comme pour toute activité industrielle, des dispositions issues du Code de l'environnement peuvent s'appliquer à l'activité de poudrage.

En effet, les polluants présents dans l'air extrait des installations de peinture peuvent présenter un danger pour l'environnement. Suivant la nature des produits de revêtement appliqués, les installations de peintures peuvent donc être soumises à la réglementation sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). La rubrique n° 2940 de la nomenclature des ICPE concerne l'application, la cuisson, le séchage de vernis, peinture, apprêt, colle, enduit, etc. sur support quelconque (métal, bois, plastique, cuir, papier, textile).

2. Technologie du poudrage

2.1. Généralités

Dans un souci de limiter l'émission de solvants dans l'atmosphère, de plus en plus d'industriels remplacent leurs systèmes de peinture à base de solvants par des applications par projection électrostatique de poudre.

Le procédé d'application par projection de poudre est une technologie qui consiste à pulvériser, à l'aide de pistolets électrostatiques ou triboélectriques, une poudre sur le subjectile (pièce à revêtir) relié à la masse. Le durcissement final s'opère par cuisson dans un four, la polymérisation des poudres étant une réaction chimique de polycondensation par effet thermique (90-200 °C) entre une résine et un agent réticulant pré-incorporé dans la formule.

Dans certains cas, le subjectile peut être préchauffé.

Les particules de poudre sont transportées par voie pneumatique d'un réservoir vers le pistolet où elles acquièrent une charge électrostatique par friction sur un matériau adéquat ou au contact d'une électrode à décharge «corona» qui opère à un potentiel de

10 à 100 kV. Les particules chargées adhèrent au subjectile mis à la terre. L'excédent de poudre est entraîné par aspiration. Ce sont les forces électrostatiques qui font adhérer les particules au subjectile. L'adhérence persiste jusqu'à ce que celui-ci entre dans le four où la poudre fond et durcit par réticulation.

Les poudres sont surtout employées sur des pièces métalliques mais de nouvelles technologies ont vu le jour permettant l'application sur des supports tels que bois, plastique, verre...

2.2. Les cabines de poudrage

Les applications électrostatiques peuvent être réalisées en manuel ou en automatique.

En manuel, l'opérateur, situé à l'extérieur ou à l'intérieur de la cabine, réalise des gestes de balayage pour poudrer uniformément les subjectiles.

En automatique, les pistolets sont généralement montés sur un ou plusieurs robots qui décrivent un mouvement de va-et-vient vertical alors que les subjectiles se déplacent horizontalement. Des dispositifs équipés de pistolets fixes existent également.

Dans les deux cas, le poudrage est réalisé dans une cabine pour éviter la dispersion dans l'atelier. La ventilation dans la cabine vise aussi à récupérer la poudre afin d'éviter les accumulations pouvant conduire à un risque d'explosion ou rendre le nettoyage plus long et difficile.

Pour tous les types de cabines, pendant la phase d'application des poudres, il est nécessaire d'asservir le fonctionnement des pistolets de pulvérisation au fonctionnement de la ventilation.

3. Rappel des différents risques

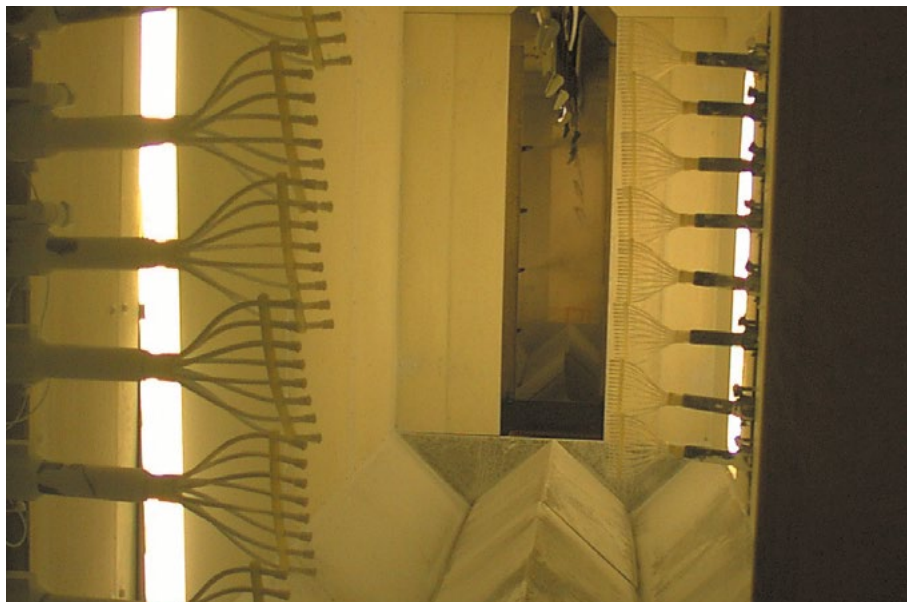
3.1. Principaux risques

La mise en œuvre des peintures en poudre par projection électrostatique comporte un ensemble de risques avérés pour les peintres et leur entourage dont les principaux sont :

- les risques d'intoxication par inhalation ou contact cutané;
- les risques électriques et électrostatiques;
- les risques d'incendie et d'explosion;
- les risques thermiques.



Peintre poudrant des pièces dans une cabine fermée à ventilation verticale.



Intérieur d'une cabine de poudrage automatique.

3.1.1. Les risques d'intoxication par inhalation ou contact cutané

Le risque d'intoxication, chronique ou aiguë, est lié à la pénétration de la substance dans l'organisme. Dans ce cas, elle se fera essentiellement par voie respiratoire ; il ne faut toutefois pas négliger le risque d'ingestion lié à l'absorption de poudre déposée sur la peau, une hygiène correcte minimisant ce phénomène.

Bien sûr, la nature de l'intoxication dépend du type de constituants des poudres. Des contacts cutanés répétés peuvent par ailleurs entraîner des dermatoses.

3.1.1.1. Granulométrie

Selon leur taille, les particules auront un comportement différent. On considère qu'en dessous de 4 µm elles pénètrent jusqu'aux alvéoles pulmonaires d'où certaines substances pourront passer dans la circulation sanguine et provoquer des intoxications.

Les poudres de taille comprise entre 4 et 10 µm se déposent au niveau des bronches et de la trachée où elles peuvent à la longue, même si elles sont toxicologiquement inertes, induire des phénomènes de surcharge pulmonaire. Les poudres de taille inférieure à 100 µm peuvent pénétrer les voies aériennes supérieures.

3.1.1.2. Composition des poudres

Les peintures en poudre sont des mélanges, plus ou moins complexes, composés en poids d'environ 60 % de liant (résines et agents de réticulation ou durcisseurs), 35 % de charges et pigments et 5 % d'additifs apportant des propriétés particulières telles que résistance aux UV, tendu du film, brillance...

Les liants

Ils sont constitués de couples résine/durcisseur qui peuvent être de familles chimiques différentes. Lors de la cuisson, la résine (généralement constituée de molécules polymères

linéaires) réagira avec le durcisseur (généralement constitué de molécules plus petites possédant plusieurs fonctions réactives) pour former un réseau polymère tridimensionnel insoluble (réticulation).

Les phénomènes les plus souvent observés avec ces résines sont des réactions d'irritation et de sensibilisation de la peau, des yeux, voire des voies respiratoires.

Les poudres époxy sont susceptibles de provoquer des dermatites eczématiformes qui figurent au tableau n°51 des maladies professionnelles du régime général. Les poudres mixtes époxy-polyesters comprennent les poudres polyesters- TGIC ; les rhinites et asthmes professionnels dus aux travaux exposant au TGIC (isocyanurate de triglycidyle) sont répertoriés au tableau n°66 des maladies professionnelles du régime général. Dans le cas de poudres dites sans TGIC, le système de réticulation peut contenir des molécules possédant les mêmes groupements fonctionnels époxydiques. L'inhalation ou la manipulation des poudres polyuréthanes, vu la présence d'isocyanates organiques, peuvent provoquer des troubles respiratoires et cutanés. Les poudres polyuréthanes, utilisées avec un durcisseur à fonctions isocyanate, présentent des risques supplémentaires du fait de l'action irritante et sensibilisante du durcisseur qui peut se manifester après inhalation de l'aérosol, même en faible quantité (tableau n°62 des maladies professionnelles du régime général).

Les pigments

Ils permettent l'obtention de la couleur finale et de l'opacité.

a) Pigments minéraux

Parmi les pigments minéraux que l'on peut trouver dans les peintures en poudre, les sels et les oxydes métalliques sont les plus dangereux et peuvent être à l'origine de maladies professionnelles. On citera essentiellement les composés du chrome et ceux du cobalt (tableaux n°s 10, 65 et 70 des

maladies professionnelles du régime général).

L'utilisation de peintures en poudre contenant des composés du chromate de plomb n'est plus autorisée dans l'Union européenne.

b) Pigments organiques

Les pigments organiques sont extrêmement nombreux et certains sont responsables d'irritations et de sensibilisations cutanées et respiratoires. C'est le cas surtout pour les dérivés azoïques.

Les charges

Ce sont des matières pulvérulentes d'origine minérale utilisées notamment pour régler l'aspect, la densité et la dureté du film. Les principales sont le carbonate de calcium, la dolomite, le sulfate de baryum, le talc, la silice amorphe.

Les additifs (adjuvants)

Ils sont utilisés en faible quantité pour apporter aux peintures en poudre des qualités particulières. Leur nature chimique et leur faible concentration font qu'ils ne posent en général que peu de problèmes toxicologiques, essentiellement des manifestations cutanées (tableau n°65 des maladies professionnelles du régime général). Il s'agit des :

- agents favorisant la tension du film ;
- agents thixotropiques ;
- agents de matité ;
- agents anti-UV et antioxydants ;
- agents antistatiques...

Note

L'étiquetage prend généralement en compte les risques toxicologiques dus aux substances dangereuses. Néanmoins, certaines poudres non étiquetées peuvent présenter des dangers lors de l'utilisation (problème des seuils fixés pour l'étiquetage et de la connaissance des données toxicologiques). Quoi qu'il en soit, il conviendra de toujours préférer le produit le moins dangereux possible. Dans le cas où l'utilisation d'un produit cancérogène, mutagène ou toxique pour la reproduction de catégorie 1A ou 1B est susceptible de conduire à une exposition, la recherche de produits de substitution moins dangereux est obligatoire conformément au Code du travail (art. R. 4412-66).

3.1.2 Les risques électriques et électrostatiques

Les risques électriques peuvent se produire par contacts directs en touchant des parties électriques sous tension, soit parce qu'elles ne sont pas isolées pour des raisons de fonctionnement, soit lorsque l'isolement est insuffisant voire affecté par des agressions mécaniques, ou par contacts indirects en touchant des parties conductrices qui ne sont pas sous tension dangereuse en fonctionnement normal mais qui peuvent l'être en cas de défaillance.

Les risques dus aux phénomènes électrostatiques sont liés aux décharges électrostatiques qui peuvent avoir lieu, par exemple, à partir de parties conductrices non mises à la terre ou de grandes surfaces conductrices. L'étincelle de rupture peut s'avérer dangereuse pour l'homme lorsque son énergie est supérieure à 350 mJ. Il y a lieu de prendre en compte également le fait qu'elle peut provoquer chez le personnel un geste réflexe malencontreux, pouvant entraîner chute ou blessure. Ces décharges peuvent être des sources d'inflammation initiant une explosion.

Pour la prévention du risque d'accumulation de charges électrostatiques, on se reportera utilement à la brochure de l'INRS ED 874. En particulier, on veillera à ce que l'installation soit mise à la terre et que la liaison équipotentielle entre toutes ses parties soit correctement réalisée (tresses de masse...).

3.1.3. Les risques d'incendie et d'explosion

Lorsque des poussières combustibles forment, dans certaines conditions de concentration avec l'air, un « nuage » relativement homogène, une source d'ignition peut provoquer leur explosion. Un tel risque peut se matérialiser si un nuage de poudre, engendré par les équipements de projection ou par la mise en suspension des dépôts de poudre, est enflammé, ce qui est possible avec une énergie

même faible (20 à 50 mJ) si la concentration de poudre dans l'air dépasse la limite inférieure d'explosivité (LIE).

Il existe nombre de causes possibles d'inflammation accidentelle de la poudre :

- une étincelle entre les électrodes du pistolet et les éléments de l'équipement mis à la terre (par exemple les parois de la cabine);
- une étincelle entre les électrodes et le projectile;
- une étincelle de décharge provoquée par des charges électrostatiques induites par friction ou par influence (pièces isolées du convoyeur par encrassement des crochets, pistolets ou réservoir de poudre mal raccordés à la masse, etc.);
- la proximité de surfaces chaudes (parois du four, projectile préchauffé...);
- la proximité de sources d'ignition (brûleurs du four, radiants...).

La LIE d'une poussière donnée dépend de plusieurs paramètres (composition, granulométrie, etc.); elle est, pour la plupart des peintures en poudre commerciales, de l'ordre de 35 à 90 g/m³. Quand il n'y a pas de valeur sûre de la LIE, une concentration moyenne de 10 g/m³ ne doit pas être dépassée.

Le risque d'explosion est d'autant plus à redouter que la granulométrie des poudres utilisées est en général basse, inférieure à 100 µm.

Le risque d'incendie aura, quant à lui, comme causes principales :

- une étincelle électrostatique;
- le préchauffage avec utilisation de rampes à gaz ou de radiants;
- les suites d'une explosion.

Ces risques d'incendie et d'explosion sont surtout à craindre dans :

- les gaines d'évacuation d'air pollué où des dépôts se forment sur les parois;
- les filtres secs colmatés par des dépôts de poudres;
- le jet du pistolet.

3.1.4. Les risques thermiques

Le préchauffage, choisi dans certains procédés, fait appel en général à des rampes de brûleurs à flamme nue, voire des fours à radiants. Le travail sur des subjectiles préchauffés induit une contrainte thermique par rayonnement et des risques de brûlures par contact.

ENCADRÉ 2

Prévention du risque d'incendie

Pour limiter les risques d'incendie, on conseille d'installer au maximum un pistolet par mètre cube de volume utile de la cabine.

Pour empêcher la propagation d'un feu, les éléments constituant de la cabine de poudrage et de ses équipements devraient être en matériaux n'entretenant pas la combustion et suffisamment résistants au feu (Euroclasse A voire B, ou M0 voire M1 selon l'ancienne réglementation française).

Les cabines de poudrage devraient être équipées d'un système de détection d'incendie de temps de réponse inférieur à 0,5 s., coupant l'alimentation puissance et actionnant une alarme lumineuse et sonore en cas de déclenchement.

ENCADRÉ 3

Prévention du risque d'explosion de poussières

Les articles R. 4216-31 et R. 4227-42 à R. 4227-54 du Code du travail précisent les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'explosion.

En application de ces dispositions, l'arrêté modifié du 8 juillet 2003 relatif à la protection des travailleurs susceptibles d'être exposés à une atmosphère explosive prévoit une classification des emplacements où des atmosphères explosives peuvent être présentes ainsi que les conditions à respecter dans chaque zone :

Zone 20 : Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles est présente dans l'air en permanence ou pendant de longues périodes ou fréquemment.

Zone 21 : Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de

poussières combustibles peut occasionnellement se former dans l'air en fonctionnement normal.

Zone 22 : Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles n'est pas susceptible de se former dans l'air en fonctionnement normal ou bien, si une telle formation se produit néanmoins, n'est que de courte durée.

La délimitation des zones à risques d'explosion a pour objectif de mettre en place des mesures organisationnelles et des mesures de protection contre les explosions, comme l'installation et l'utilisation d'un matériel, notamment électrique, adapté et conforme à la réglementation en vigueur.

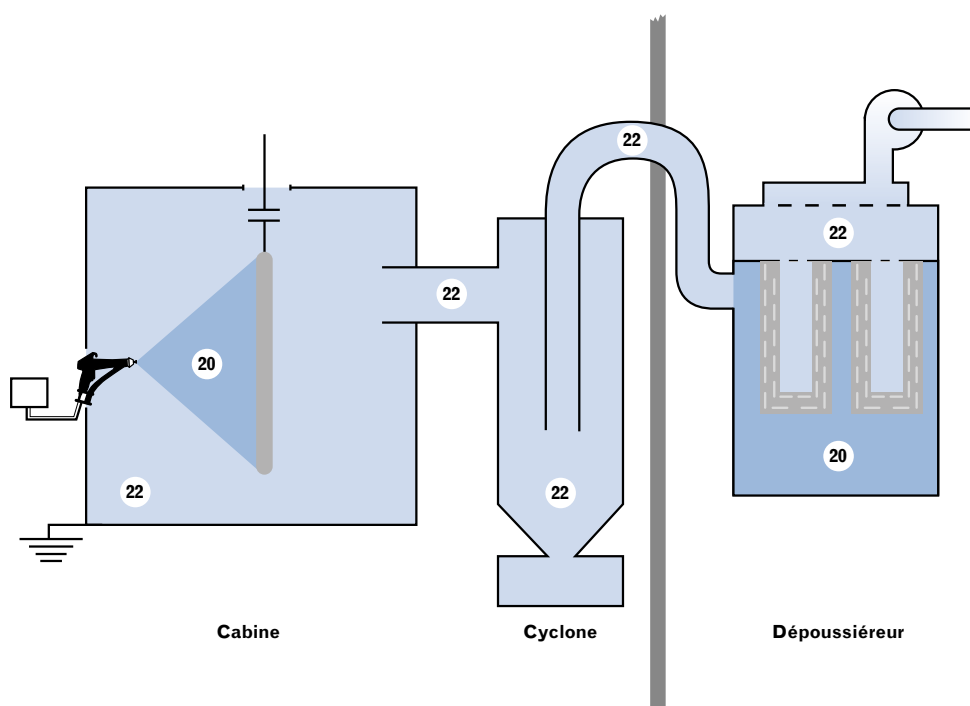
Des exemples de désignation des zones en fonction du degré de dégagement et de la possibilité de formation de couches

de poussières sont donnés dans le tableau ci-dessous.

On trouvera un exemple de délimitation de zones à risques d'explosion pour une cabine de poudrage dans la figure ci-dessous.

Ces textes réglementaires préconisent également, pour assurer la protection contre de possibles explosions, la mise en place de dispositifs conformes et appropriés (évents, systèmes de découplage, etc.). Ces dispositifs devraient protéger surtout les dépoussiéreurs où se produisent les décolmatages, le risque d'explosion étant particulièrement présent dans les systèmes de récupération de poudre, ce qui justifie leur installation systématique à l'extérieur du bâtiment. Le lecteur complètera utilement ces informations par la lecture de la brochure de l'INRS *Les mélanges explosifs – Partie 2 – Poussières combustibles*, ED 944.

Nature de l'émission	Nuages de poussières	Couches de poussières d'épaisseur maîtrisée	
		Souvent perturbée	Rarement perturbée
Permanente	20	21	22
Occasionnelle	21	21	22
Accidentelle	22	21	22



3.2. Spécificité des opérations de poudrage

3.2.1. Généralités

L'exploitation d'une unité de poudrage présente essentiellement des risques lors :

- de l'application de la poudre,
- des opérations d'entretien et de changement de teinte.

Plus généralement, toutes les opérations de manipulation des poudres telles que, alimentation, évacuation, transvasement (chargement d'un bac, vidange d'un fût sous dépoussiéreur...) sont susceptibles de générer un fort empoussiérement exposant les opérateurs de façon brève mais intense. De plus, elles entretiennent un fond de pollution permanent dans l'atelier.

3.2.2. Changements de teinte

Les contraintes de production entraînent généralement des changements fréquents de couleur. Comme on met en œuvre un produit pulvérulent, il convient d'en récupérer l'excédent (*overspray*).

Pour éviter tout mélange avec une poudre de teinte différente utilisée ultérieurement, il faut enlever totalement toutes les particules déposées sur les parois de l'intérieur de la cabine et les matériels, le pistolet, le flexible, la canne plongeante.

La quantité de poudre à essuyer manuellement lors d'un changement de teinte est ainsi importante. La poudre récupérée peut être soit réutilisée soit évacuée comme déchet.

Ces manipulations (dont la vidange des fûts de poudre) qui n'existent pas avec les peintures liquides, renforcent ainsi les risques d'inhalation et de contact cutané.

Les conditions principales pour un changement de teinte rapide et propre sont la minimisation de la quantité de poudre dans le circuit (limitation de l'*overspray* par exemple) et la non adhérence de la poudre sur les surfaces en contact.

3.2.3. Maintenance

Outre les opérations décrites précédemment, les principales opérations de maintenance susceptibles d'entraîner une forte exposition sont le remplacement des filtres des systèmes de dépoussiérement et l'entretien régulier autour de la cabine.

ENCADRÉ 4

Décapage des crochets

Le poudrage électrostatique d'un subjectile nécessite sa mise à un potentiel électrique déterminé. Les éléments de suspension de ce subjectile (crochets, balancelles) doivent donc assurer la

continuité électrique. Le réemploi des crochets ou balancelles nécessite ainsi l'enlèvement du revêtement qui s'est constitué du fait de l'*overspray* puis de la cuisson du subjectile précédent.

Les diverses solutions techniques utilisées sont répertoriées dans le tableau suivant.

Technique	Risques	Avantages	Inconvénients
Décapage chimique par trempage dans un bain suivi d'un lavage haute pression	Toxicité ou corrosivité des bains (solvants, acides, bases)	Installations modestes pouvant accueillir des pièces de grande taille	Production de boues chargées en minéraux toxiques
Décapage thermique par pyrolyse dans un four à 350-500 °C suivie d'un lavage haute pression	Emballement de la dégradation qui est fortement exothermique. Émission de fumées dangereuses	Risques facilement maîtrisables	Coût et encombrement de l'installation Détérioration de la résistance mécanique des crochets Production de fumées, de cendres et de boues chargées en minéraux toxiques
Décapage mécanique, parfois par grenailage, le plus souvent par brossage	Émission de poussières dangereuses	Peut s'effectuer automatiquement immédiatement après le décrochage du subjectile. L'automatisation facilite le captage des poussières émises. Nécessite un nombre de crochets moindre.	Production de poussières chargées en minéraux toxiques
Utilisation de crochets revêtus ou constitués de plastiques conducteurs et de faible adhérence		Permettent le décollement du revêtement par légère flexion ou chocs de faible intensité.	Coût élevé En développement

4. Assainissement de l'atmosphère des cabines d'application

4.1. Principes de ventilation

L'application de la poudre est effectuée dans une cabine qui est un dispositif de captage enveloppant. L'utilisation de la cabine de poudrage est indispensable à la fois pour minimiser l'exposition du ou des peintres et pour éviter la dispersion des poudres dans le reste de l'atelier. Elle permet de restreindre la taille du local à pollution spécifique à traiter; elle sera donc préférentiellement fermée. On placera ainsi les objets à peindre dans des cabines ou des tunnels équipées de dispositifs efficaces d'évacuation des poudres. Selon sa conception, la cabine peut être réalisée avec opérateur (et éventuellement

robot) travaillant soit à l'intérieur soit à l'extérieur.

La cabine de poudrage peut être fermée ou ouverte et sa ventilation soit verticale soit horizontale au niveau de l'opérateur. La dimension du subjectile, la nature et la fréquence des opérations de poudrage doivent guider l'utilisateur vers le choix de l'un ou de l'autre de ces matériels, sachant que, dans le cas de subjectiles importants ou obligeant le peintre à tourner autour, la disposition à retenir est celle de la cabine fermée à ventilation verticale descendante (sauf, éventuellement, lorsque les subjectiles sont préchauffés), plus à même d'assurer l'objectif principal : maintenir le peintre dans un flux uniformément réparti d'air neuf⁽¹⁾. Le peintre doit par ailleurs disposer de moyens lui permettant de maintenir ses voies respiratoires au-dessus de l'aérosol de poudre (fig. 1).

Attention!

Dans le cas de subjectiles importants préchauffés, les courants de convection créés⁽²⁾ peuvent contrarier la ventilation verticale descendante au point de la rendre inefficace. D'autres solutions doivent alors être envisagées (suppression ou diminution de la température du préchauffage, automatisation du procédé...).

Chaque type de cabine est conçu et installé pour un travail précis (avec un nombre déterminé d'opérateurs) et dans un environnement donné. Il faudra veiller à ce que toute modification (conditions d'utilisation, caractéristiques, etc.) n'altère pas les performances initiales fixées à la conception; pour ceci, le recours à un spécialiste est indispensable.

Les critères de débit et de renouvellement d'air d'une cabine de poudrage ne permettent pas de caractériser l'efficacité de la ventilation. La vitesse

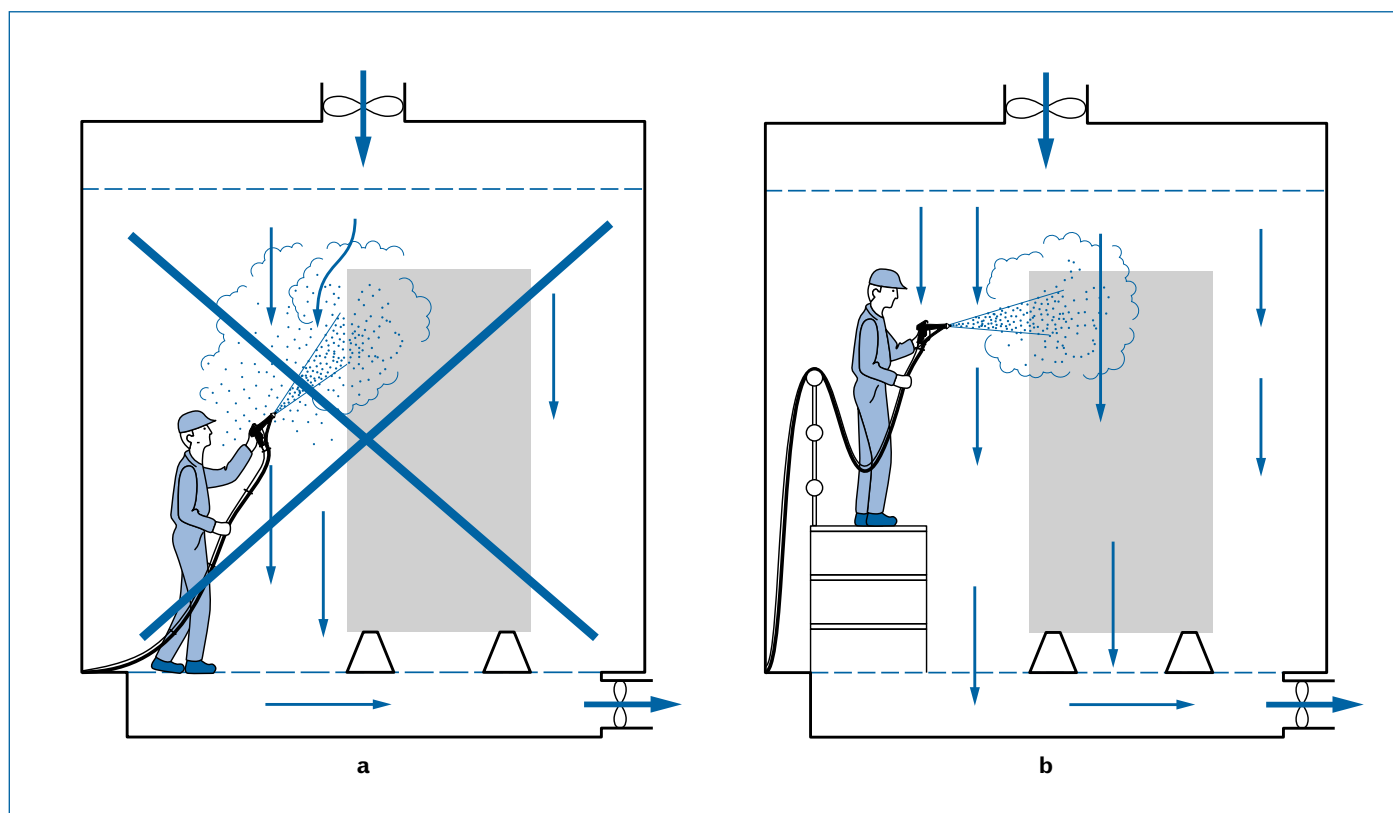


Figure 1. a) Mauvaise position : l'aérosol est rabattu vers le visage du peintre. b) Bonne position : le peintre reste en dehors de l'aérosol.

(1) Air neuf : Air pris à l'air libre hors des sources de pollution (les prises d'air neuf doivent être éloignées de toute source de pollution, tels que débouché de conduit de fumées, sortie d'air extrait même filtré).

(2) Pour une pièce de 1 m de hauteur préchauffée à 200 °C, la vitesse de convection ascendante est de l'ordre de 1 m/s.

d'air, sa direction et l'homogénéité de sa répartition sont les critères les plus importants pour la protection des opérateurs. L'air introduit doit être préalablement réchauffé à une température permettant des conditions de travail satisfaisantes pour le peintre et adaptée au produit appliqué.

La ventilation d'une cabine de poudrage avec des opérateurs à l'extérieur doit être conçue de telle sorte que de l'air rentre par toutes les sections ouvertes à une vitesse suffisante pour éviter tout échappement de la poudre. Dans le cas d'une cabine équipée exclusivement de pistolets automatiques, le calcul du débit d'air nécessaire pour la ventilation sera effectué de façon à maintenir la cabine en dépression, afin d'éviter les fuites de poudre.

Dans tous les cas, une attention particulière doit être portée à la compensation de l'air extrait par la cabine, sous peine d'altérer gravement ses performances.

Dans tous les cas, le débit de ventilation doit également être suffisant pour maintenir la concentration moyenne de poudre dans l'air en deçà de la moitié de la limite inférieure d'explosivité (LIE), que les peintres travaillent à l'intérieur ou à l'extérieur.

4.2. Cabines fermées

4.2.1. Cabines fermées à ventilation verticale avec opérateur à l'intérieur

Une cabine de poudrage fermée à ventilation verticale est une enceinte fermée sur toutes ses faces pendant son utilisation. L'opérateur et le sujet à peindre sont placés à l'intérieur.

Lorsque l'opérateur doit évoluer autour de l'objet à peindre, il est nécessaire de prévoir une distance d'au moins 1 mètre entre les parois de la cabine et l'objet. En ce qui concerne la hauteur intérieure de la cabine, une

ENCADRÉ 5

Contrainte thermique

La contrainte thermique est un problème récurrent sur les lignes de poudrage.

Elle est principalement due à la température élevée de l'air qui s'échappe des fours tunnels placés dans l'atelier. Les autres sources de chaleur clairement identifiées sont les enveloppes de ces fours, dont la température dépasse parfois les 50 °C à cause d'un défaut d'isolation, les pièces chaudes en sortie du four ainsi que les pertes au niveau du séchoir de l'unité de dégraissage.

On constate ainsi que les opérateurs sont fréquemment exposés à des températures voisines de 30 °C dès que la température extérieure dépasse les 10 °C, donc une grande partie de l'année.

Les dispositions prises pour réduire cette contrainte seront d'autant plus efficaces que les solutions techniques seront retenues avant la mise en place de l'ensemble des installations. Un certain nombre de ces dispositions participent également à la limitation de la consommation énergétique. L'objectif est d'assurer des conditions de travail satisfaisantes aux postes de travail.

L'action va consister prioritairement à :

- limiter les émissions d'air chaud : les sections d'entrée et de sortie des fours sont toujours le siège de courants d'air chaud qui s'échappent par convection naturelle ; la mise en place d'un sas limite notablement ce phénomène qui a pu parfois être chiffré à plusieurs milliers de mètres cube d'air à 200 °C par heure. La première partie de ce sas permet de contenir l'air chaud qui peut être réinjecté dans le four, tandis que, dans la seconde partie, un raccordement à l'atmosphère assure l'évacuation de l'excédent ;
- soigner et renforcer l'isolation thermique des parois du four pour éviter qu'elles ne rayonnent dans l'atelier ;
- créer un local four sans présence d'opérateur en élevant une cloison de séparation. Il est alors possible de mettre ce local en dépression pour empêcher toute fuite d'air chaud vers le reste de l'atelier. Le rayonnement thermique sera plus ou moins masqué selon les réalisations ;
- compléter ces dispositions par une ventilation générale incluant l'ensemble de la ligne.



Ventilateur d'extraction d'une cabine de poudrage.



Subjectile en attente de poudrage dans une cabine fermée à ventilation verticale.

distance de 1 mètre entre le niveau supérieur du subjectile et le plafond est un minimum à retenir.

Ce type de cabine est adapté pour effectuer le poudrage des objets qu'on ne peut suspendre ou placer sur un support tournant à cause de leur poids ou de leurs dimensions importantes et qui imposent à l'opérateur de tourner autour (exemple : véhicules, machines). Le peintre peut ainsi rester constamment dans une atmosphère d'air neuf.

L'air parvient dans la cabine par l'intermédiaire d'un plafond soufflant (plenum), voire par des ouvertures spécialement dimensionnées et disposées. L'air pollué est extrait au niveau du sol.

Vitesse de l'air

Pour que la ventilation protège efficacement le peintre, le flux d'air doit être homogène et la vitesse de l'air dans la zone de travail (cabine vide), doit être supérieure à 0,3 m/s en tout point (voir le protocole de mesure au § 10.3.1).

4.2.2. Cabines fermées à ventilation horizontale avec opérateur à l'intérieur

Une cabine de poudrage fermée à ventilation horizontale est une enceinte fermée sur toutes ses faces pendant son utilisation. L'opérateur et le subjectile sont placés à l'intérieur. L'air parvient dans la cabine par l'intermédiaire d'un caisson soufflant constituant la paroi opposée au dispositif d'extraction, voire par des ouvertures spécialement dimensionnées et disposées.

Une telle cabine ne convient pas lorsque le peintre est obligé de tourner autour du subjectile. De plus, la présence du peintre dans le flux d'air horizontal génère des turbulences. Ces turbulences peuvent induire des retours de poudre à proximité des voies respiratoires de l'opérateur (fig. 2), ce qui limite fortement l'efficacité de ces dispositifs et conduit à leur préférer les cabines fermées à ventilation verticale.

Vitesse de l'air

Pour que la ventilation protège efficacement le peintre, le flux d'air doit

être homogène. Dans la section verticale de la cabine perpendiculaire au flux d'air, la vitesse de l'air doit être supérieure ou égale à 0,5 m/s en tout point de mesure (voir le protocole de mesure au § 10.3.2).

4.3. Cabines ouvertes – Tunnels

4.3.1. Cabines-tunnels à ventilation verticale avec opérateur à l'intérieur

Une cabine-tunnel à ventilation verticale est une enceinte ouverte à ses deux extrémités. L'opérateur et le ou les subjectiles sont placés à l'intérieur.

Le recours à ce type d'installation se justifie par l'utilisation d'un convoyage des pièces en continu ou la peinture de subjectiles très longs.

Pour permettre au peintre d'évoluer, il est nécessaire de prévoir une distance d'au moins 1 mètre entre les parois de la cabine-tunnel et l'objet. En ce qui concerne la hauteur intérieure de la cabine-tunnel, une distance de 1 mètre entre le niveau supérieur du ou des

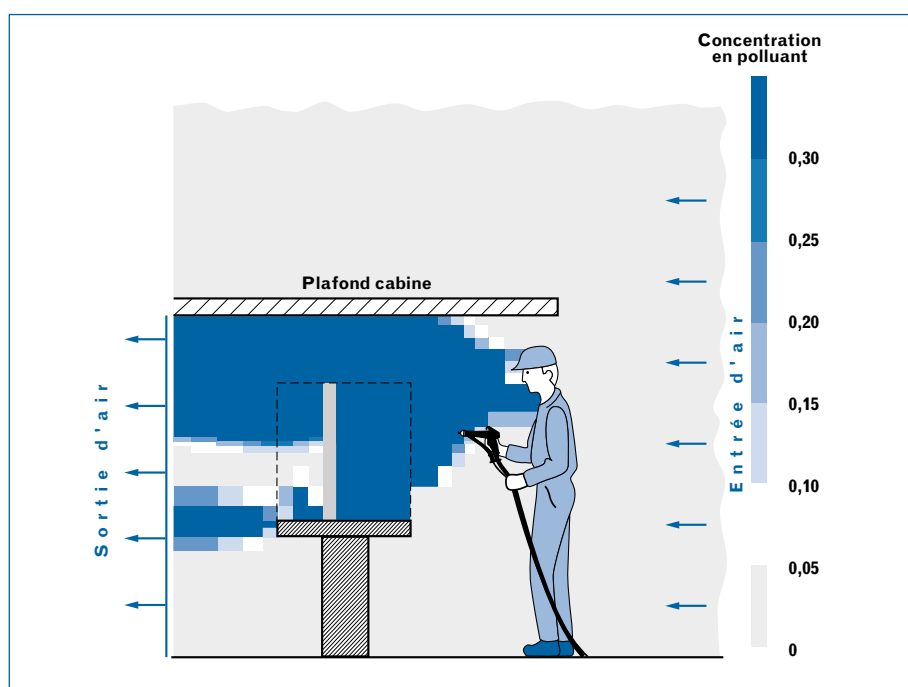


Figure 2. Retours d'aérosols de peinture à proximité des voies respiratoires de l'opérateur lors d'une opération de peinture en cabine à ventilation horizontale (d'après simulation EOL-3D).

ENCADRÉ 6

Dimensionnement de la ventilation

Dans la pratique, la répartition des vitesses d'air n'est jamais parfaite. En conséquence, afin d'obtenir en tout point les caractéristiques exigées de vitesse d'air moyenne et de vitesse d'air minimum, il est nécessaire, dès la conception, de surdimensionner la ventilation de l'installation.

Il est également nécessaire de tenir compte du vieillissement normal de l'installation et de la perte de charge finale des médias filtrants qui équipent les dépoussiéreurs (encrassement maximum).

Une hypothèse de calcul majorée de 20% peut ainsi être retenue. Cette recommandation ne dispense pas de respecter les règles de conception dans le but d'obtenir la meilleure répartition de l'air dans les plenums ou caissons.

subjectiles et le plafond est un minimum à retenir.

Le personnel doit disposer d'accès distincts des entrées et sorties des subjectiles.

L'air parvient dans la cabine-tunnel par l'intermédiaire d'un plafond soufflant (plenum), voire par des ouvertures spécialement dimensionnées et disposées. L'air pollué est extrait au niveau du sol.

De telles installations ont l'inconvénient de pouvoir laisser échapper de la poudre par leurs extrémités ouvertes. Des dispositions doivent être prises pour empêcher ces fuites; il peut s'agir de :

- la création d'un flux d'air entrant de vitesse suffisante aux extrémités de la cabine-tunnel;
- la mise en place de prolongements suffisamment longs canalisant les pièces aux extrémités de la cabine-tunnel (fig. 3).

Vitesse de l'air

Pour que la ventilation protège efficacement le peintre, le flux d'air doit être

homogène et la vitesse de l'air dans la zone de travail (cabine-tunnel vide), doit être supérieure à 0,3 m/s en tout point (voir le protocole de mesure au § 10.3.1).

4.3.2. Cabines ouvertes avec opérateur à l'extérieur

Dans tous les cas, le flux d'air protégeant l'opérateur est horizontal à son niveau ce qui peut être obtenu par deux configurations distinctes : ventilation horizontale dans la cabine, ou ventilation verticale dans la cabine.

4.3.2.1. Ventilation horizontale dans la cabine

Une cabine ouverte à ventilation horizontale avec opérateur à l'extérieur est une cabine ouverte en façade, à l'endroit où le peintre opère. Les opérateurs ne doivent pas franchir le plan des ouvertures qui devraient être équipées d'un dispositif de protection type garde-corps. L'aérosol de poudre en excès est extrait par un système de ventilation situé en fond de cabine, à l'opposé de l'emplacement de l'opérateur.

Lorsque les pièces sont convoyées automatiquement, elles doivent passer dans la cabine, des découpes dans les parois latérales étant ménagées à cet effet. Les postes de travail doivent être suffisamment éloignés des silhouettes d'entrée et de sortie pour éviter tout échappement de poudre hors de la cabine.

Lorsqu'un objet doit être peint sur toutes ses faces, plusieurs solutions sont possibles, par exemple :

- la profondeur de la cabine permet la rotation de la pièce qui est placée sur un support pivotant ou bien accrochée à un dispositif tournant;
- dans le cas de pièces planes transportées par un convoyeur, deux cabines adjacentes ouvertes de part et d'autre de la chaîne permettent de peindre successivement les deux faces des pièces (fig. 4). Le distance d devra être judicieusement calculée pour que les flux d'air des deux cabines ne se perturbent pas et pour limiter les perturbations aérodynamiques dans la zone de transfert du subjectile d'une cabine à l'autre.



Portes coulissantes permettant l'entrée des subjectiles convoyés dans une cabine fermée à ventilation verticale.

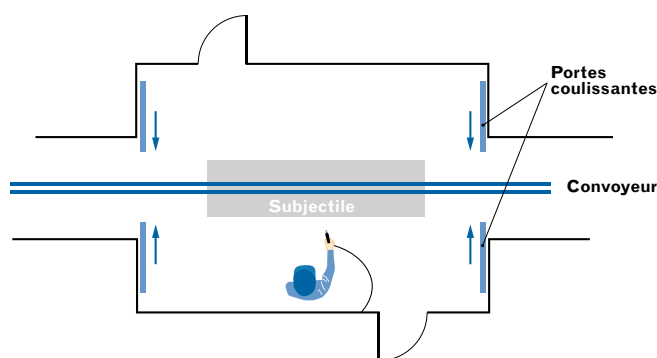


Figure 3. Plan schématisé d'une cabine-tunnel à ventilation verticale, possédant des prolongements rétrécis à ses extrémités, ainsi que des portes permettant d'ajuster la dimension du passage à la taille des pièces.

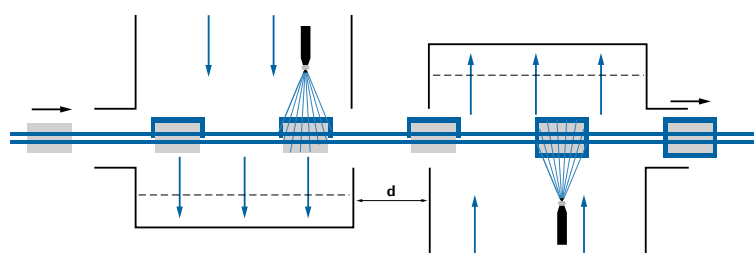


Figure 4. Deux cabines adjacentes disposées de part et d'autre d'une chaîne de convoyage.

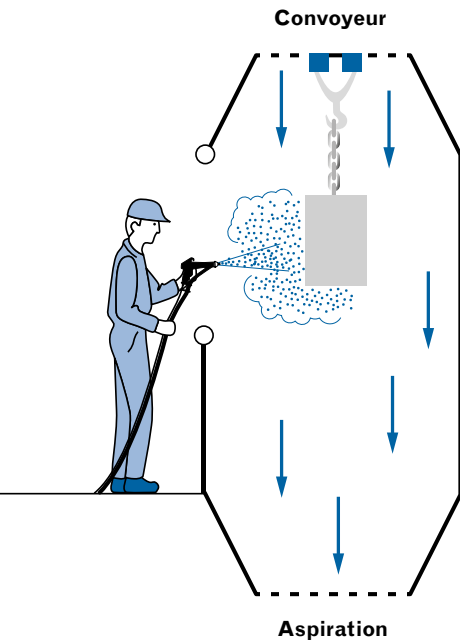


Figure 5. Cabine ouverte à ventilation verticale avec opérateur à l'extérieur. La taille de la cabine doit être fonction de celle des subjectiles pour éviter que le peintre soit obligé de se pencher à l'intérieur pour opérer.

Vitesse de l'air

Pour que la ventilation protège efficacement le peintre, le flux d'air doit être homogène. Dans le plan d'ouverture de la cabine, la vitesse de l'air doit être supérieure ou égale à 0,5 m/s en tout point de mesure (voir le protocole de mesure au § 10.3.3). On mesurera réellement la vitesse au lieu de la calculer à partir du débit et de la surface ouverte.

4.3.2.2. Ventilation verticale dans la cabine

Une cabine ouverte à ventilation verticale avec opérateur à l'extérieur est une cabine à ventilation verticale présentant une ou plusieurs fenêtres dans ses façades afin de permettre à un ou plusieurs peintres de travailler (fig. 5).

Lorsque les pièces sont convoyées automatiquement, elles doivent passer dans la cabine, des découpes dans les parois latérales étant ménagées à cet effet. Les postes de travail doivent être suffisamment éloignés des silhouettes d'entrée et de sortie pour éviter tout échappement de poudre hors de la cabine. La hauteur intérieure de la cabine doit ménager une distance minimum de 1 mètre entre le niveau

supérieur du subjectile et le plafond. Lorsqu'un objet doit être peint sur toutes ses faces, plusieurs solutions sont possibles, par exemple :

- la profondeur de la cabine permet la rotation de la pièce qui est placée sur un support pivotant ou bien accrochée à un dispositif tournant ;
- dans une installation où le transport des pièces est automatisé, deux ouvertures placées tête-bêche de part et d'autre de la chaîne permettent de peindre successivement les deux faces des pièces (fig. 6).

La distance entre les postes de travail tête-bêche est fonction, entre autres, de la profondeur de la cabine mais ne devrait pas être inférieure à 2 mètres. L'air parvient dans la cabine par les ouvertures. L'air pollué est extrait au niveau du sol.

Vitesse de l'air

Pour que la ventilation protège efficacement le peintre, le flux d'air doit être homogène. Dans le plan des ouvertures, la vitesse de l'air doit être supérieure ou égale à 0,5 m/s en tout point de mesure (voir le protocole de mesure au § 10.3.3).

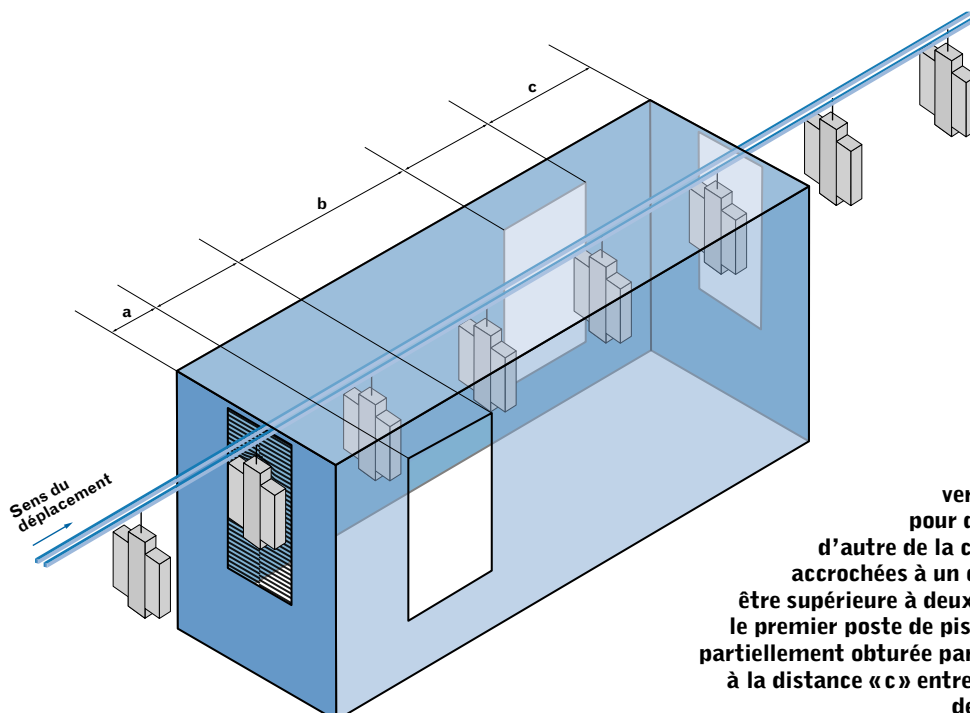


Figure 6. Cabine ouverte à ventilation verticale présentant deux fenêtres pour deux peintres opérant de part et d'autre de la cabine ; les pièces à peindre sont accrochées à un convoyeur. La distance « b » doit être supérieure à deux mètres. La distance « a » entre le premier poste de pistolage et la silhouette d'entrée, partiellement obturée par des balais, peut être inférieure à la distance « c » entre le second poste et la silhouette de sortie, complètement ouverte.

5. Compensation et implantation dans l'atelier

5.1. Compensation

Pour que la ventilation fonctionne effectivement, il est indispensable qu'un débit d'air neuf soit apporté en compensation de l'air extrait des cabines, mais aussi de celui extrait par d'autres dispositifs (aspirations localisées, fours...).

Dans le cas d'une cabine fermée, la compensation est systématiquement prise en compte, l'air neuf étant automatiquement fourni par l'installation en quantité au plus égale à celle de l'air extrait.

Dans le cas des cabines ouvertes, il en est autrement et il est essentiel de prévoir une arrivée d'air de compensation de telle façon qu'elle ne contrarie pas le fonctionnement de la cabine. Sur le plan quantitatif, l'air neuf doit être introduit dans l'atelier à un débit égal à la somme des débits extraits pour toutes les cabines. Sur le plan qualitatif, cette entrée d'air ne doit pas être une cause de gêne pour le personnel ni une cause de perturbation de la ventilation des cabines. L'air de compensation doit être introduit à une vitesse suffisamment basse afin d'éviter toute situation inconfortable aux opérateurs. Il doit être diffusé à une température proche de celle de l'atelier et ne doit pas traverser une zone où l'atmosphère est polluée en amont de la cabine. L'organisation de l'entrée de l'air de compensation (direction, débit et vitesse) est d'autant plus nécessaire que les systèmes extracteurs sont nombreux, une même introduction d'air pouvant servir de compensation à plusieurs cabines. Une introduction mécanique de l'air neuf est préférable, voire indispensable dans certaines configurations, notamment dans de petits ateliers où elle permet un meilleur contrôle de l'apport d'air neuf et de sa diffusion dans le local et évite les courants d'air provenant des ouvertures (portes, fenêtres).

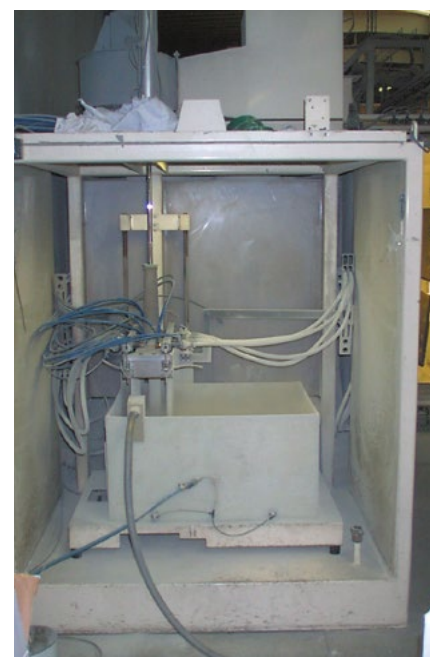
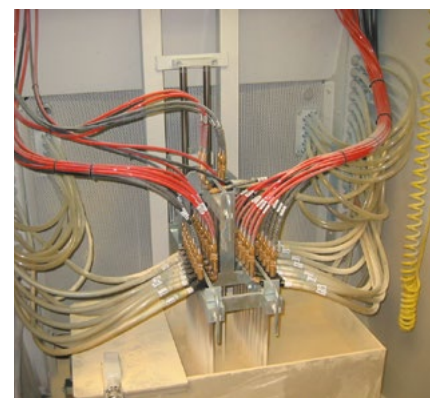
Ces problèmes de compensation de l'air extrait, les difficultés rencontrées pour les résoudre de façon satisfaisante et les surcoûts importants ainsi engendrés, doivent conduire à privilégier tant que faire se peut les cabines fermées. Elles assurent en effet très souvent une meilleure protection des peintres, mais aussi de meilleurs résultats sur le plan de la qualité du revêtement obtenu (grâce au contrôle de la pollution particulaire de l'air de compensation, filtré avant introduction dans la cabine fermée). L'air neuf doit être pris à l'extérieur de l'atelier dans une zone non polluée. Il faut veiller à ne pas recycler involontairement de l'air pollué rejeté en localisant correctement les prises d'air de compensation, en tenant compte de la force et de la direction des vents dominants, du relief, des bâtiments environnants, etc.

5.2. Implantation dans l'atelier

Les problèmes de compensation d'air soulevés dans le paragraphe précédent doivent être pris en compte lors de l'implantation d'une cabine ouverte.

Il faut également veiller à disposer celle-ci de façon à éviter que les courants d'air produits par les activités de l'atelier (manipulations, circulations, aspirations des autres systèmes de captage...) aient une influence néfaste sur son fonctionnement. La mise en place de bavettes (auvents) autour des postes de travail des peintres peut limiter les effets des courants d'air présents dans l'atelier.

Enfin, la possibilité qu'une explosion ou un incendie se déclare dans une cabine de poudrage est à envisager. En conséquence, elle ne doit pas être installée sur le trajet de sortie d'urgence du personnel.



Divers dispositifs d'alimentation en poudre. En haut, la zone de fluidisation est ventilée. À gauche, la fluidisation a lieu directement dans le conditionnement d'origine, ce qui évite le transvasement.

6. Gestion de la peinture poudre

6.1. Approvisionnement en poudre

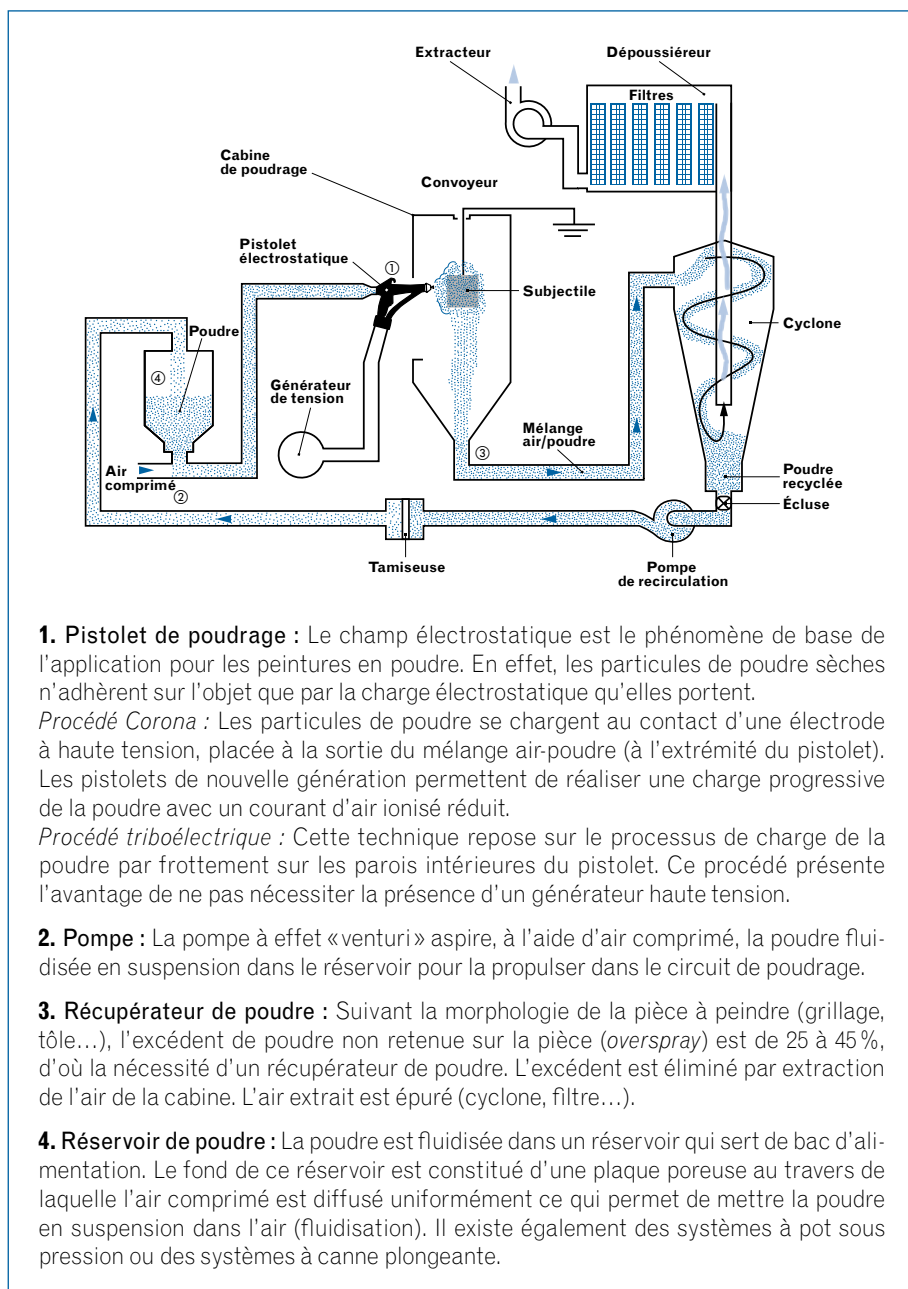
Le transfert de la poudre du conteneur d'origine dans le réservoir de poudre peut être la cause d'une forte exposition des opérateurs par contact cutané ou inhalation. Le soutirage au moyen d'une canne plongeante limite ces risques et est la solution à privilégier. On préférera les installations permettant la fluidisation de la poudre directement dans son conditionnement d'origine. En tous cas, les opérations susceptibles d'entraîner un empoussièrément de l'atmosphère de travail seront effectuées dans une enceinte ventilée spécifique.

Il faut rappeler par ailleurs que le circuit de récupération de l'*overspray* ne peut pas et ne doit pas être utilisé pour le chargement manuel du réservoir de poudre, la capacité des dispositifs d'épuration se trouvant dépassée lors de telles opérations.

6.2. Récupération de la poudre

La poudre projetée en excès est réutilisable mais n'est pas forcément réutilisée. Sa récupération peut être effectuée par divers moyens en fonction du type de cabine, la grande majorité d'entre eux étant basés sur du transport aéraulique (vitesse de transport d'environ 20 m/s) et suivis d'une séparation. C'est l'installation de ventilation de la cabine, couplée à un système de dépoussiérage (cyclones, filtres à manches), qui assure cette fonction (fig. 7). La poudre récupérée peut être considérée comme un déchet ou réutilisée, directement dans le cas d'une cabine travaillant en monotinte. Dans le cas d'une cabine travaillant successivement avec différentes teintes, le mélange de poudres récupéré peut servir à réaliser des couches d'apprêt (dont la couleur n'a pas d'importance).

Figure 7. Représentation schématique d'une installation de ventilation et de récupération de la peinture en poudre dans une cabine de poudrage monotinte.



Quoi qu'il en soit, ces opérations de récupération peuvent entraîner des expositions importantes des opérateurs si elles sont conduites sans précautions. L'objectif sera de limiter au maximum les contacts entre l'opérateur et la poudre ainsi que les émissions

Conteneurs de récupération de poudre en aval d'une installation de dépoussiérage.



de poudre dans l'atelier. Pour ceci, on proscrit notamment tout transvasement de poudre à l'air libre et on privilégiera l'utilisation de fûts perdus pour la récupération des poudres destinées à la destruction. Dans le cas de la réutilisation dans la même installation, on prévoira un dispositif automatisé de retour de la poudre au système d'alimentation du pistolet. La tamiseuse et l'installation de fluidisation seront disposées dans une enceinte ventilée sous dépression.

6.3. Changement de teinte

Un changement de teinte impose un nettoyage poussé de l'installation pour pouvoir assurer la qualité du poudrage à venir. Ce nettoyage est très souvent à l'origine d'expositions importantes des opérateurs. On cherchera donc à limiter l'importance de ce travail.

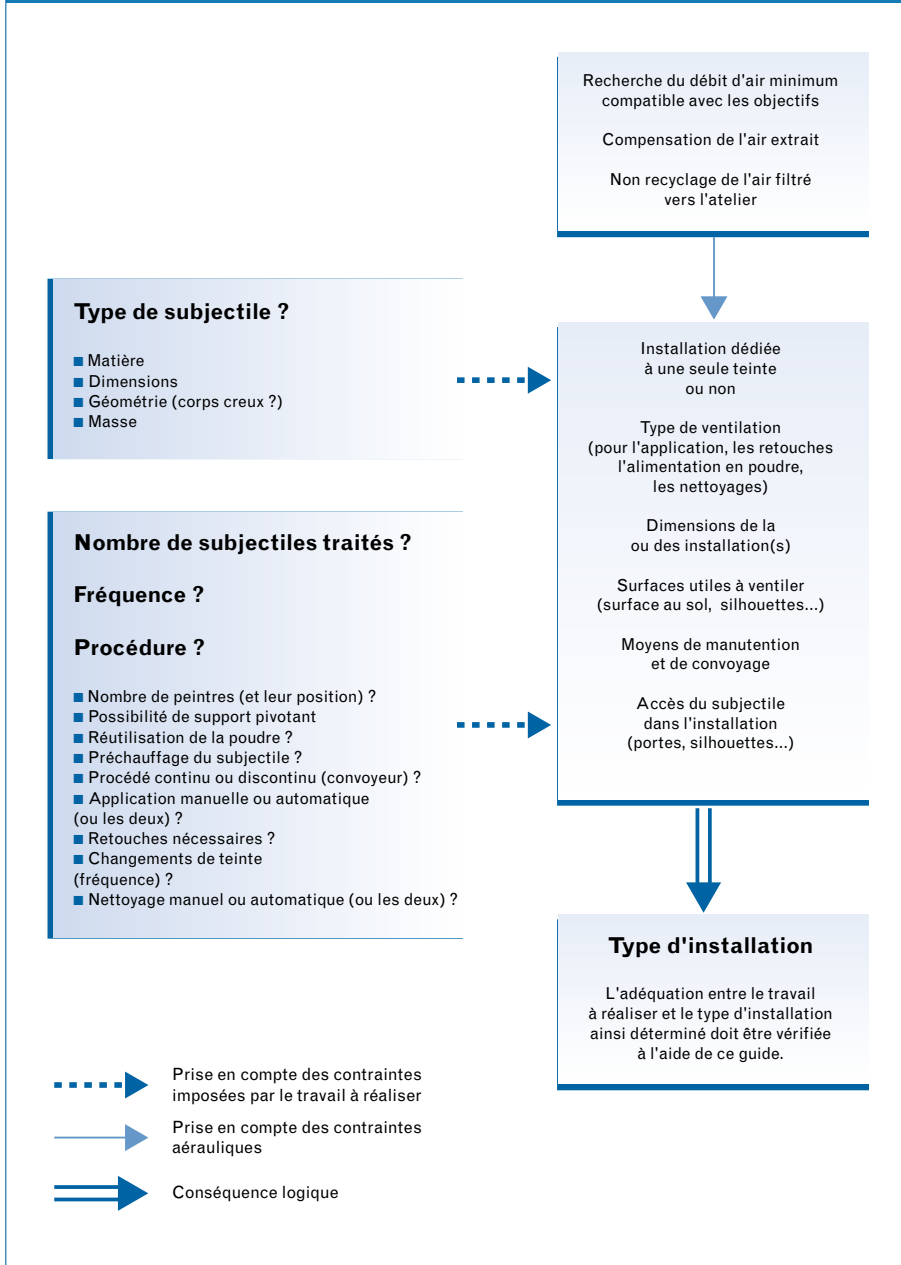
L'idéal est de prévoir une installation par teinte principale. Si ce n'est pas possible, ou pour des teintes

minoritaires, on peut dédier certaines parties de l'installation, par exemple les dispositifs d'alimentation des pistolets (y compris la tuyauterie), à chacune de ces teintes. Le système de dépoussiérage peut également être dédié lorsqu'on cherche à récupérer les poudres teinte par teinte. Sinon, le mélange de poudres sera récupéré pour réutilisation comme apprêt ou pour destruction.

Dans tous les cas, on proscrit l'utilisation de la soufflette en privilégiant l'emploi d'outils aspirants. L'idéal serait un dispositif de nettoyage automatique de la cabine en l'absence d'opérateur.

ENCADRÉ 7

Démarche à suivre pour choisir une installation d'application de poudre adaptée au travail à réaliser



7. Épuration de l'air pollué

Les dispositifs utilisés pour épurer l'air pollué en aval d'une cabine de poudrage sont de 2 types :

- les séparateurs par force centrifuge ou cyclones; leur efficacité croît avec la vitesse périphérique donnée à la particule et le diamètre aérodynamique de cette dernière;
- les séparateurs à couche poreuse; ces derniers se décomposent en filtres à manches en tissu ou feutre et en filtres à cartouche. Le pouvoir filtrant du média doit être conservé tout en assurant le débit d'air extrait tout au long de l'utilisation, ce qui nécessite un décolmatage périodique. Celui-ci peut être mécanique ou pneumatique (contre-courant d'air).

Les filtres ne constituent jamais un barrage absolu aux poussières car les particules les plus fines ne sont pas piégées.

Dans le cas des cabines de poudrage, il est souhaitable de combiner successivement un cyclone et un filtre. Pour réduire les conséquences d'une éventuelle explosion de poussières, on implantera le filtre à l'extérieur des locaux de travail, à l'écart des zones fréquentées.

8. Rejet ou recyclage après épuration

Après épuration, l'air est rejeté à l'extérieur en respectant les règles de protection de l'environnement.

Le recyclage consiste lui à réintroduire l'air dans le local après épuration. Dans le cas des cabines de poudrage, ce procédé est déconseillé, le rejet à l'extérieur de l'air épuré étant, en termes de risques, nettement préférable.

9. Bruit

Pour réduire la gêne occasionnée par les installations de ventilation, il est recommandé que le niveau de bruit au poste de travail soit le plus bas possible. Dans une installation de poudrage, le bruit généré par la cabine d'application n'est souvent qu'un des facteurs contribuant à l'ambiance sonore de l'atelier. En tout état de cause, une valeur globale de 80 dB(A) est techniquement réalisable. Dans le cas particulier des cabines fermées avec opérateur à l'intérieur, il est possible de maintenir le niveau de bruit au poste de travail à des valeurs inférieures à 75 dB(A).

Pour diminuer le bruit on peut employer différents moyens, notamment :

- ventilateurs placés, dans la mesure du possible, à l'extérieur de l'atelier ou faisant l'objet d'un isolement acoustique approprié;

- ventilateurs fonctionnant au plus proche de leur point de meilleur rendement;
- dispositifs de dépoussiérage situés à l'extérieur de l'atelier (cf. § 7).

10. Contrôle et entretien des systèmes de ventilation et des installations connexes

10.1. Généralités

Le contrôle d'une installation doit être effectué au moment de sa première mise en marche et périodiquement. Un contrôle supplémentaire doit intervenir dans les premiers mois suivant la mise en service pour pouvoir réaliser les réglages et mises au point indispensables. Il serait souhaitable d'intégrer, en plus des contrôles de réception, ce contrôle supplémentaire et les réglages qui en découlent dans le cahier des charges de l'installation.

Lors de la première mise en marche, les techniques de contrôle doivent être suffisamment précises pour permettre de réceptionner l'installation en comparant ses caractéristiques à celles du cahier des charges. En cours de fonctionnement, ces techniques doivent être simples pour que l'utilisateur puisse apprécier rapidement l'état de fonctionnement de la ventilation.

Tous les renseignements concernant l'installation seront à consigner dans un registre (dossier d'installation de ventilation) :

- les plans de l'installation avec les points de mesure;
- les calculs théoriques fournis par l'installateur;
- les valeurs mesurées lors de la réception et des contrôles périodiques;
- le calendrier d'entretien;
- les opérations d'entretien effectuées et leurs dates (ex. : changement des médias filtrants);
- les modifications effectuées.

Le contrôle des installations ne doit pas se limiter à celui des paramètres de ventilation mais doit également inclure :

- le contrôle des circuits d'air :
 - vérification de l'étanchéité des gaines ou conduits et de l'échangeur,
 - bon fonctionnement des organes mobiles;
- le contrôle des appareils de chauffage;
- le contrôle du dispositif de dépoussiérage;

L'entreprise utilisatrice doit assurer sur tous ces points :

- une surveillance du bon état par une personne compétente qui peut faire partie de son personnel;
- un entretien périodique par une personne qualifiée qui peut être le fabricant ou l'installateur.

Un résumé des contrôles relatifs à la ventilation est présenté dans le **tableau I**.

TABLEAU 1

Contrôles à effectuer	Méthodologie	Moyens à mettre en œuvre
Propreté des gaines ou conduits	Visualisation par des trappes de visite	Nettoyage par aspiration
Écoulement d'air	Visualisation des mouvements de l'air	Fumigène
Fonctionnement des ventilateurs	Vitesse et sens de rotation	Stroboscope ou tachymètre
	Puissance consommée	Wattmètre
Colmatage des filtres	Pression différentielle (perte de charge)	Manomètre différentiel
Débit de soufflage et d'aspiration	Détermination du champ de vitesses d'air dans les gaines	Anémomètre ou tube de Pitot (NF X 10-112 et NF X 10-102)
Vitesse de l'air	Cf. § 10.3	Anémomètre

10.2. Surveillance du colmatage des filtres par mesure de pression différentielle

Les pertes de performance dues au colmatage des filtres du système de dépoussiérage ou de soufflage doivent être surveillées de façon continue afin que la vitesse de l'air dans la cabine satisfasse toujours aux conditions minimales de ventilation définies précédemment (cf. § 4).

Le colmatage des différents filtres (dépoussiéreurs, soufflages) peut être mesuré par des indicateurs de pression différentielle (perte de charge). Les seules mesures fiables permettant de déclencher une alarme sont en effet les mesures de pression différentielle, avant et après un filtre, car on sait dans quelle fourchette il doit fonctionner.

On rencontre principalement deux types de manomètres différentiels :

- les manomètres à membrane, les prises de pression étant raccordées de part et d'autre d'une membrane souple circulaire; pour obtenir une précision satisfaisante (0,5 daPa) il est nécessaire d'utiliser des appareils de diamètre supérieur à 110 mm;
- les manomètres à colonne de liquide qui sont des tubes remplis d'un liquide coloré; une extrémité est reliée par un tube à l'amont du filtre, l'autre à l'aval.

L'indicateur de pression différentielle est à installer à un endroit visible par l'utilisateur, par exemple sur le tableau de commande de la cabine. Il est conseillé à l'utilisateur d'examiner cet indicateur avant chaque arrêt de travail, à un moment où le régime de ventilation est bien établi.

Le traitement des informations fournies par certains de ces indicateurs peut permettre d'optimiser les fréquences de décolmatage des dépoussiéreurs en les adaptant aux besoins réels diminuant ainsi l'exposition des opérateurs au bruit. Il permet également de déclencher des alarmes si nécessaire.

ENCADRÉ 8

Quelques dispositions permettant d'obtenir un flux d'air homogène

Pour ventiler efficacement une cabine de poudrage, il faut que le flux d'air soit régulier dans le temps et homogène dans l'espace de travail. Pour ceci, on combinera un certain nombre de systèmes et de dispositions tels que :

- Plenum soufflant constituant la totalité du plafond de la cabine.
- Dispositifs permettant de répartir l'air à l'intérieur du plenum ou du caisson (déflecteurs, tôles perforées...) (fig. 8).
- Réduction au minimum, voire suppression, des pans coupés utilisés pour l'éclairage. On adoptera, autant que faire se peut, un éclairage « goutte d'eau » ou « en périphérie ».
- Jonction évasée entre la gaine d'arrivée d'air et le caisson ou plenum.
- Homogénéité de la température de l'air dans le caisson.

Pour assurer une bonne répartition de l'air dans le caisson équipé de filtres, il faut prévoir une pression dynamique (P_d) égale au cinquième de la perte de charge du filtre (ΔP). La surface filtrante étant connue, on déterminera l'épaisseur du caisson de façon à obtenir la vitesse d'air correspondant à la pression dynamique (P_d) souhaitée (fig. 9).

Au niveau du sol, l'homogénéité du flux d'air doit être assurée par le système d'extraction qui peut présenter des configurations variées; l'extraction sur toute la surface du sol est la solution à privilégier. Aussi, les trémies doivent disposer d'une pente suffisante afin d'éviter les accumulations de poussières (fig. 10).

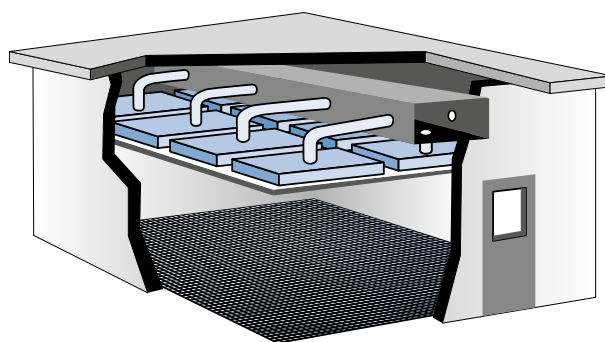
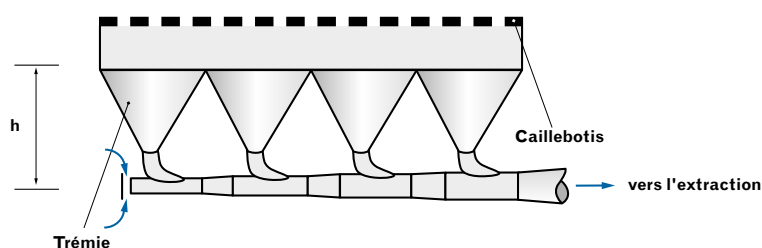
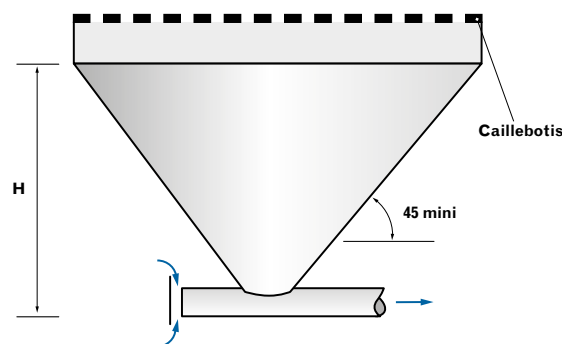


Figure 8. Cabine fermée à ventilation verticale équipée de dispositifs destinés à assurer une bonne répartition de l'air soufflé au plafond.

Figure 10. Pour éviter la rétention des poudres sous le caillebotis, on utilise des trémies ayant un minimum de 45° d'inclinaison. Une grande trémie peut être remplacée par un ensemble de petites trémies afin de limiter la hauteur nécessaire ($h < H$).



ENCADRÉ 8 (SUITE)

Figure 9.

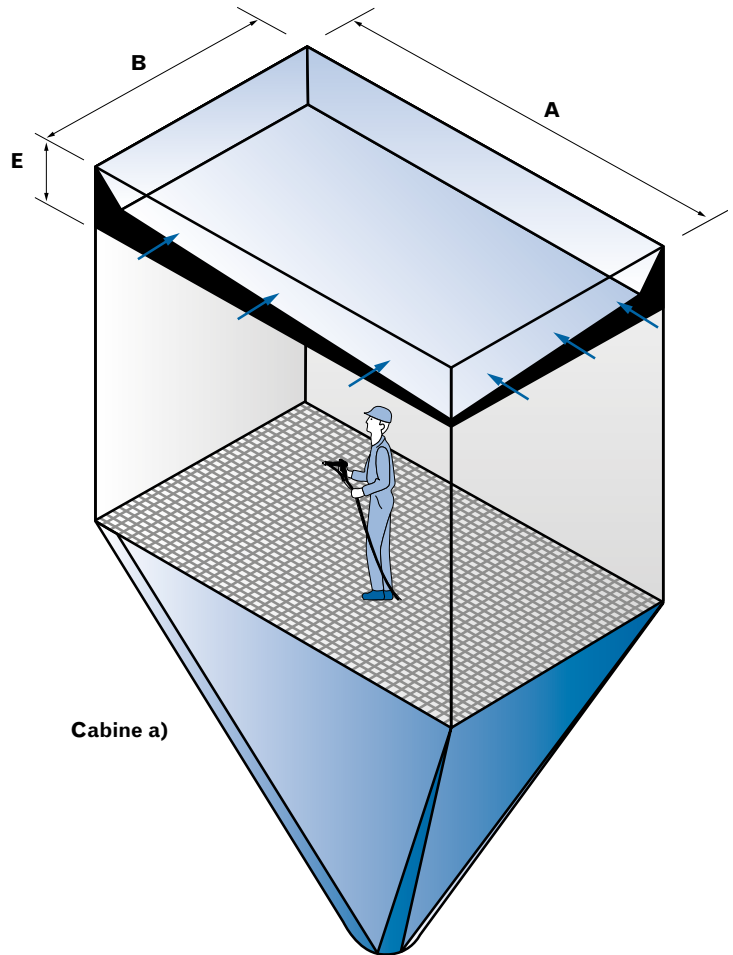
- a) Cabine à ventilation verticale équipée d'un plénum de soufflage.
 b) Cabine à ventilation horizontale équipée d'un caisson de soufflage.

Les données

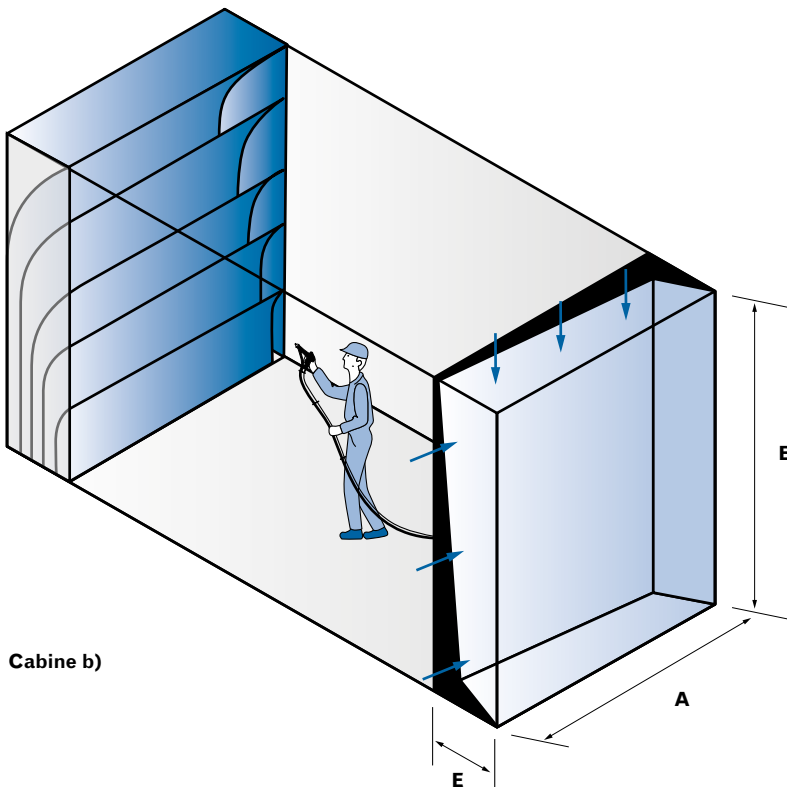
- Soit un caisson ou un plénum de dimensions $A \times B \times E$
- Soit $A = 3,6$ m
- Soit $B = 2,5$ m
- Soit Q le débit d'air filtré ($30\,000$ m³/h)
- Soit ΔP la perte de charge du filtre (64 Pa)
« donnée fabricant »
- Soit ρ la masse volumique de l'air ($1,2$ kg/m³ à 20 °C)

Les inconnues

- Soit P_d la pression dynamique dans la section du caisson ou du plénum suivant le sens d'évacuation de l'air (Pa)
- Soit V la vitesse d'air dans le caisson ou le plénum (m/s)
- Soit E l'épaisseur ou la profondeur du caisson ou du plénum (m)
- Soit S la section d'entrée du caisson ou du plénum perpendiculaire au flux d'air (m²); cette section est imposée par P_d et ΔP



Cabine a)



Cabine b)

Le calcul

- Pour une bonne répartition, il faut :
 $P_d = \Delta P / 5 = 12,8$ Pa
- Sachant que la formule de la pression dynamique est la suivante :
 $P_d = (\rho V^2) / 2$
Ce qui équivaut à $V = \sqrt{2 P_d / \rho} = 4,61$ m/s
- La section S devra être :
 $S = Q / (3600 \times V) = 1,8$ m²
- Donc, pour assurer une bonne répartition, l'épaisseur ou la profondeur du caisson ou du plénum devra être, selon le côté où est effectuée l'entrée de l'air :
 $E = S / A = 0,5$ m ou $E = S / B = 0,72$ m

10.3. Protocole de contrôle de la ventilation des cabines

Les mesures devront être effectuées à l'aide d'un anémomètre procurant une mesure directionnelle et capable d'indiquer des vitesses d'air comprises entre 0,10 et 1 m/s \pm 0,05 m/s.

Lorsque la ventilation est homogène dans le temps, une intégration des mesures sur 60 s est convenable. Lorsqu'elle est hétérogène dans le temps, il est préférable d'intégrer pendant 200 s.

10.3.1 Cabines fermées ou cabines-tunnels, à ventilation verticale avec opérateur à l'intérieur (fig. 11)

Les mesures sont effectuées en cabine vide, à 1 m du sol de la cabine, en excluant une bande de 0,25 m de large le long des parois de la cabine. La surface restante est divisée en N rectangles égaux d'aire comprise entre 1 et 2,25 m². Les points de mesurage sont les centres de ces rectangles, la distance entre les centres de deux rectangles adjacents devant être la plus proche possible de 1,50 m tout en restant inférieure à cette valeur.

Quoi qu'il en soit, le nombre minimal de points de mesurage est de 2 dans la largeur et de 2 dans la longueur. Le flux d'air doit être homogène descendant et toutes les mesures doivent être supérieures à 0,30 m/s.

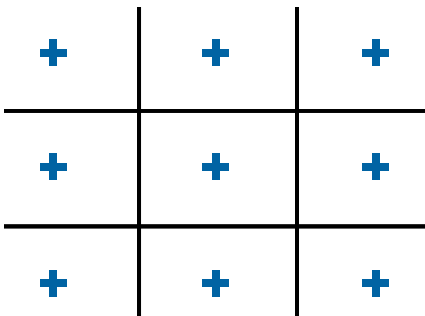


Figure 12.

10.3.2 Cabines fermées à ventilation horizontale avec opérateur à l'intérieur (fig. 12)

Les mesures sont effectuées dans la section verticale de la cabine vide correspondant au plan d'évolution du peintre, perpendiculairement au flux d'air.

On effectue des mesures en 9 points au minimum, régulièrement répartis dans la section de la cabine, 3 en hauteur et 3 en largeur.

Le flux d'air doit être homogène et toutes les mesures doivent être supérieures à 0,50 m/s.

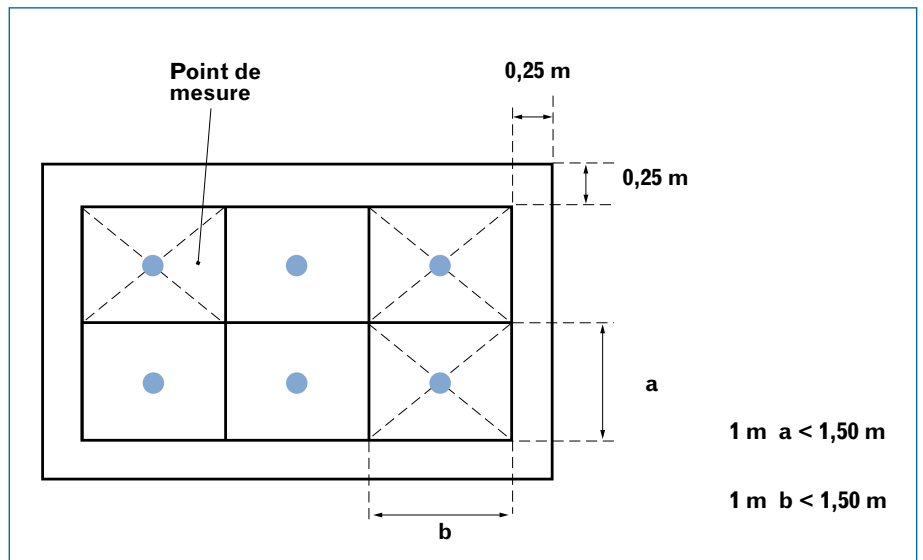


Figure 11.

10.3.3. Cabines ouvertes avec opérateur à l'extérieur (fig. 13)

Les mesures sont effectuées dans le plan de l'ouverture où travaille le peintre.

On effectue les mesures au centre de rectangles de côtés inférieurs à 0,60 m, régulièrement répartis dans le plan de l'ouverture.

Le flux d'air doit être homogène entrant et toutes les mesures doivent être supérieures à 0,50 m/s.

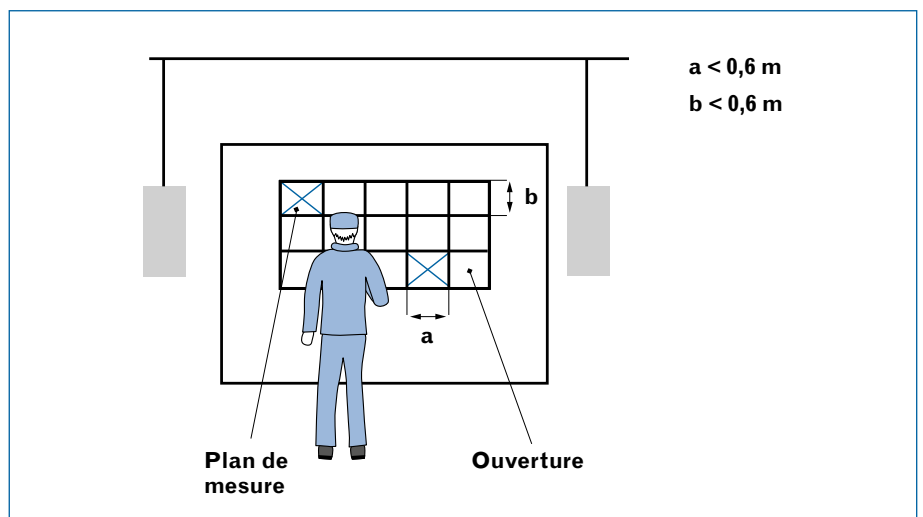


Figure 13.

BIBLIOGRAPHIE

Documents édités par l'INRS, disponibles auprès des Carsat, CGSS et de la Cramif

- *Aération et assainissement*, coll. «Aide-mémoire juridique», INRS, T J 5.
- *Prévention des incendies sur les lieux de travail*, coll. «Aide-mémoire juridique», INRS, T J 20.
- *Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives (ATEX). Guide méthodologique*, INRS, ED 945.
- *La prévention du risque électrique. Textes réglementaires relevant du Code du travail*, INRS, ED 6187.
- *Le bruit en milieu de travail*, coll. «Aide-mémoire juridique», INRS, T J 16.
- *Principes généraux de ventilation*, coll. «Guide pratique de ventilation», guide n° 0, INRS, ED 695.
- *Cabines d'application par pulvérisation de produits liquides*, coll. «Guide pratique de ventilation», guide n° 9.1, INRS, ED 839.
- *Application par pulvérisation de produits liquides. Cas particulier des objets lourds ou encombrants*, coll. «Guide pratique de ventilation», guide n° 9.3, INRS, ED 906.
- *Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation*, INRS, ED 6106.
- *L'électricité statique*, INRS, ED 874.
- *Les mélanges explosifs. Partie 2. Poussières combustibles*, INRS, ED 944.
- *Plomb et composés minéraux*, INRS, Fiche toxicologique n° 59.
- *Cobalt et composés minéraux*, INRS, Fiche toxicologique n° 128.
- *Chromates et dichromates de sodium et de potassium*, INRS, Fiche toxicologique n° 180.
- *Isocyanurate de triglycidyle*, INRS, Fiche toxicologique n° 237.
- *Le dossier d'installation de ventilation*, coll. «Guide pratique de ventilation», n° 10, INRS, ED 6008.

Normes

- NF EN 16985 : « Cabines d'application par pulvérisation de produits de revêtement organiques. Prescriptions de sécurité ».
- NF EN 12981 : « Installations d'application. Cabines d'application par projection de peinture en poudre organique. Exigences de sécurité ».
- NFT 35-011 : « Installations d'application et de séchage des peintures et vernis. Cabines de poudrage sans opérateur à l'intérieur de la cabine. Conception, caractéristiques de fonctionnement et méthodes de mesurage ».
- NF EN 50177 : « Matériels stationnaires de projection électrostatique de poudres de revêtement inflammables. Exigences de sécurité ».
- NF EN 60079-10-2 : « Atmosphères explosives. Partie 10-2 : Classement des emplacements. Atmosphères explosives poussiéreuses ».
- NF EN 1127-1 : « Atmosphères explosives. Prévention de l'explosion et protection contre l'explosion. Partie 1 : Notions fondamentales et méthodologie ».
- NF EN 60529 : « Degrés de protection procurés par les enveloppes ».
- NF EN 60079-0 : « Atmosphères explosives. Partie 0 : Matériel. Exigences générales ».

Les normes peuvent être obtenues en s'adressant à :
L'association française de normalisation (Afnor)
11, avenue Francis-de-Pressensé
93571 Saint-Denis-La-Plaine cedex
Tél. 01 41 62 80 00
www.afnor.fr

Autres documents

- W. Bartknecht, *Explosionen Ablauf und Schutzmassnahmen*, Berlin, Springer Verlag, 1980.
- J.-F. Iparraguirre, N. Dupré, *Explosion de poudre de peinture*, F.A.R. n° 352, avril 1999, p. 42.