

## Polyesters stratifiés

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

Dans le domaine de la prévention des risques professionnels, l'INRS est un organisme scientifique et technique qui travaille, au plan institutionnel, avec la CNAMTS, les Carsat, Cramif, CGSS et plus ponctuellement pour les services de l'État ainsi que pour tout autre organisme s'occupant de prévention des risques professionnels.

Il développe un ensemble de savoir-faire pluridisciplinaires qu'il met à la disposition de tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, médecin du travail, CHSCT, salariés. Face à la complexité des problèmes, l'Institut dispose de compétences scientifiques, techniques et médicales couvrant une très grande variété de disciplines, toutes au service de la maîtrise des risques professionnels.

Ainsi, l'INRS élabore et diffuse des documents intéressant l'hygiène et la sécurité du travail : publications (périodiques ou non), affiches, audiovisuels, multimédias, site Internet... Les publications de l'INRS sont distribuées par les Carsat. Pour les obtenir, adressez-vous au service Prévention de la caisse régionale ou de la caisse générale de votre circonscription, dont l'adresse est mentionnée en fin de brochure.

L'INRS est une association sans but lucratif (loi 1901) constituée sous l'égide de la CNAMTS et soumise au contrôle financier de l'État. Géré par un conseil d'administration constitué à parité d'un collège représentant les employeurs et d'un collège représentant les salariés, il est présidé alternativement par un représentant de chacun des deux collèges. Son financement est assuré en quasi-totalité par le Fonds national de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

### **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)**

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail, la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France et les caisses générales de sécurité sociale disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé 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, ils sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, CHSCT, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Ils assurent la mise à disposition de tous les documents édités par l'INRS.

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).

# Polyesters stratifiés

Ce guide a été rédigé par un groupe de travail constitué de spécialistes de la Cramif, des Carsat et de l'INRS.

Cosmin Patrascu (département Expertise et conseil technique, INRS)

Jean-Raymond Fontaine (département Ingénierie des polluants, INRS)

Corinne Dogan (Centre de mesures et contrôles physiques, Cramif)

Daniel Fouche (Carsat Centre)

Didier Galtier (Carsat Languedoc-Roussillon)

Guy Leberre (Carsat Bretagne)

Véronique Talec (Carsat Aquitaine)

Chantal Ribet (Carsat Midi-Pyrénées)

Jean-Luc Soler (Carsat Sud-Est)

Stéphane Alonso (Carsat Rhône-Alpes)

# Sommaire

<b>1. Domaine d'application</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Généralités</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Les produits</b> .....	<b>5</b>
<b>4. Les procédés</b> .....	<b>6</b>
4.1. L'application manuelle .....	6
4.2. L'application automatisée .....	7
4.3. Les moules fermés .....	7
4.4. L'infusion.....	8
4.5. L'enroulement filamenteux.....	8
<b>5. Effets sur la santé et risques lors de la mise en œuvre, du stockage des pièces ou de la préparation des mélanges</b> .....	<b>8</b>
5.1. Les risques chimiques.....	8
5.2. Le risque incendie/explosion .....	10
<b>6. Principes généraux de prévention</b> .....	<b>10</b>
6.1. La substitution .....	10
6.2. La limitation de l'exposition.....	10
6.3. Les procédés.....	11
6.4. L'organisation de l'activité.....	11
6.5. La ventilation .....	12
<b>7. Mise en œuvre de la ventilation</b> .....	<b>12</b>
7.1. La ventilation générale.....	12
7.2. La ventilation locale par aspiration à la source.....	13

<b>8. Apport d'air de compensation</b> .....	<b>16</b>
<b>9. Transport et traitement de l'air extrait</b> .....	<b>17</b>
9.1. Vitesse de transport .....	17
9.2. Traitement de l'air pollué.....	17
9.3. Récupération d'énergie .....	17
<b>10. Contrôle et maintenance d'une installation de ventilation</b> .....	<b>18</b>
10.1. Réception de l'installation .....	18
10.2. Opérations de maintenance .....	18
10.3. Contrôles périodiques .....	18
<b>11. Bruit</b> .....	<b>18</b>
<b>12. Réglementation</b> .....	<b>18</b>
12.1. Aération, assainissement .....	18
12.2. Prévention du risque chimique.....	19
12.3. Maladies professionnelles ou à caractère professionnel .....	19
12.4. Prévention du risque incendie/explosion .....	19
<b>Annexe 1</b> .....	<b>20</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>22</b>
<b>Dossiers techniques</b> .....	<b>23</b>

## **Avertissement**

Le présent document a été établi par un groupe de travail constitué sous l'égide de la CNAMTS et comprenant des spécialistes de ventilation et nuisances chimiques des CARSAT, de la CRAMIF et de l'INRS.

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, la réception, l'exploitation, l'entretien et le contrôle des installations de ventilation dans un atelier de polyesters stratifiés.

Ce guide se voulant essentiellement un guide pratique, seuls les points essentiels relatifs à la conception des installations de ventilation ont été traités. Les nuisances autres que celles d'ordre chimique, ainsi que les problèmes posés par le rejet des polluants dans l'environnement n'ont pas été abordés.

Son élaboration a été effectuée après consultation des organismes suivants :

- Groupement de la plasturgie industrielle et des composites (GPIC) ;
- Centre technique des industries aéronautiques et thermiques (CETIAT).

En ce qui concerne les nuisances chimiques, l'objectif minimal à atteindre est le maintien de la salubrité de l'air dans les locaux de travail. On cherchera donc à abaisser les concentrations de polluants dans l'air à des niveaux aussi faibles que possible, bien évidemment inférieurs aux valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP).

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° 3).

## 1. Domaine d'application

Ce guide pratique de ventilation concerne l'activité de mise en œuvre du polyester stratifié (appelé parfois simplement stratifié). Il traite des techniques de moulage au contact manuel, de pulvérisation, d'enroulement filamentaire ou de projection simultanée de résine polyester et de fibres de verre coupées, qui sont adoptées pour la fabrication de pièces de formes et de dimensions variées, dans des séries relativement réduites. Compte tenu des nombreuses substances et préparations chimiques mises en œuvre dans ces ateliers, il convient d'apporter une attention particulière aux installations de ventilation qui vont contribuer à la prévention du risque chimique.

Ce guide a pour objectif d'apporter des éléments facilitant l'étude de mise en place du système de ventilation.

Les techniques de mise en œuvre des polyesters à caractère industriel telles que le moulage sous presse, le moulage en continu à partir de tissus de fibres de verre préimprégnés ou la centrifugation, font appel généralement à des solutions spécifiques de captage en relation avec le type de machine utilisé. Elles ne seront pas traitées dans ce guide.

Par ailleurs, dans la mise en œuvre des polyesters stratifiés, la stratification n'est pas la seule opération susceptible d'émettre des polluants atmosphériques. De nombreuses opérations annexes, en particulier la découpe, le nettoyage des outils, la préparation des mélanges et surtout la finition (découpe, détournage, perçage, polissage...), entraînent des émissions importantes.

L'assainissement de l'atmosphère de tous ces postes de travail doit être réalisé en priorité par des systèmes de captage localisés décrits dans le guide de ventilation n° 0 [1] et qui seront peu détaillés dans ce document.

## 2. Généralités

Les polyesters stratifiés sont des matériaux composites formés d'une résine polyester et d'un matériau de renfort en fibres de verre (fils, tissus, mats...).

La mise en œuvre des polyesters stratifiés n'est pas une simple transformation d'un matériau existant ; c'est la fabrication en place d'un nouveau polymère thermodurcissable, à partir de constituants, par une véritable réaction chimique exothermique.

Cette réaction entre monomère et résine est catalysée et accélérée (la plupart du temps les résines actuelles sont pré-accelérées).

Le procédé de stratification industrielle se fait en plusieurs phases. On peut généralement le décomposer ainsi :

- Dépose, sur un moule permettant d'obtenir la forme de pièce désirée, d'un mélange liquide appelé gelcoat constitué de résine polyester, de styrène et de différentes charges (pigments...). Ce gelcoat est la partie visible de la pièce fabriquée. L'application peut se faire au pinceau ou au rouleau mais elle est généralement pratiquée au pistolet de projection par un opérateur ou une machine.
- Dépose d'un matériau de renfort (toile, fibres coupées, mat de verre, fil continu...).
- Imprégnation du renfort avec de la résine à laquelle sont rajoutés l'accélérateur et le catalyseur (l'application de résine peut être réalisée au pinceau, au rouleau ou au pistolet de projection). Ensuite, l'air est chassé par pression à l'aide d'un rouleau (cette opération est appelée ébullage ou débullage).
- Nouvelle dépose d'un matériau de renfort et imprégnation de résine.

Cette dernière opération est renouvelée jusqu'à obtention du nombre de strates souhaité. Des phases d'étuvage peuvent être effectuées entre chaque étape d'élaboration des différentes strates.

### ENCADRÉ 1

#### Définition

Un matériau composite est généralement l'association de fibres (verre, carbone, aramide...) et d'un polymère.

Ces fibres ont généralement pour objet d'améliorer les propriétés physiques, thermiques, mécaniques et électriques du polymère.

Selon les cas, l'activité est automatisée ou manuelle, en vase clos ou à l'air libre.

**Ce procédé qui implique la création successive de plusieurs surfaces d'émission est particulièrement polluant.**

En complément de la stratification proprement dite, la fabrication de pièces en polyester stratifié comporte d'autres sources de pollution :

- préparation des mélanges ;
- durcissement des produits fabriqués ;
- nettoyage des outils (pistolets, rouleaux d'ébullage), des outillages, des moules, des récipients... ;
- finition : détournage, ponçage, perçage, collage ;
- stockage des produits fabriqués, stockage temporaire, stockage des déchets en attente de traitement.

## 3. Les produits

### Le styrène : solvant/réactif, durcisseur, monomère

Hydrocarbure aromatique, le styrène est le réactif essentiel au durcissement (réticulation) et à la mise en forme des résines polyesters. Il a cependant également les caractéristiques d'un solvant et donne aux résines une viscosité suffisamment faible pour une mise en œuvre aisée. Il est utilisé à 30-45 % du poids de la résine pour les formulations classiques.

## Les résines polyesters : matrices plastiques

Il s'agit d'un polymère de type polyester, therm durcissable, en solution dans un monomère (généralement le styrène).

Le gelcoat est une résine polyester contenant des pigments. Généralement, il est appliqué sur la partie visible de la pièce fabriquée (couche de finition). Sa particularité est l'absence de matériau de renfort.

## Les fibres de verre : renforts mécaniques, structures de renfort

Les fils de verre, obtenus par l'association de plusieurs filaments continus ou discontinus de verre, sont le matériau de renfort le plus couramment utilisé. Ils peuvent être employés en tant que tel, coupés, sous forme de tissus ou de non-tissé (mat de verre)... Le renfort représente 30 à 60 % du poids total du stratifié.

## Les catalyseurs : accélérateurs

Ils augmentent la vitesse de réticulation (durcissement). Les produits généralement utilisés sont les sels de cobalt (oxalate, octoacte, naphté-nate). L'utilisation d'amines aromatiques tertiaires (N-diméthylaniline, par exemple) comme accélérateurs a été abandonnée pour des raisons d'atteinte à la santé.

L'emploi de résines pré-accélérées se généralise (le mélange entre la résine et l'accélérateur est réalisé par le fournisseur de résines, ainsi l'utilisateur en évite la manipulation).

## Les peroxydes : initiateurs du durcissement [2, 3]

L'initiateur est introduit au moment de la mise en œuvre de la résine. Le peroxyde de méthyléthylcétone est fréquemment utilisé.

### ENCADRÉ 2

#### Mélange résine et initiateur

Deux procédés peuvent être employés dans l'optique d'une application par pulvérisation.

- Le mélange est effectué avant la buse de projection par un mélangeur statique. Ce procédé a l'avantage de toujours projeter un mélange homogène.
- Le mélange est effectué par la projection de deux jets superposés, jet de résine et jet d'initiateur. Ils se mélangent à l'extérieur du pistolet. Cette technique a l'avantage de ne pas boucher les buses de projection par de la résine réticulée. En revanche, les aérosols ne sont pas homogènes.

## Les solvants : nettoyeurs

Les solvants sont utilisés pour assurer le nettoyage de l'outillage. Le plus utilisé est l'acétone (des esters méthyliques d'acides gras sont testés). Des produits de substitution existent mais nécessitent une validation pour chaque application.

L'utilisation du chlorure de méthylène (dichlorométhane), classé « cancérigène » catégorie 2 (effets cancérigènes suspectés) selon le règlement CLP [4] est à éviter.

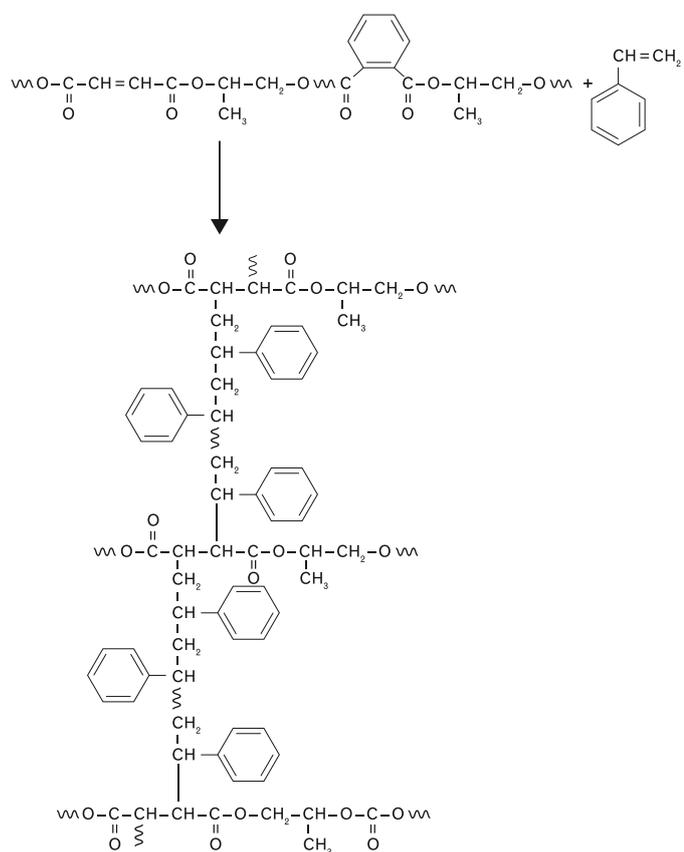


Figure 1. Réticulation (durcissement) de la résine polyester insaturée par le styrène

## 4. Les procédés

### 4.1. L'application manuelle

#### Par contact

L'application de la résine se fait manuellement sur un moule à l'aide d'un rouleau, d'un pinceau...

L'opérateur applique manuellement, les tissus, les mats et autres renforts (drapage).

#### Par pulvérisation

L'application de la résine se fait par projection sur un moule à l'aide d'un pistolet. La résine peut être appliquée seule ou simultanément avec le renfort.

La projection du renfort avec la résine est appelée projection simul-

tanée. Pour cette technique, le fil de verre est coupé au niveau de la buse par un couteau rotatif, et est entraîné dans le flux de résine.

## 4.2. L'application automatisée

L'application de la résine ou l'application simultanée de résine et de renfort est robotisée (*photo 1*).

Un programme, défini en fonction de chaque moule/pièce, guide le robot pour la projection automatisée. L'opérateur conduit l'installation tout en étant isolé de la zone de projection.

## 4.3. Les moules fermés

Ces techniques permettent d'obtenir des niveaux faibles d'exposition car elles sont similaires à des procédés en circuit fermé.

### Le RTM (*resin transfert moulding*) : technique de transfert de la résine vers un moule solide, fermé, mis sous vide

Chaque moule est composé de deux pièces : moule fixe (matrice) et moule mobile (poinçon). Il existe une version appelé RTM-eco ou RTM-light qui est une version plus économique (moule moins rigide, moins coûteux, géné-



Photo 1. Application simultanée (résine et fibre) par un robot

### ENCADRÉ 3

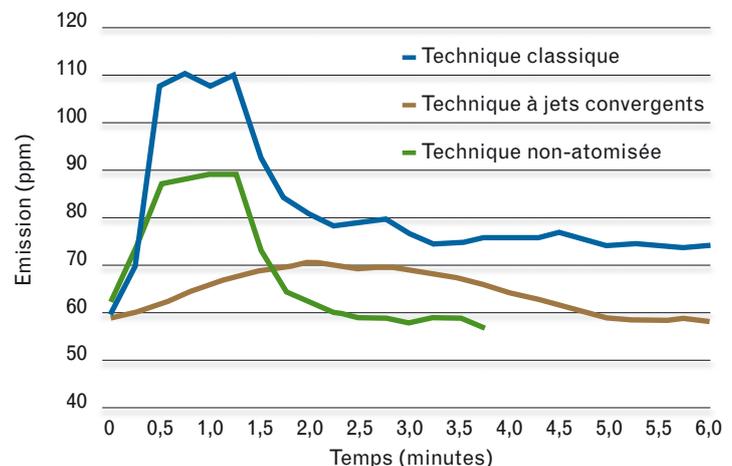
#### Principales méthodes d'application au pistolet



Photo A. Pulvérisation classique

- **La technique classique** (atomisée) : Cette méthode emploie un pistolet muni d'une seule buse supportant des pressions importantes (400 - 800 psi/28-55 bars ou plus). Ce procédé produit des aérosols très fins et donc crée une surface très importante d'évaporation de styrène (*photo A*).
- **La technique à jets convergents** (appelée FIT, *fluid impingement technology*). Cette méthode emploie des pistolets avec deux buses rapprochées qui forment deux jets convergents pour ainsi créer un film de projection. Les pressions au niveau des buses sont de l'ordre de 20-200 psi/1,4 à 14 bars. Ce procédé limite la formation d'aérosols fins et donc diminue l'évaporation de styrène lors de l'application de la résine ou du gelcoat (*photo B*).
- **La technique non-atomisée** (appelée aussi basse pression, *flow coat* et *flow chop*). Cette méthode emploie une buse à jets multiples à basse pression (apparentée à un pommeau de douche). Elle limite la formation d'aérosols fins et donc diminue l'évaporation de styrène lors de l'application de la résine ou du gelcoat.

L'utilisation de technologies dites à jets convergents ou FIT est conseillée. Elles divisent par deux environ l'évaporation de produits lors de l'application (*graphique 1*).



Graphique 1. Taux d'émission de styrène en fonction du temps pour les techniques de projection classique (bleu), à jets convergents (marron) et non-atomisée (vert)



Photo B. Pulvérisation par jets convergents

ralement fabriqué en polyester) utilisée pour la production des petites et moyennes séries.

Le système est sous vide, à température ambiante et à pression contrôlée. Les renforts sont soit disposés préalablement aux endroits souhaités dans le moule, soit mélangés à la résine à injecter. Le mélange (résine/renfort) est transféré au centre ou à la périphérie du moule par le vide. **Le styrène étant théoriquement totalement consommé** par la réaction de réticulation, la pollution est quasi nulle. Cette technologie est adaptée pour les produits nécessitant un bon aspect de finition des deux faces.

**La SMC (*sheet moulding compound*) : technique de moulage de feuillards pré-imprégnés de résine par compression à l'aide d'une presse et d'un moule**

Les feuillards pré-imprégnés sont positionnés dans un moule manuellement ou de manière automatique. Sous l'action de la pression et de la température, ils sont mis en forme et réticulés.

**Le BMC (*bulk moulding compound*) : technique identique à la SMC**

Les feuillards imprégnés sont remplacés par un mélange de fibres et de résine à l'état visqueux sans organisation préalable.

#### 4.4. L'infusion

Ce procédé utilise un demi-moule isolé de l'environnement par une bâche plastique qui permet sa mise sous vide. La résine, additionnée de catalyseurs et d'initiateurs, est transférée et répartie dans le moule grâce au vide préalablement créé. Ce procédé peut être assimilé au RTM. La plupart des activités mettant en œuvre le polyester stratifié peuvent employer cette technique (*photo 2*).

#### 4.5. L'enroulement filamentaire

Ce procédé est utilisable pour des pièces ayant un haut degré de symétrie (cylindres, cônes...). Le principe consiste à pré-imprégner de résine un fil de matériau de renfort et à l'enrouler autour du moule de la forme de l'objet à fabriquer.

Il existe d'autres procédés comme l'injection de mélange résine/fibres qui ne seront pas détaillés dans ce guide.

#### ENCADRÉ 4

##### Méthode d'application

Pour tous les procédés RTM, SMC, BMC, infusion, demandant une couche de finition, l'application du gelcoat en moule ouvert se fait au pinceau, au rouleau, à la spatule ou par pulvérisation.

## 5. Effets sur la santé et risques lors de la mise en œuvre, du stockage des pièces ou de la préparation des mélanges

### 5.1. Les risques chimiques

#### Le styrène, les vapeurs de styrène

Le styrène peut pénétrer dans l'organisme par voie respiratoire ou par contact cutané.

La toxicité aiguë de ce produit se manifeste en particulier par l'irritation des muqueuses respiratoires. Il exerce également une action dépressive sur le système nerveux central et peut entraîner des troubles comme des céphalées, des vertiges ou de la fatigue.

La toxicité chronique se manifeste par une action sur le système nerveux qui provoque les troubles suivants : état de fatigue, céphalées, vertiges, signes d'incoordination...

L'exposition répétée au styrène irrite les muqueuses et la peau. De plus, comme la plupart des hydrocarbures aromatiques, le styrène a un effet ototoxique. Ainsi, l'exposition à ce produit (par inhalation ou contact cutané) détruit les cellules ciliées externes de l'oreille interne [5] et entraîne un risque de surdité.

L'exposition a lieu pendant la préparation des mélanges, pendant les opérations de gelcoatage, d'application simultanée, d'ébullage et pendant le durcissement et le stockage des pièces (*figure 2*).

#### Les solvants de nettoyage

L'acétone est le solvant généralement utilisé.

Même si elle peut être considérée comme moins dangereuse pour la santé humaine que le styrène, selon la classification européenne, le niveau



© Galtier

Photo 2. Technique de l'infusion pour la fabrication d'une pale d'éolienne

d'exposition lié à son emploi est élevé en raison des propriétés physico-chimiques suivantes :

	Point d'éclair (°C)	Tension vapeur à 20 °C (Pa)
Acétone	-18	24 700
Styrène	31	667

L'acétone est classée, selon le règlement CLP, comme « irritant pour les yeux » catégorie 2, « provoquant somnolances ou vertiges » catégorie 3 et « inflammable » catégorie 2. Les affections engendrées par l'exposition à l'acétone font l'objet du tableau de maladies professionnelles n° 84.

De part son excellent pouvoir dégraissant, l'acétone dissout les barrières naturelles de la peau, la rendant ainsi plus sensible aux agressions extérieures. Par ailleurs, l'acétone est irritante pour la peau, les yeux et les muqueuses. Des expositions importantes peuvent provoquer des troubles neurologiques et digestifs [7].

L'exposition a lieu principalement pendant le nettoyage des outils et des équipements de travail ou lors du transvasement du produit. L'exposition secondaire, due aux récipients d'acétone laissés ouverts, est une source non négligeable de pollution qui concerne tous les opérateurs d'un local.

### Les poussières

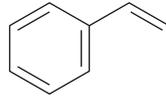
Les poussières de polymère sont considérées comme poussières sans effet spécifique.

La valeur limite moyenne d'exposition professionnelle à considérer est de 5 mg/m<sup>3</sup> pour la fraction alvéolaire et de 10 mg/m<sup>3</sup> pour la fraction inhalable. Les risques sont directement liés à la nature du polyester.

Les poussières proviennent des opérations de détournage, de ponçage et d'ébavurage réalisées lors de la finition des pièces.

### ENCADRÉ 5

#### Le styrène [6]



Il s'agit d'un hydrocarbure aromatique, liquide à température ambiante, volatil (1 000 Pa à 25 °C), inflammable (point d'éclair 31 °C, limite inférieure d'inflammabilité 0,9 %, limite supérieure d'inflammabilité 6,8 %) et dangereux pour la santé humaine.

Il est classé par l'Union européenne « nocif par inhalation » catégorie 4 et « irritant pour les yeux et la peau » catégorie 2. Il est aussi classé « inflammable » catégorie 3. Les affections engendrées par l'exposition au styrène font l'objet du tableau de maladies professionnelles n° 84.

Le CIRC (centre international pour la recherche contre le cancer) classe le styrène en catégorie 2B, « cancérigène possible ».

Les données actuellement disponibles sont insuffisantes et ne permettent pas de conclure à l'absence ou à l'existence d'un effet cancérigène.

En France, un projet de décret prévoit des VLEP contraignantes : VLEP-8h de 23,3 ppm, VLEP-15min de 46,6 ppm et l'attribution d'une mention « peau ». Ces dispositions pourraient entrer en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2017. Au jour de la publication de ce guide, la VLEP-8h indicative est de 50 ppm et la VLEP établie par les différents états européens pour le styrène varie entre 10 ppm et 100 ppm.

L'exposition au styrène est différente selon les secteurs d'activité. À titre d'exemple, les valeurs moyennes d'exposition sur 8 heures dans l'industrie de fabrication du styrène ou du polystyrène varient entre 2 et 20 ppm. Dans l'industrie du polyester stratifié cette exposition varie entre 2 ppm et 200 ppm. Les opérateurs de l'industrie du polyester stratifié sont les plus exposés pour une utilisation représentant 5 % de la production de styrène.

### Les fibres

Les fibres de verre utilisées ne sont pas classées cancérigènes.

Les filaments continus de verre qui sont utilisés pour la fabrication des fils de verre et autres renforts ont un diamètre supérieur à 6 µm et ne sont ni classés ni étiquetés selon le règle-

ment CLP. La VLEP indicative pour les filaments continus est de 1 fibre/cm<sup>3</sup>. Les filaments continus ne sont pas des fibres de verre à usage spécial [8].

L'exposition aux fibres de verre a lieu lors de la manipulation du renfort (tissus, mats, non-tissés, fils...) ou lors des opérations de finition.

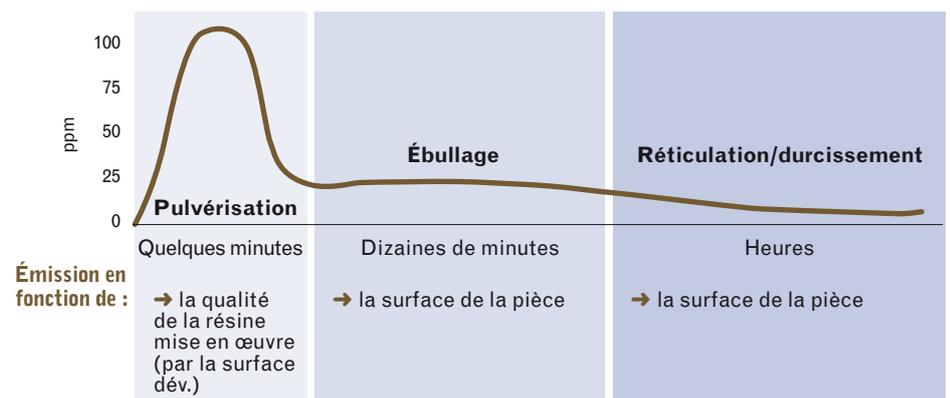


Figure 2. Émission de styrène lors des différentes phases du processus (pulvérisation classique)

## Les catalyseurs : accélérateurs

Les sels de cobalt sont généralement incorporés dans la résine, ce qui diminue l'exposition à ces produits lors de la préparation des mélanges. Néanmoins, les opérateurs peuvent y être exposés pendant l'application de la résine ou durant les opérations mécaniques de finition de la pièce brute.

De nombreux sels de cobalt sont classés officiellement comme sensibilisants cutanés et respiratoires. Ils font l'objet des tableaux de maladies professionnelles n° 70 et n° 65. Les amines aromatiques ont été abandonnées car certaines sont classées « toxiques et cancérigènes » catégorie 2 selon le règlement CLP.

**L'exposition a lieu pendant la préparation des mélanges, lors des opérations de gelcoatage, des applications simultanées, de l'ébullage et des phases annexes.**

## 5.2. Le risque incendie/explosion [9]

Les matières premières liquides (styrène, peroxydes, acétone) et solides (polyesters, notamment poussières de détourage au niveau du dépoussiéreur) sont inflammables ou peuvent participer à la formation d'une atmosphère inflammable ou explosive. Des chiffons, fréquemment utilisés pour le nettoyage des outils ou des moules, restent imbibés avec le solvant de nettoyage, généralement l'acétone. La présence de ces déchets risque d'entraver la maîtrise d'un départ d'incendie.

Certaines phases de la fabrication (étuvage, stockage [10]) ou certaines conditions de travail (chauffage, ventilation) peuvent participer à l'augmentation de la concentration de solvants inflammables. D'autant plus que la réaction de réticulation (durcissement) est exotherme, ce qui participe aussi à l'évaporation du styrène.

## 6. Principes généraux de prévention

Une évaluation précise des risques permet d'identifier et de mettre en place des solutions de prévention pertinentes. Ces solutions suivent une logique simple dictée par la réglementation concernant la prévention du risque chimique. Les différentes étapes de prévention sont détaillées ci-après avec les spécificités associées à l'industrie du polyester stratifié.

### 6.1. La substitution (utilisation de produits moins dangereux/moins volatils)

Pour la substitution du styrène, des applications spécifiques utilisent des monomères acryliques, le vinyle toluène ou le divinylebenzène, alternatives qui pourraient s'avérer moins dangereuses. Actuellement, pour la majorité des applications, compte tenu des contraintes techniques et économiques, il n'existe pas de produit de substitution moins toxique pour le remplacement du styrène. Les amines aromatiques sont à proscrire comme accélérateur. Pour le nettoyage des

outils, des essais de substitution de l'acétone sont en cours (esters méthyliques végétaux, esters dibasiques...).

### 6.2. La limitation de l'exposition

L'utilisation des résines à faible concentration en styrène (LSC, *low styrene content*, jusqu'à 8 % en poids) ou des résines à basse émission de styrène (LES, *low styrene emission*) réduit l'exposition.

Pour rappel, la résine classique peut contenir 30 à 45 % en poids de styrène. Il est recommandé de privilégier, dans les cas techniquement possibles, une résine associant les deux caractéristiques (LSC/LES) (*figure 3*).

Il existe des gelcoats à faible teneur en styrène mais pas de gelcoat à faible émission, pour des raisons de perte d'adhérence avec les couches de stratifié.

#### Avertissement

L'utilisation de résines de type LSC ou LES ne dispense en aucun cas de la mise en œuvre d'une ventilation efficace.

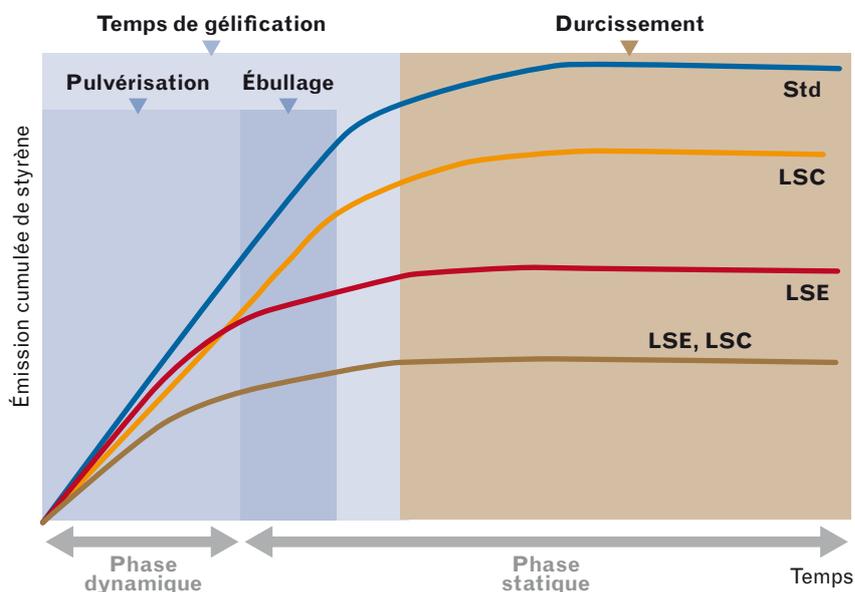


Figure 3. Émission de styrène en fonction du type de résine utilisé [11]

### 6.3. Les procédés

L'utilisation des procédés suivants limite l'exposition des personnes (*tableau I*).

#### Moule fermé (RTM, RTM light-eco, BMC, SMC, infusion) pour des pièces spécifiques

Ces procédés permettent de consommer intégralement le styrène en vase clos. Par conséquent l'exposition a lieu essentiellement pendant la phase de gelcoatage.

#### Résines photoréticulables (ou résines UV)

Le principe consiste à polymériser une couche en surface, initiée par le rayonnement UV. Cette couche (peau) limite l'évaporation du styrène pendant le reste de la réticulation (durcissement).

Cette technologie nécessite l'installation d'enceintes à rayonnement UV et l'emploi de résines traitées pour réticuler sous rayonnement UV. Elle a l'avantage d'utiliser une projection mono-composant (pas de mélange résine/catalyseur).

En revanche, le rayonnement UV doit éclairer uniformément l'intégralité de la pièce.

L'exposition au styrène est présente principalement lors de l'application de la résine qui se fait de manière traditionnelle. S'ajoutent à cela les risques dus aux rayonnements UV (exposition des yeux et de la peau). Plusieurs longueurs d'onde sont utilisées, par exemple 380 nm et 440 nm [12]. Les produits ainsi obtenus sont réservés à des utilisations sans exposition au soleil.

#### Automatisation de certaines phases de procédé

Certaines phases peuvent être robotisées : préparation (mélange des résines, pigments, catalyseurs...), gelcoatage, application contact, projection simultanée (résine et renfort), ébullage, usinage. De cette manière, les opérateurs sont séparés des zones d'émission.

TABLEAU I

PERTE DE STYRÈNE EN FONCTION DE L'ÉTAPE ET DE LA TECHNIQUE UTILISÉE [11]	
Procédé	Perte de styrène en %
Pulvérisation de « gelcoat »	10 - 14
Pistolage résine non LES	7 - 10
Application du « gelcoat » à la brosse	6 - 8
Enroulement filamenteux	5 - 7
Superposition manuelle des couches, résine non LSE	4 - 6
Pistolage résine LES/LSC	4 - 6
Pulvérisation d'une couche de finition	4 - 5
Application de la couche de finition à la brosse	3 - 4
Superposition manuelle des couches, résine LES/LSC	3 - 4
Pultrusion	1 - 3
Béton de résine synthétique	1 - 3
Stratification en continu	1 - 2
Fabrication de SMC ou BMC	1 - 2
Moulage de SMC ou BMC	1 - 2
Procédés en moules fermés (moulage par transfert de résine RTM/RTM léger/infusion)	< 1

L'automatisation de ces phases de travail permet également de réduire les mouvements répétitifs et l'apparition de troubles musculosquelettiques (TMS). Elle génère en revanche des risques supplémentaires liés aux équipements de travail.

#### Buses à jets convergents (FIT)

L'utilisation de buses à jets convergents pour la pulvérisation du gelcoat et la projection de la résine est conseillée pour l'application manuelle ou automatisée. Cet outil réduit la diffusion des aérosols et réduit la rétro-projection (effet de rebond sur la surface, voir encadré 3).

#### Outils aspirants

Les opérations annexes et de finition (détourage, ponçage, perçage) effectuées sur les pièces doivent être faites à l'aide d'outils aspirants. Ces équipements réduisent l'empoussièrement et le dégagement de produits de dégradation dus au frottement [13].

### 6.4. L'organisation de l'activité

**1.** Isoler les phases polluantes (gelcoatage, préparation des mélanges, durcissement, usinage) des autres phases peu ou pas polluantes.

*Ex. En fonction de l'organisation de l'atelier, l'opérateur de finition peut*

#### ENCADRÉ 6

##### Activités à isoler

Les opérations suivantes doivent être réalisées avec un système de captage localisé, dans des locaux indépendants ou dans des zones isolées du reste de l'atelier :

- préparation des mélanges, s'il n'est pas fait automatiquement ;
- application (gelcoat, résine et fibres) sur le moule ;
- finition ;
- stockage et durcissement.

*être exposé fortement au styrène provenant d'autres opérations (à ce poste, il a été mesuré dans un atelier de fabrication de piscine une augmentation de la concentration en styrène de 1,5 ppm à 32 ppm lorsque l'activité voisine de stratification est en cours).*

**2.** Organiser l'activité pour optimiser les installations de ventilation nécessaires (réduction des débits de ventilation) (*voir dossier technique n° 2*).

**3.** Limiter les sources d'exposition. Le nettoyage est une source d'exposition non-négligeable.

*Ex. : Mutualiser les postes de réparation ou de nettoyage...*

## 6.5. La ventilation

Les grands principes de ventilation à prendre en compte pour la conception et le dimensionnement des systèmes de ventilation sont les suivants :

- envelopper au maximum la zone de production du polluant;
- capter au plus près de la zone d'émission;
- placer le dispositif d'aspiration de manière à ce que l'opérateur ne soit pas entre celui-ci et la source de pollution;
- utiliser les mouvements naturels du polluant;
- induire une vitesse d'air suffisante;
- répartir uniformément les vitesses d'air au niveau de la zone de captage;
- compenser les sorties d'air par des entrées d'air correspondantes; il faut compenser l'air extrait par un débit équivalent d'air neuf pris à l'extérieur, loin de toute source de pollution. Cet air doit être filtré et réchauffé en saison froide. La vitesse d'air de compensation sera telle qu'elle ne crée pas de courant d'air perturbateur;
- éviter les courants d'air et les sensations d'inconfort thermique;
- rejeter l'air pollué à l'extérieur des locaux de travail et à l'écart des entrées d'air neuf. Les systèmes à récupération de chaleur de l'air extrait, vu les débits mis en œuvre dans de nombreuses installations, peuvent présenter un intérêt pour l'économie d'énergie. L'air

rejeté doit être préalablement traité si la concentration en polluants est trop élevée afin de respecter les seuils de rejet fixés par le code de l'environnement. Les systèmes les plus répandus sont :

- la filtration sur filtre charbon actif qui nécessite le remplacement régulier des filtres;
- l'incinération (elle ne se justifie que s'il y a une quantité importante de polluants).

## 7. Mise en œuvre de la ventilation

Les différentes techniques utilisables pour la ventilation des ateliers peuvent se classer en deux catégories : la ventilation générale et le captage localisé.

**La ventilation générale opère par dilution des polluants à l'aide d'un apport d'air neuf dans le local de travail de manière à diminuer les concentrations des substances toxiques pour les amener à des valeurs aussi faibles que possible.**

**Le captage localisé (ou ventilation locale par aspiration à la source) consiste à capter les polluants au**

**plus près de leur source d'émission, avant qu'ils ne pénètrent dans la zone des voies respiratoires des travailleurs et ne soient dispersés dans l'atmosphère du local.**

Les sources d'émission doivent être localisées et hiérarchisées pour concevoir la ventilation appropriée.

### 7.1. La ventilation générale

Elle opère par dilution des polluants à l'aide d'un apport d'air neuf dans l'atelier en quantité suffisante pour amener les concentrations de substances dangereuses en dessous des valeurs limites d'exposition. Elle doit aussi privilégier un flux descendant afin d'apporter de l'air neuf au niveau des voies respiratoires. De par son principe même, la ventilation générale seule n'est pas satisfaisante comme moyen de prévention, et ce pour plusieurs raisons :

- elle induit une dispersion du polluant dans tout l'atelier, avec un risque d'accumulation dans certaines zones mal ventilées;
- elle nécessite la mise en œuvre de débits importants;
- elle ne protège pas immédiatement l'opérateur.

#### ENCADRÉ 7

##### Prévention du risque incendie/explosion

La ventilation en place devra permettre d'avoir une concentration en solvants la plus basse possible et au moins inférieure à 10 % de la LIE (limite inférieure d'explosivité) lorsque du personnel est présent dans le local. Le dixième de la LIE des solvants reste en général supérieur aux valeurs limites d'exposition professionnelle correspondantes; on veillera donc, dans ce cas, à limiter l'exposition des salariés présents à un niveau le plus faible possible et en dessous de ces valeurs limites.

Les produits utilisés (solvants et poussières de polyester) étant combustibles, ils peuvent former, dans certaines conditions, des atmosphères explosives (ATEX). Il est de la responsabilité de l'employeur d'évaluer le risque de former des ATEX, d'identifier ces zones (zonage ATEX) et de mettre du matériel, des installations électriques et non électriques ne générant pas de source d'inflammation.

Par ailleurs, l'obligation de l'installateur est de fournir un équipement conçu de manière à éviter le risque d'incendie/explosion et les effets d'une éventuelle explosion.

Aussi, il convient de réaliser une analyse précise de la sécurité de l'installation et de mettre en œuvre un découplage technique entre les différentes parties reliées entre-elles par des conduits, en mettant en place des dispositifs tels que : clapets coupe-feu, clapets anti-retour, écluses rotatives, cheminées de décharge... Ces dispositifs permettent de s'opposer à la propagation d'une explosion vers les parties amont (postes de travail...) et aval de l'installation.

Dans un atelier de stratification, le personnel travaille à proximité des sources de pollution. Il est donc soumis aux variations de concentration existant au voisinage de celles-ci. De plus, la concentration de styrène varie dans le temps en raison principalement de l'existence du pic exothermique.

Dans le cas d'une ventilation générale, il faut calculer le débit d'air nécessaire pour diluer le styrène et amener sa concentration moyenne dans l'atelier en dessous de la valeur limite.

Pour ce calcul, il faut prendre comme base la valeur d'émission maximale de styrène correspondant à l'activité maximale de l'atelier.

Dans la pratique, pour une résine standard (40 % de styrène) utilisée à 20°C, le poids de styrène émis au cours de la mise en œuvre atteint 10 à 15 % de la quantité initialement présente, ce qui correspond à 5 % en moyenne du poids de la résine.

Si  $Q_v$  est le débit de ventilation en  $m^3/h$ ,  $Q_p$  le débit massique de l'émission de styrène dans l'atelier en  $kg/h$  et VLEP, la valeur limite d'exposition professionnelle du styrène en  $mg/m^3$ , la relation utilisée est la suivante :

$$Q_v = \frac{10^6 \times Q_p}{VLEP}$$

$Q_v$  est le débit théorique à mettre en œuvre si l'introduction d'air :

- permettait une dilution instantanée du styrène émis ;
- conduisait à une concentration homogène en tous points de l'atelier.

Ceci est rarement réalisable et, en général, compte tenu des dimensions des ateliers de stratification, des zones mortes et des pics de pollution, il faut faire intervenir un facteur de correction,  $k$ .

La relation s'écrit alors :

$$Q_v = k \times \frac{10^6 \times Q_p}{VLEP}$$

D'une façon générale, l'ACGIH [14] recommande pour  $k$  une valeur comprise entre 3 et 10 dans le cas de l'as-

## ENCADRÉ 8

### Exemple de calcul de l'émission de styrène

#### 1. Fabrication régulièrement répartie sur une journée de 8 heures

Consommation journalière de résine standard : 1 000 kg.

Quantité moyenne de styrène évaporée : 5 % du poids de la résine de base dans les conditions normales.

L'émission atteint 50 kg.

Si l'émission de styrène est répartie régulièrement sur l'ensemble d'une journée de travail de 8 heures, la quantité de styrène émise à l'heure est de 6,25 kg.

#### 2. Fabrication irrégulière

La stratification proprement dite dure 3 heures, l'émission de styrène se poursuit pendant environ 2 heures. La durée d'exposition aux vapeurs de styrène peut donc être évaluée à 5 heures.

La consommation de résine standard pendant cette durée est de 200 kg.

Pour une évaporation moyenne de styrène de 5 % du poids de la résine, l'émission de styrène est de 10 kg, la quantité de styrène émise par heure est de  $10/5 = 2$  kg.

sainissement d'un atelier par une ventilation générale seule.

Les débits d'air nécessaires pour une ventilation générale efficace étant très importants, la ventilation locale par captage à la source doit donc être retenue en priorité. Il est en revanche recommandé d'utiliser la ventilation générale en complément de la ventilation locale, notamment pour assurer un apport d'air neuf dans les locaux et pour diluer les polluants résiduels non directement captés à la source. Outre le maintien de la salubrité de l'atmosphère dans les limites admissibles, l'employeur doit assurer un apport d'air neuf de  $60 m^3$  par occupant et par heure dans les ateliers.

La ventilation générale ne doit être envisagée comme seule technique d'assainissement de l'air que dans les cas exceptionnels où une ventilation locale ne peut pas être mise en œuvre.

## ENCADRÉ 9

### Exemple de calcul du débit d'air neuf

Émission maximale de styrène : 2 kg/h dans les conditions de mise en œuvre ;  
VLEP : 215  $mg/m^3$

D'après la relation déterminée précédemment, le débit d'air à mettre en œuvre est le suivant :

$$Q_v = k \times \frac{10^6 \times 2}{215} \approx 10^4 \times k \text{ (m}^3\text{/h)}$$

avec  $k = 5$ ,  $Q_v = 50\,000 m^3/h$

## 7.2. La ventilation locale par aspiration à la source

Divers dispositifs de captage localisé existent et peuvent être utilisés pour réduire l'exposition aux polluants définis au chapitre 5.

Le *tableau II* présente les vitesses minimales de captage à mettre en œuvre au point d'émission [1].

TABLEAU II

### EXEMPLES DE VALEURS MINIMALES DES VITESSES DE CAPTAGE À METTRE EN ŒUVRE AU POINT D'ÉMISSION (D'APRÈS [14])

Conditions de dispersion du polluant	Exemples	Vitesse de captage (m/s)
<b>Émission sans vitesse initiale en air calme</b>	Évaporation des réservoirs Dégraissage	0,25 - 0,50
<b>Émission à grande vitesse initiale dans une zone à mouvements d'air très rapides</b>	Meulage Décapage à l'abrasif Machine à surfacer le granit	2,5 - 10

### Cas des polluants gazeux

Les vitesses d'air préconisées pour les différents dispositifs de captage présentés ci-après concernent les polluants gazeux.

On utilise la relation  $Q = A \times V$  où  $Q$  est le débit d'air en  $m^3/h$ ,  $A$  est la surface du plan d'ouverture en  $m^2$ ,  $V$  est la vitesse de l'air en  $m/h$ .

#### Cabine à ventilation horizontale avec présence de l'opérateur

Ouverte ou fermée, elle est adaptée à des pièces de taille moyenne ne nécessitant pas le déplacement de l'opérateur autour. Le moule de la pièce (capot de voiture, chaise, bassine) devra être monté sur un axe rotatif pour que

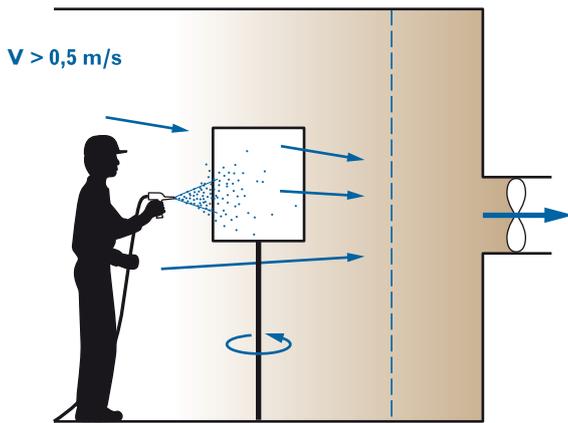


Figure 4. Cabine à ventilation horizontale avec présence de l'opérateur

l'opérateur soit toujours dans un flux d'air neuf (figure 4).

La vitesse de captage recommandée est de 0,5 m/s dans le plan d'ouverture de la cabine.

*Ex. Pour une cabine dont la surface ouverte est de 5 m<sup>2</sup> (2 m x 2,5 m) le débit est :*

$$Q = A \times V$$

$$Q = 5 \times 0,5 \times 3\,600$$

$$Q = 9\,000\,m^3/h$$

#### Cabine fermée à ventilation verticale

Ce dispositif est adapté pour des pièces de grande taille (bateau, piscine...)

La vitesse minimale du flux d'air vertical doit être de 0,3 m/s à 0,9 m du sol en tout point de la cabine vide. Le flux d'air doit être laminaire (figure 5).

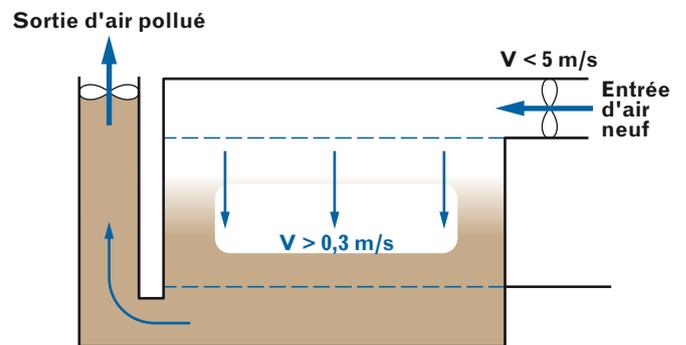


Figure 5. Cabine fermée à ventilation verticale

*Ex. Une cabine ventilée adaptée à une piscine peut avoir une surface au sol de 60 m<sup>2</sup> (5 m x 12 m). Le débit nécessaire est :*

$$Q = A \times V$$

$$Q = 60 \times 0,3 \times 3\,600$$

$$Q = 64\,800\,m^3/h$$

#### Cabine ouverte à ventilation horizontale sans présence de l'opérateur

Ce type de cabine est adapté pour les petits objets. La pièce est positionnée sur un support rotatif (figure 6). L'ensemble doit être intégré dans la cabine. La vitesse de captage recommandée est de 0,5 m/s dans le plan d'ouverture de la cabine.

*Ex. Pour une cabine avec une surface ouverte de 1 m<sup>2</sup>, le débit nécessaire est :*

$$Q = A \times V$$

$$Q = 1 \times 0,5 \times 3\,600$$

$$Q = 1\,800\,m^3/h$$

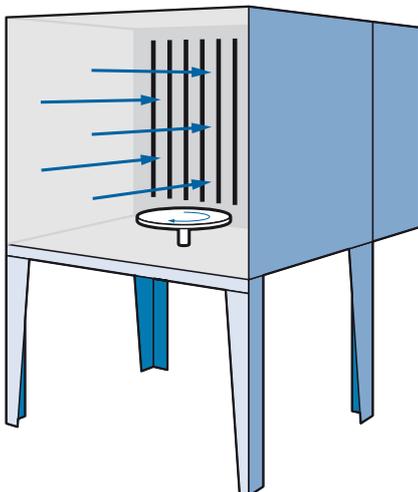


Figure 6. Cabine ouverte à ventilation horizontale

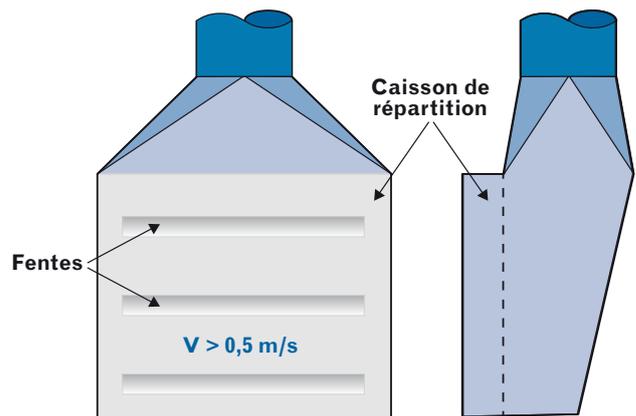


Figure 7. Dossieret aspirant

### Dosseret aspirant

Ces dispositifs ne sont pas recommandés pour la stratification car les débits nécessaires pour garantir un captage efficace des polluants sont nettement supérieurs à ceux nécessaires pour une cabine à ventilation horizontale, du fait de l'absence des parois latérales et supérieures. Néanmoins, ils peuvent être utilisés pour des opérations annexes (bac solvant, poubelle...) (figure 7).

La vitesse de captage recommandée est de 0,5 m/s dans la zone de pollution la plus éloignée.

*Ex. Un dosseret aspirant de 1 m de long posé sur une table de travail d'une profondeur de 0,5 m doit permettre d'atteindre une vitesse d'air de captage de 0,5 m/s en tout point, en particulier au point le plus éloigné de la table de travail. La surface d'ouverture représente dans l'espace un quart de cylindre de hauteur H de 1 m avec un rayon R de 0,5 m. Le débit est alors :*

$$Q = A \times V$$

$$Q = 2\pi R \times H/4 \times V$$

$$Q = 2 \times 3,14 \times 0,5 \times 1/4 \times 0,5 \times 3\,600$$

$$Q = 1\,414 \text{ m}^3/\text{h}$$

### Poubelles ventilées

Elles sont réservées aux déchets (figure 8).

Dans le cas des poubelles fermées, un débit de 100 m<sup>3</sup>/h permet de maintenir une dépression suffisante.

### Anneaux aspirants

Ils peuvent s'adapter sur un récipient pour permettre de garder tous les polluants à l'intérieur. Un bon dimensionnement et un positionnement correct de l'anneau aspirant garantissent l'efficacité avec un faible débit à mettre en œuvre (tableau III).

### Dispositif inducteur au plus près de la zone d'émission (bras aspirant, lèvre aspirante)

Ce dispositif ne doit être utilisé que pour le traitement de petites surfaces sur des pièces qui ne peuvent pas être placées dans une cabine (figure 9). Son efficacité est satisfaisante dès lors que la distance entre le point

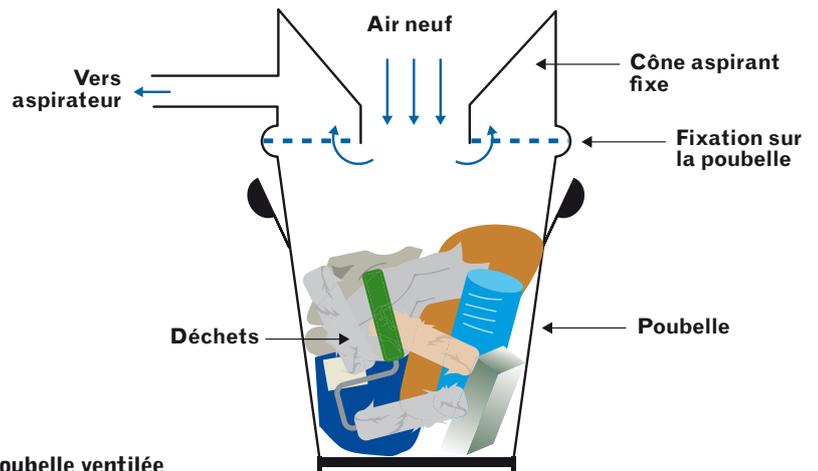
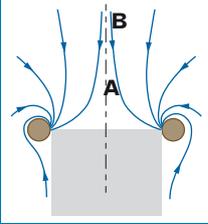
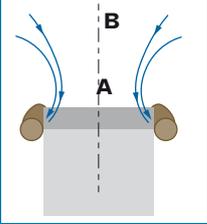
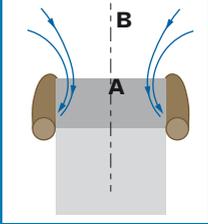


Figure 8. Poubelle ventilée

TABLEAU III

### DÉBITS À METTRE EN ŒUVRE EN FONCTION DU POSITIONNEMENT DE L'ANNEAU ASPIRANT

Pour un récipient d'ouverture circulaire $\varnothing = 500 \text{ mm}$	Anneau sans réhausse	Anneau avec réhausse 0,2 $\varnothing$	Anneau avec réhausse 0,5 $\varnothing$
Débit Q à installer en fonction de la hauteur de la réhausse et de l'efficacité souhaitée			
<b>Acceptable</b> (0,3 m/s en A)	860 m <sup>3</sup> /h	560 m <sup>3</sup> /h	220 m <sup>3</sup> /h
<b>Bon</b> (0,5 m/s en A)	1 440 m <sup>3</sup> /h	940 m <sup>3</sup> /h	560 m <sup>3</sup> /h
<b>Très bon</b> (0,3 m/s en B)	2 260 m <sup>3</sup> /h	1 630 m <sup>3</sup> /h	670 m <sup>3</sup> /h
<b>Excellent</b> (0,5 m/s en B)	3 760 m <sup>3</sup> /h	2 720 m <sup>3</sup> /h	1 120 m <sup>3</sup> /h

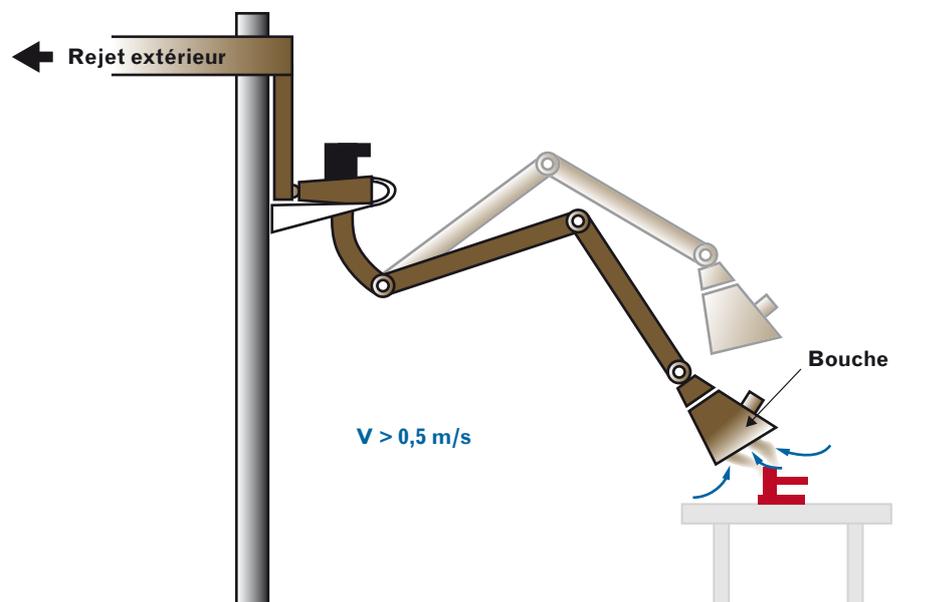


Figure 9. Dispositif inducteur

d'émission et le capteur est inférieure à 20 cm.

La vitesse de captage minimale est de 0,5 m/s au point d'émission des polluants.

**Cas des polluants particulaires**

Ils sont émis lors des opérations de finition.

Compte-tenu des vitesses initiales d'émission des poussières et de leur direction, les dispositifs de captage doivent être positionnés sur la trajectoire des particules et induire une vitesse de captage suffisante (tableau II).

**Outil aspirant [15]**

Le captage sur les machines portatives ne nécessite que de faibles débits (généralement compris entre 80 et 200 m³/h par machine) comparés aux systèmes classiques pour l'aspiration des particules (dix fois plus importants). En revanche, les ventilateurs doivent

compenser l'importante perte de charges élevées, de l'ordre de 10 à 50 kPa.

**Capteur inducteur**

La vitesse de captage recommandée sera comprise entre 2,5 et 10 m/s au point d'émission des polluants. L'efficacité du capteur inducteur dépend aussi de son positionnement : il doit se trouver dans l'axe du cône de rejet de polluants (figure 10).

**ENCADRÉ 10**

**Colmatage des filtres**

Le procédé de projection entraîne fréquemment des problèmes d'encrassement des systèmes d'aspiration (grilles, filtres).

Les dispositifs d'aspiration doivent être conçus de manière à faciliter leur entretien, en particulier pour les aspirations au niveau du sol.

*Ex. Pour une vitesse de captage V de 2,5 m/s à une distance X de 0,25 m de l'ouverture du capteur et une aire A de 0,25 m x 0,25 m, le débit se calcule ainsi :*

$$Q = (5X^2 + A) V;$$

$$Q = (5 \times 0,25^2 + 0,25) \times 2,5;$$

$$Q = 5 062 \text{ m}^3/\text{h}$$

**8. Apport d'air de compensation**

L'air extrait par les systèmes de ventilation locale ou générale doit être compensé par des apports d'air neuf de façon à :

a) assurer l'efficacité des systèmes de ventilation : un sous-dimensionnement des entrées d'air entraîne un accroissement de perte de charge, d'où une diminution des débits et une perte d'efficacité des systèmes de ventilation;

b) éliminer les courants d'air provenant des ouvrants, lesquels entraînent :

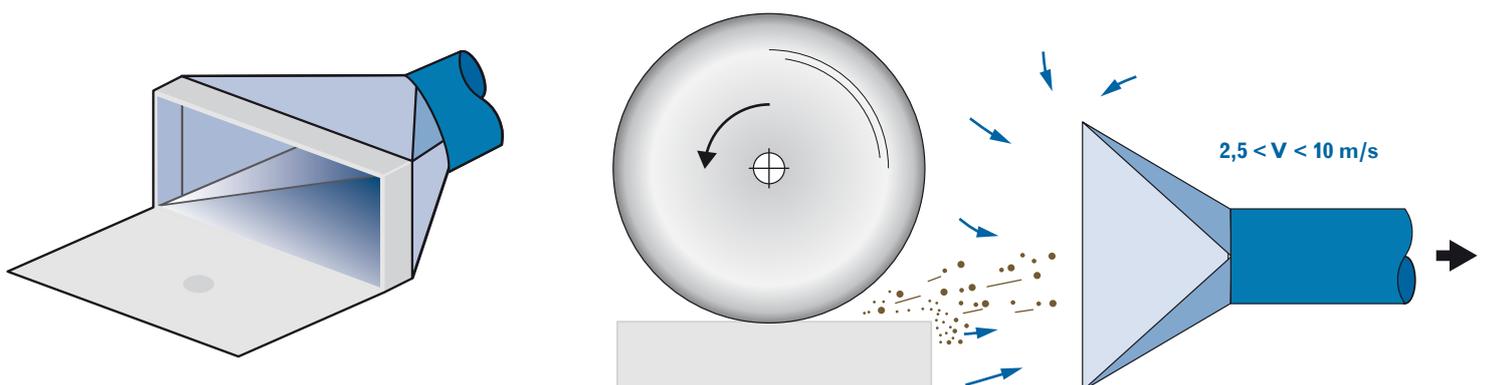
- une perte d'efficacité des dispositifs de ventilation locale;
- une dispersion des polluants à travers l'atelier;
- un inconfort thermique des travailleurs, pouvant inciter à l'arrêt des installations de ventilation.

Au niveau des opérateurs, la vitesse d'air neuf doit être comprise entre 0,1 et 0,2 m/s. Augmenter la surface de diffusion de l'air de compensation permet de diminuer les vitesses d'in-



© Patrick Delapierre pour l'INRS

**Photo 3. Exemple d'outil aspirant**



**Figure 10. Exemples de capteurs inducteurs**

roduction (ex. 10 000 m<sup>3</sup>/h sur 3 m<sup>2</sup> donnent une vitesse d'introduction de 1 m/s).

Une introduction mécanique de l'air est recommandée. En effet, cette disposition permet de maîtriser le traitement de l'air introduit, notamment sa propreté (épuration), sa température et éventuellement son humidité, mais aussi d'assurer une distribution optimale de l'air neuf. Dans la plupart des cas, le débit d'arrivée d'air est prévu égal au débit d'extraction d'air de tous les systèmes existant dans l'atelier.

Dans les ateliers, l'introduction d'air neuf ne doit pas engendrer de perturbation. Le moyen choisi pour amener cet air varie en fonction de la disposition du local et du mode d'exécution du procédé. En règle générale, il faut privilégier un flux descendant et veiller à ce que l'air neuf passe au voisinage des voies respiratoires de l'opérateur.

#### Nota

L'obligation de compenser l'air extrait par un apport d'air neuf, qui doit être chauffé en période froide, a pour conséquence des écarts notables sur les coûts selon les débits mis en jeu par la solution de ventilation retenue. Le choix d'une technique de ventilation locale est le plus à même de limiter les volumes d'air de compensation et donc les coûts d'exploitation correspondants.

## 9. Transport et traitement de l'air extrait

### 9.1. 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 toute sédimentation de polluants qui, à terme, serait

préjudiciable au bon fonctionnement de l'installation.

Les réseaux vapeurs et poussières doivent être séparés. Il faut prévoir *a minima* une vitesse moyenne de transport supérieure à 13 m/s pour les poussières. *A maxima*, la vitesse moyenne de transport sera de 18 m/s pour limiter les nuisances sonores liées à la ventilation.

Pour plus de détails sur la conception des réseaux de ventilation et sur le traitement de l'air pollué, il est conseillé de se reporter aux guides de ventilation n° 0 et 1 [1, 16].

### 9.2. Traitement de l'air pollué

L'objet principal de ce guide étant la conception des dispositifs de captage et de dilution des vapeurs d'agents chimiques dangereux, les problèmes posés par le traitement de l'air pollué (rejet à l'extérieur du local avec ou sans filtration) ne seront évoqués que très sommairement et pour mémoire. On se reportera, pour plus de détails, au guide pratique de ventilation n° 1 [16].

#### 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 polluants à l'extérieur. Il évacue directement les polluants au-dehors des locaux de travail au fur et à mesure de leur production et de leur captage.

Le rejet doit s'effectuer en dehors des zones d'entrée d'air neuf. Si cela est nécessaire pour la protection de l'environnement, l'air doit être filtré avant son rejet dans l'atmosphère.

Les différents dispositifs de captage des polluants d'un atelier peuvent aboutir à des cheminées de rejet individuelles ou être reliés à un réseau de ventilation centralisé avec un ventilateur et une cheminée communs.

### Recyclage de l'air après épuration

L'utilisation du recyclage est soumise à des conditions restrictives limitant son domaine d'application. Le recyclage est formellement déconseillé. Les conditions que doivent respecter les installations de recyclage sont fixées par les articles R. 4222-14 à R. 4222-17 du code du travail.

L'air provenant d'un local à pollution spécifique ne peut être recyclé que s'il est efficacement épuré. Il ne peut être envoyé après recyclage dans d'autres locaux que si la pollution de tous les locaux concernés est de même nature. En cas de recyclage, les concentrations de poussières et de substances dans l'atmosphère du local doivent demeurer inférieures aux valeurs limites d'exposition professionnelle.

Les installations de recyclage doivent comporter un système de surveillance permettant de déceler les défauts des dispositifs d'épuration. En cas de défaut, les mesures nécessaires sont prises par l'employeur pour maintenir le respect des valeurs limites d'exposition professionnelle réglementaires, le cas échéant, en arrêtant le recyclage.

### 9.3. Récupération d'énergie

Les débits d'air extrait sont généralement importants dans les ateliers de plasturgie. L'obligation de compenser l'air extrait par de l'air neuf (à réchauffer en période hivernale) peut conduire à des coûts d'exploitation conséquents. L'utilisation de systèmes de récupération d'énergie sur l'air extrait est particulièrement intéressante.

Une étude INRS [17] a montré que de tels systèmes permettent de couvrir au moins 50 % des besoins énergétiques nécessaires au conditionnement de l'air neuf.

## 10. Contrôle et maintenance d'une installation de ventilation

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

La réglementation impose au chef d'établissement la constitution et la mise à jour d'un dossier pour chaque installation (arrêté du 8 octobre 1987). Ce dossier doit comporter d'une part la notice d'instruction incluant le descriptif de l'installation et les valeurs 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...) [18].

### 10.1. Réception de l'installation

Au plus tard un mois après sa mise en service, l'installation doit être caractérisée par des valeurs de référence qui seront déterminées dans les conditions nominales 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 de référence peut être constitué à partir des résultats des premiers contrôles périodiques réalisés. Le descriptif de l'installation et les valeurs de référence doivent comporter les éléments suivants :

- 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...);
- débits, pressions statiques ou vitesses d'air pour chaque dispositif de

captage : débits dans les conduits, vitesses d'air dans les ouvertures ou au point d'émission des polluants;

- débit global d'air extrait;
- caractéristiques des systèmes de surveillance;
- consignes en cas de panne ou de dysfonctionnement.

### 10.2. Opérations de maintenance

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

### 10.3. Contrôles périodiques

Ces contrôles doivent être effectués par un technicien qualifié appartenant ou non à l'entreprise.

Pour les installations de ventilation avec rejet à l'extérieur, les contrôles périodiques suivants doivent être réalisés tous les ans :

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

Tous ces contrôles permettent de s'assurer que l'on ne s'éloigne pas des valeurs de référence. Ils doivent être consignés dans le dossier de maintenance.

En ce qui concerne les méthodes de contrôle, il convient de se reporter à la brochure sur le dossier d'installation de ventilation [18] et à l'annexe de l'arrêté du 9 octobre 1987 [19].

## 11. Bruit

Pour réduire la gêne occasionnée par les installations de ventilation, le niveau de bruit au poste de travail doit être le plus bas possible. Le fonctionnement des installations de ventilation ne doit pas majorer les niveaux moyens d'ambiance de plus de 2 dBA, à moins que le niveau sonore engendré par ces installations ne dépasse pas les 50 dBA. L'exposition des opérateurs au bruit (toutes sources confondues) pendant 8 heures ne doit pas dépasser 80 dB(A).

L'installation d'une cabine ventilée dans un atelier de stratification peut créer un problème de bruit pour les travailleurs autres que ceux qui interviennent effectivement sur la pièce à fabriquer. Les ventilateurs, qui sont souvent la source importante du bruit de la cabine, doivent, dans la mesure du possible, être placés à l'extérieur de l'atelier ou faire l'objet d'un isolement acoustique approprié.

Afin de diminuer le bruit on peut employer différents moyens, notamment :

- des ventilateurs centrifuges à turbine de grand diamètre tournant à faible vitesse et dont les caractéristiques acoustiques sont bien définies;
- des encoffrements absorbants adaptés aux caractéristiques acoustiques des ventilateurs;
- des silencieux acoustiques interposés entre la sortie du générateur d'air chaud et l'entrée d'air dans le caisson de soufflage, ou entre les ventilateurs d'extraction et les fosses d'extraction, ou les deux à la fois.

## 12. Réglementation

### 12.1. Aération, assainissement

L'aération et l'assainissement des locaux de travail font l'objet des dispositions suivantes du code du travail : articles R. 4212-1 à R. 4212-7 et R. 4222-1 à R. 4222-26 qui s'imposent respecti-

**ENCADRÉ 11****Protection individuelle**

Les équipements de protection individuelle (EPI) adaptés à la mise en œuvre du polyester stratifié sont les appareils de protection respiratoire dotés d'un filtre de type A ou AX, selon le solvant utilisé. Lors des étapes de finition, des filtres A2P2 sont nécessaires. Les gants qui protègent à la fois contre le styrène et l'acétone sont de type Viton®. Le changement régulier des gants et des filtres est nécessaire pour garantir leur efficacité.

vement aux maîtres d'ouvrage lors de la conception des locaux de travail, et aux employeurs utilisateurs de ces locaux. La circulaire du ministère du travail du 9 mai 1985 apporte un commentaire technique sur ces dispositions réglementaires.

Les locaux, où s'exercent des activités mettant en œuvre des polyesters stratifiés pouvant entraîner une exposition à des poussières et à des substances dangereuses, sont considérés comme des locaux à pollution spécifique relevant des articles R. 4222-10 à R. 4222-17 du code du travail.

L'émission de polluants doit être supprimée lorsque les techniques le permettent. À défaut, l'employeur a l'obligation de capter les polluants « 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 ainsi que des mouvements de l'air » (art. R. 4222-12 et R. 4222-13 du code du travail).

La ventilation générale du local est utilisée lorsque la totalité des polluants n'a pu être évacuée.

Captage et ventilation doivent contribuer à maintenir la salubrité de l'atmosphère du lieu de travail de manière à préserver la santé des travailleurs, en veillant à ce que la concentration des poussières et des polluants soit au niveau le plus bas possible et, en tout état de cause, bien au-dessous des valeurs limites d'exposition professionnelle.

Les installations de ventilation doivent être maintenues en bon état de fonctionnement et régulièrement contrôlées (articles R. 4222-20 à R. 4222-22 et arrêté du 8 mai 1987). Le maître d'ouvrage doit établir une notice d'instructions comprenant notamment un dossier de valeurs de référence fixant les caractéristiques de l'installation. L'employeur constitue et tient à jour le dossier d'installation qui contient la notice d'instructions transmise par le maître d'ouvrage. À partir de cette notice, il élabore des consignes d'utilisation contenant un dossier de maintenance.

Des équipements de protection individuelle adaptés sont mis à la disposition des travailleurs lorsque les mesures techniques de protection collective énoncées ne sont pas suffisantes.

**12.2. Prévention du risque chimique**

Les règles générales de prévention du risque chimique relèvent des articles R. 4412-1 à R. 4412-57 du code du travail. Les mesures particulières de prévention à prendre contre les agents cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction sont fixées par les articles R. 4412-59 à R. 4412-93 du code du travail. 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.

**12.3. Maladies professionnelles ou à caractère professionnel**

L'exposition à certaines substances peut être à l'origine de maladies professionnelles inscrites aux tableaux annexés au code de la sécurité sociale ; pour le régime général, se référer aux tableaux n° 65 – Lésions eczématiformes de mécanisme allergique, et n° 84 – Affections engendrées par

les solvants organiques liquides à usage professionnel.

**12.4. Prévention du risque incendie/explosion**

Les règles générales pour la prévention du risque incendie sont décrites dans les articles R. 4216-1 à R. 4216-30 et R. 4227-1 à R. 4227-41 du code du travail.

Les règles générales pour la prévention du risque explosion sont décrites dans les articles R. 4216-31 et R. 4227-42 à R. 4227-54 du code du travail.

# Annexe 1

## Exigences essentielles à intégrer au cahier des charges relatif à la conception d'une installation de ventilation assurant le captage des polluants émis lors de la fabrication de pièces en polyester

Le cahier des charges relatif à une installation de captage des polluants émis aux postes de travail doit s'appuyer sur l'analyse de l'activité afin d'identifier les points d'émission des polluants et de concevoir les dispositifs de captage les mieux adaptés ainsi que leurs conditions d'utilisation (simultanéité de fonctionnement).

### Valeurs limites

Les vapeurs de styrène et d'acétone produites lors de la fabrication de pièces en polyester doivent être captées et rejetées à l'extérieur de l'atelier. Les valeurs d'exposition des opérateurs doivent être maintenues au niveau le plus bas possible et ne pas dépasser les VLEP fixées à 50 ppm pour le styrène et 500 ppm pour l'acétone. Un projet de décret prévoit des VLEP contraignantes pour le styrène : VLEP-8h de 23,3 ppm, VLEP-15min de 46,6 ppm et l'attribution d'une mention « peau ». Ces dispositions pourraient entrer en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2017.

Concernant les poussières émises lors des opérations d'usinage, le captage à la source sur outil portatif et à l'aide de tables ventilées doit permettre de garantir une exposition la plus faible possible et toujours inférieure à

5 mg/m<sup>3</sup> pour la fraction alvéolaire de l'aérosol et de 10 mg/m<sup>3</sup> pour la fraction inhalable.

### Optimisation du captage à la source

Les dispositifs de captage des vapeurs émises lors de la projection de gelcoat et de résine, durant la polymérisation des pièces et lors du nettoyage des outils doivent être de type enveloppant et garantir une vitesse entrante de l'air supérieure à 0,5 m/s dans les plans d'ouverture.

Les dispositifs de captage de type inducteur doivent garantir une vitesse minimale de captage de 0,5 m/s au point d'émission des polluants.

En cas d'utilisation d'une cabine à ventilation verticale descendante, la vitesse mesurée à 0,9 m du sol devra être supérieure à 0,3 m/s.

Pour les poussières issues des travaux de finition (ponçage, meulage...) les vitesses d'air au point d'émission devront être supérieures à 2,5 m/s.

Les débits d'aspiration à mettre en œuvre sur les outils portatifs aspirants sont fixés à 80 m<sup>3</sup>/h pour les ponçuses. Pour les autres outils, l'objec-

tif, en termes de débit d'air aspiré, est à fixer au cas par cas en fonction de l'outil considéré.

### Vitesses d'air dans les conduits

Elles seront comprises entre 13 et 18 m/s pour assurer le transport des polluants particuliers.

### Épuration, filtration

L'air extrait doit être rejeté à l'extérieur de l'atelier.

Pour le réseau de captage des poussières, un système de filtration de l'air extrait est impératif.

### Dispositifs pour lutter contre l'incendie et l'explosion

Les produits utilisés (solvants et poussières de polyester) étant combustibles, ils peuvent former, dans certaines conditions, des atmosphères explosives (ATEX). Il est de la responsabilité de l'employeur d'évaluer le risque de former des ATEX, d'identifier ces zones (zonage ATEX) et de mettre du matériel ou des installations électriques

et non électriques ne générant pas de source d'inflammation.

Par ailleurs, l'obligation de l'installateur est de fournir une installation conçue de manière à éviter le risque d'incendie/explosion et les effets d'une éventuelle explosion.

Aussi, il convient de réaliser une analyse précise de la sécurité de l'installation et de mettre en œuvre un découplage technique entre les différentes parties de l'installation reliées entre-elles par des conduits, en installant des dispositifs tels que : clapets coupe-feu, clapets anti-retour, écluses rotatives, cheminées de décharge... Ces dispositifs permettent de s'opposer à la propagation d'une explosion vers les parties amont (postes de travail...) et aval de l'installation.

**Les installateurs doivent apporter la preuve que leurs dispositifs ont été testés et certifiés ATEX en tant que système de protection par un organisme notifié pour une utilisation en zone ATEX.**

## **Bruit des installations**

En règle générale, le fonctionnement des installations de ventilation ne devrait pas majorer les niveaux moyens d'ambiance de plus de 2 dB(A) à moins

que le niveau sonore engendré par ces [seules] installations ne dépasse pas 50 dB(A). La valeur d'exposition des opérateurs au bruit (toutes sources confondues) pendant 8 heures ne doit pas dépasser 80 dB(A).

## **Contrôle et maintenance des installations de ventilation**

L'installateur doit procéder aux mesurages des paramètres aérauliques (vitesses d'air, débits, pressions statiques) du réseau de ventilation à l'aide d'un percement réalisé dans chacune des branches du réseau. Les percements seront faits loin de toute singularité afin de pouvoir réaliser le réglage et la vérification des performances de l'installation.

De plus, l'installateur doit fournir les informations propres à permettre les vérifications et notamment la nature des contrôles à effectuer. Les paramètres quantifiés de bon fonctionnement, la fréquence des mesures nécessaires, les emplacements et les moyens implantés à cette intention seront fournis à l'utilisateur.

Ces éléments permettront à l'utilisateur d'établir un dossier d'installation d'aération et d'assainissement des locaux de travail [18].

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Principes généraux de ventilation*, INRS, coll. « Guide pratique de ventilation », ED 695, 1989.
- [2] *Peroxydes. Risques à l'utilisation et mesures de sécurité*, INRS, coll. « Fiche pratique de sécurité », ED 41, 1993.
- [3] *Les peroxydes et leur utilisation*, INRS, Cahier de notes documentaire - Hygiène et sécurité du travail, ND 2162, 2002.
- [4] Règlement (CE) modifié n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) n° 1907/2006.
- [5] *Bruit et agents ototoxiques*, INRS, coll. « Le point des connaissances sur », ED 5028, 2005.
- [6] *Styrène*, INRS, coll. « Fiche toxicologique », FT 2, 2012.
- [7] *Acétone*, INRS, coll. « Fiche toxicologique », FT 3, 2008.
- [8] *Les fibres*, INRS, Dossier Web, DW 29, 2008.
- [9] *Évaluation du risque incendie dans l'entreprise. Guide méthodologique*, INRS, ED 970, 2012.
- [10] *Stockage et transfert des produits chimiques dangereux*, INRS, ED753, 2009.
- [11] *Safe handling of unsaturated polyester resins*. Technical Bulletin. Plastics Europe 2005.
- [12] *Effets sur la santé de l'exposition professionnelle aux rayonnements ultraviolets*, INRS, Documents pour le médecin du travail, TC 48, 1994.
- [13] *Installations d'aspiration de poussières pour des machines à bois portatives et pour le nettoyage. Aide à la rédaction d'un cahier des charges*. INRS, ED 6052, 2009.
- [14] Crandall M S – *Extent of exposure to styrene in the reinforced plastic boat making industry*. NIOSH technical report, n° 82-110, 1982.
- [15] *Seconde transformation du bois*, INRS, coll. « Guide pratique de ventilation », ED 750, 2011.
- [16] *L'assainissement de l'air des locaux de travail*, INRS, coll. « Guide pratique de ventilation », ED 657, 1989.
- [17] Rapp R – *Technical and financial assessment of a plastic workshop ventilation incorporating a plate heat recovery unit*. INRS, NOETUDE/P2013-044/CR 20, 2013.
- [18] *Le dossier d'installation de ventilation*, INRS, coll. « Guide pratique de ventilation », ED 6008, 2007.
- [19] Arrêté du 9 octobre 1987 relatif au contrôle de l'aération et de l'assainissement des locaux de travail pouvant être prescrit par l'inspecteur du travail

## POUR EN SAVOIR PLUS

- *Matières plastiques et adjuvants*, INRS, ED 638.
- Trotignon JP, Verdu J, Dobraczynski A, Piperaud M – *Matières plastiques*, Les précis AFNOR/NATHAN, Paris, 1996.
- Carrega M – *Aide mémoire matières plastiques*, DUNOD, 2<sup>e</sup> édition, 2009.
- *Machines portatives et poussières de bois*, OPPBTP, 2009.
- *Panorama des expositions professionnelles à des composés organiques volatils entre 2003 et 2010*, INRS, Cahier de notes documentaire - Hygiène et sécurité du travail, ND 2349, 2011.
- *Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France*, INRS, ED 984.
- *Les maladies professionnelles (régime général)*, INRS, coll. « Aide-mémoire juridique », TJ 19, 2012.

# Dossiers techniques

<b>Dossier technique 1</b>	Atelier de montage	<b>24</b>
<b>Dossier technique 2</b>	Fabrication de pièces techniques par SMC	<b>26</b>
<b>Dossier technique 3</b>	Fabrication de piscines	<b>28</b>
<b>Dossier technique 4</b>	Fabrication de piscines	<b>30</b>
<b>Dossier technique 5</b>	Fabrication de panneaux polyesters de grande dimension	<b>32</b>
<b>Dossier technique 6</b>	Fabrication de silos	<b>36</b>
<b>Dossier technique 7</b>	Fabrication automobile	<b>38</b>
<b>Dossier technique 8</b>	Fabrication de pales d'éolienne	<b>40</b>
<b>Dossier technique 9</b>	Fabrication de pièces par enroulement filamentaire	<b>42</b>

# Dossier technique 1

## Atelier de montage

### Contexte

L'entreprise fabrique des armoires en polyester stratifié. La structure des armoires et des éléments est fabriquée par différentes techniques de moulage au contact après application de gelcoat : RTM (*resin transfer moulding*), SMC (*sheet moulding compound*).

Ce dossier traitera les postes d'application manuelle dans l'atelier de montage afin d'évaluer la solution de ventilation mise en œuvre pour les opérations effectuées.

Les différents éléments sont assemblés manuellement. Les étapes de fabrication pour ces pièces sont :

- application de la résine au pinceau ;

- application des tissus et mats de renfort en verre ;
- ébullage au rouleau.

En fonction de la taille des armoires et coffrets, une installation de ventilation dessert deux solutions de captage différentes pour traiter les émissions de vapeurs engendrées par ces opérations.

### Solution : ventilation

Un carrousel avec six plateaux tournants est encoffré dans un caisson hexagonal (*photo 1*). Les plateaux sont chargés avec les armoires à assembler. Le caisson a une face ouverte pour permettre l'accès de l'opérateur

afin d'effectuer la stratification manuelle. L'opérateur se trouve dans la face ouverte du carrousel. Les pièces fraîchement enduites sont, à tour de rôle, amenées par le carrousel vers le fond du caisson. De cette manière, les dégagements associés à la fin de la polymérisation sont captés par la ventilation du caisson.

Chaque plateau peut recevoir deux armoires ou coffrets en polyester stratifié. Le fait qu'ils soient tournants permet à l'opérateur de se placer dans le flux d'air neuf (*photo 2*).

Le volume d'air extrait par ce caisson est de 3 500 à 4 000 m<sup>3</sup>/h, débit qui permet d'atteindre une vitesse d'air dans la surface ouverte du caisson



© Carsat Alonso

Photo 1. Caisson hexagonal ventilé



© Carsat Alonso

Photo 2. Opérateur d'application manuelle de polyester stratifié

de 0,4 m/s. Des tests, au moyen d'un tube fumigène et d'un anémomètre, ont permis de matérialiser une répartition homogène des vitesses d'air au travers de la surface ouverte.

### Cas de montage de grandes armoires

Trois bras escamotables sur potence permettent de capter les vapeurs émises (styrène, acétone) au-dessus de trois tables élévatrices (rotation du plateau prévue).

Le bras est également coulissant afin de pouvoir plonger au sein des armoires (*photo 3*). Ainsi, un phénomène d'encoiffement et de balayage plus efficace est créé dans la zone d'émission.

La compensation de l'air extrait est

assurée au moyen d'une gaine textile relié à un brûleur veine d'air placé aux abords de l'atelier (réchauffage de l'air neuf introduit).

### Exposition

Les expositions au styrène lors des différentes opérations sont résumées dans le *tableau 1*.

Les mesures de bruit en plusieurs points de l'atelier ont révélé des valeurs comprises entre 63 et 75 dB(A).

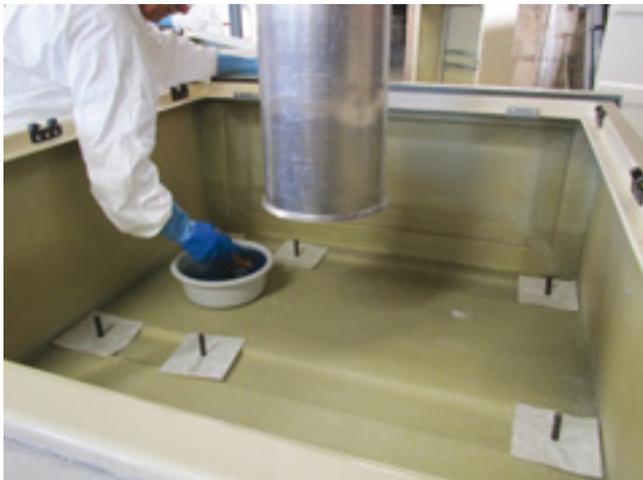
### Points forts et améliorations

La solution de captage en carrousel encoffré est particulièrement bien

adaptée à la fabrication de plusieurs pièces à la chaîne. Ainsi, l'opérateur est toujours placé dans un flux d'air neuf et le dégagement de styrène résiduel lors de la réticulation est capté. Les vitesses d'air sont suffisantes.

Le captage par bras aspirant pour les opérations de montage est efficace. En revanche, il est tributaire du bon placement du bras.

L'efficacité du carrousel peut être améliorée par l'installation d'un support pour les outils de travail et les récipients de résine et solvant à l'intérieur du caisson d'aspiration. Ainsi, toutes les sources de pollution se retrouveront confinées et captées.



**Photo 3. Bras aspirant utilisé pour les opérations de montage dans les grandes armoires**

**TABLEAU 1**

#### RÉSULTATS DES MESURES D'EXPOSITION

	Exposition au styrène (ppm)
<b>Opérateur : phase spécifique d'application de résine, grandes armoires</b>	4 - 9
<b>Moyenne opérateur montage, grandes armoires</b>	3 - 5
<b>Opérateur : phase spécifique d'application de résine dans le carrousel</b>	10
<b>Moyenne opérateur carrousel</b>	5

# Dossier technique 2

## Fabrication de pièces techniques par SMC

### Contexte

L'entreprise fabrique des pièces techniques en polyester renforcé avec de la fibre de verre. Les techniques de fabrication utilisées sont le SMC (*sheet moulding compound*) et le BMC (*bulk moulding compound*).

Le processus de fabrication SMC comprend les étapes suivantes :

- découpe de feuilles pré-imprégnées (tissus ou mat de verre imprégné de résine polyester) ;
- pesée des éléments découpés ;
- positionnement des feuilles découpées dans le moule ;
- transformation de la matière par compression et moulage à chaud pour obtenir la pièce finie ;
- finition des pièces (détourage, ébavurage et ponçage manuel et mécanique).

L'exposition au styrène a lieu principalement lors des opérations de découpe et de pesée des bandes, à l'ouverture du moule et à la sortie des pièces du moule.

L'exposition aux poussières est importante lors des phases de finition.

### Solution : ventilation

#### Postes ventilés pour la découpe et la pesée des feuilles pré-imprégnées

Les rouleaux de feuilles pré-imprégnées sont positionnés dans une en-

ceinte à parois flexibles mise en dépression, derrière la table de découpe. La table de découpe est confinée dans un caisson (*photo 1 et 2*).

Le débit d'extraction mis en œuvre permet d'assurer une vitesse d'air de 0,5 m/s dans le plan d'ouverture. La mesure de la concentration en styrène s'élève à :

- 160 ppm à 2 cm au-dessus de la feuille pré-imprégnée,
- 3 à 8 ppm au niveau des voies respiratoires de l'opérateur.

Une fois coupées, les feuilles pré-imprégnées sont pesées sur la balance à l'arrière de laquelle est installé un dossier aspirant (*photo 3 et 4*). La vitesse d'entraînement des polluants émis est égale à 0,7 m/s. À ce poste la concentration en styrène est de :

- 15 ppm à 2 cm au-dessus des bandes découpées ;
- 5 ppm au niveau des voies respiratoires de l'opérateur.

Le débit d'extraction pour les deux caissons avoisine les 3 000 m<sup>3</sup>/h et le niveau sonore au poste de travail dû au seul fonctionnement de la ventilation est égal à 67 dB(A).

#### Robot de découpe SMC mis en dépression

Les rouleaux de feuilles pré-imprégnées sont aussi découpés par un robot de découpe (*photo 5*). Le robot est capoté. L'enceinte est raccordée à un

réseau d'aspiration avec un débit de 400 m<sup>3</sup>/h permettant de garantir des vitesses d'air supérieures à 0,3 m/s dans le plan d'ouverture; vitesses suffisantes car il n'y a pas de présence d'opérateur. Le niveau sonore dû au seul fonctionnement de la ventilation est inférieur à 70 dB(A).

#### Tables de ponçage à aspiration par le plan de travail

La finition des pièces se fait manuellement sur une table de ponçage avec plan de travail et dossier aspirants (*photo 6*).

Le débit mis en œuvre permet d'induire une vitesse moyenne de 0,45 m/s à 10 cm au-dessus du plan de travail. Le niveau sonore dû à la ventilation seule en fonctionnement est égal à 72 dB(A).

### Exposition

Le détail des mesures de concentration en styrène a été donné dans le paragraphe « postes ventilés ». Les expositions individuelles sont toutes inférieures à 10 ppm.

Pour le poste de finition, les mesures d'empoissièrement effectuées au niveau des voies respiratoires à l'aide d'un photomètre à lecture instantanée permettent de conclure que la mise en service de la ventilation de la table réduit l'exposition aux poussières d'un facteur 4 (*figure 1*).



© Carsat Bretagne



© Carsat Bretagne

Photo 1. Opération de découpe manuelle

Photo 2. Table de découpe vue de l'arrière avec le rouleau placé dans une enceinte en dépression



© Carsat Bretagne

Photo 3. Opération de pesée



© Carsat Bretagne

Photo 4. Vue d'ensemble des postes lors d'une opération de pesée des feuilles pré-imprégnées

### Points forts et améliorations

La ventilation est bien dimensionnée par rapport aux opérations effectuées aux différents postes.

L'utilisation d'outils aspirants sur la table de ponçage permettrait de diminuer encore l'exposition aux pous-

sières notamment lors de l'usage de pièces volumineuses.

La compensation du débit d'air extrait par les différentes installations de captage doit être réalisée à l'aide d'un dispositif de diffusion à basse vitesse d'air réchauffé en période froide.



© Carsat Bretagne

Photo 5. Mise en dépression du robot de découpe



© Carsat Bretagne

Photo 6. Table de finition

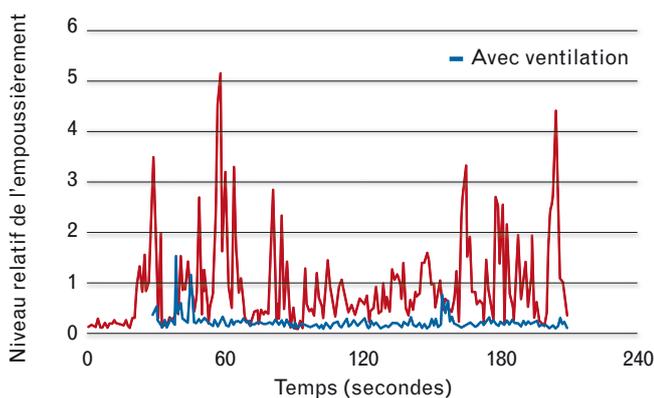


Figure 1. Exposition relative de l'opérateur chargé de la finition des pièces avec et sans aspiration pendant un cycle de travail identique



© Carsat Bretagne

Photo 7. Opération de ponçage

# Dossier technique 3

## Fabrication de piscines

### Contexte

L'entreprise fabrique des piscines et des ensembles de balnéothérapie en polyester stratifié. Les piscines sont entièrement confectionnées dans une cabine fermée à ventilation horizontale, équipée d'un robot d'application de gelcoat et de résine.

Huit salariés sur onze travaillent dans l'atelier polyester.

Les différentes étapes de fabrication pour la piscine sont les suivantes :

- application sur un moule de la résine gelcoat par le robot (*photo 1*) ;
- application manuelle des tissus et mats de renfort en verre ;
- application manuelle de la résine au rouleau ;
- ébullage manuel (*figure 1*) ;
- application de résine et de fibres de verre en projection simultanée par le robot ;
- ébullage manuel.

Les opérateurs ne sont présents dans la cabine ventilée que lors des opérations manuelles.

### Solutions : organisation, automatisation, ventilation

Les opérations de gelcoatage et de projection simultanée étant effectuées par un robot dans la cabine ventilée, les émissions sont confinées (*photo 1* et *2*).

La piscine est maintenue dans la cabine ventilée pendant la première heure de polymérisation. Lors de ces phases, les opérateurs se trouvent en dehors de la cabine.

Le mélange des résines et des additifs par des pompes automatiques à travers des fûts scellés permet de diminuer l'exposition lors des opérations annexes.

La cabine fermée à ventilation horizontale est composée d'une grille d'introduction d'air naturel et d'une grille d'aspiration sur la paroi opposée de la cabine. L'aspiration est assurée par deux ventilateurs avec un débit cumulé d'environ 50 000 m<sup>3</sup>/h.

### Exposition

Les mesures d'exposition ont été faites à l'aide de pompes et de filtres de prélèvement. Les points de mesure choisis ont été positionnés sur les opérateurs dans la cabine, au niveau de leurs voies respiratoires. Quatre points ont été placés dans la cabine, de part et d'autre du moule de la piscine, et un point, à l'extérieur de la cabine, dans l'atelier.

Les résultats sont présentés dans le *tableau 1*.

Les mesures d'exposition (*figure 2*) montrent que les opérateurs sont exposés à des taux importants de styrène lors de l'ébullage (ou autres opérations manuelles) lorsqu'ils se trouvent dans le flux d'air pollué.

Ceux qui sont dans un flux d'air neuf sont exposés à des niveaux faibles. Effectivement le choix d'une ventilation horizontale met les opérateurs dans un flux d'air pollué sur un des côtés du moule.



© Gallier/Patrasco

**Photo 1.** Gelcoatage sur le moule de piscine fait par un robot



**Figure 1.** Opération d'ébullage dans la cabine à ventilation horizontale

La ventilation permet de garder la concentration en styrène dans l'atmosphère de la cabine à des taux inférieurs à la VLEP indicative de 50 ppm en vigueur à la date de parution de ce guide.

Dans l'atelier, à l'extérieur de la cabine, le taux de styrène est presque nul.

L'organisation du travail et les opérations effectuées par le robot font que la durée d'exposition des opérateurs a été réduite de 75 % par rapport à une activité dépourvue d'automatisation.

### Points forts et améliorations

Le confinement des opérations polluantes dans une cabine ventilée protège le reste de l'atelier de l'exposition au styrène.

Outre l'augmentation de la cadence, le robot élimine l'exposition des opérateurs :

- lors du gelcoatage (opération la plus polluante car elle se fait généra-

lement par pulvérisation et le mélange est riche en styrène) ;

- lors de l'application simultanée de la résine et des fibres coupées de verre, opération qui est répétée plusieurs fois en fonction du nombre de strates souhaitées.

La ventilation permet d'assainir la cabine pour atteindre des taux de styrène inférieurs à la VLEP. En revanche, le choix d'une ventilation horizontale permet seulement aux opérateurs si-

tués face à l'aspiration d'être dans un flux d'air neuf. En effet, l'activité dos à l'extraction se fait dans un flux d'air pollué.

L'idéal serait une ventilation verticale descendante constituée d'un dispositif de diffusion d'air à basse vitesse au plafond (gainés de soufflage à diffusion totale ou plafond soufflant) et d'une extraction mécanique avec bouches d'aspiration en dessous du moule.

TABLEAU I

### RÉSULTATS DES MESURES D'EXPOSITION AU STYRÈNE

Phase de travail	Nombre de prélèvements	Exposition au styrène (ppm)
Dans la cabine, phase gelcoatage sans opérateur	4	11 - 34
Dans la cabine, phase résine et ébullage	4	3 - 11
Dans la cabine, phase ébullage (prélèvements individuels sur les opérateurs)	3	11 - 44
Hors cabine (poste de commande)	1	Inf. à la limite de détection

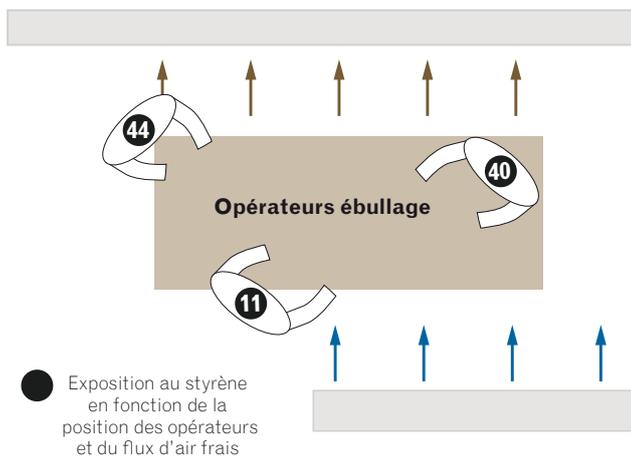


Figure 2. Moule dans la cabine à ventilation horizontale avec visualisation du flux d'air



Photo 2. Pulvérisation de la résine par un robot

# Dossier technique 4

## Fabrication de piscines

### Contexte

L'entreprise fabrique des piscines en polyester stratifié (résine polyester et renfort en fibres de verre). Elle emploie 11 salariés dont 9 en atelier de fabrication.

L'application du gelcoat se fait dans une cabine fermée à flux vertical. Les moules sont ensuite déplacés vers les 3 postes de stratification. Ces postes sont séparés par des demi-parois et disposent chacun d'un système de ventilation verticale.

Les différentes étapes de fabrication pour la piscine sont les suivantes:

- application sur un moule du gelcoat dans la cabine ventilée ;
- application manuelle des tissus et mats de renfort en verre ;
- application manuelle de la résine au rouleau ou au pistolet ;
- ébullage manuel ;
- application de résine et de fibres

de verre en projection simultanée au pistolet ;

- ébullage manuel.

### Solution : ventilation

L'opération de gelcoatage est effectuée en cabine fermée à flux vertical (*photo 1*). Ainsi, l'opération la plus émissive est confinée et séparée du reste de l'atelier. L'air neuf est introduit au niveau du plafond par le biais de deux gaines tissées (débit théorique  $2 \times 25\,000\text{ m}^3/\text{h}$  soit un total de  $50\,000\text{ m}^3/\text{h}$ ) (*photo 2*).

L'extraction d'air pollué se fait par quatre bouches ( $1,5\text{ m} \times 0,75\text{ m}$ ) situées au sol (débit théorique  $4 \times 40\,000\text{ m}^3/\text{h}$  soit un total de  $160\,000\text{ m}^3/\text{h}$ ).

Les vitesses d'air mesurées autour de la piscine sont en moyenne inférieures à  $0,2\text{ m/s}$ .

Les vitesses d'air mesurées au niveau des bouches d'extraction avoisinent les  $2\text{ m/s}$ .

Le débit total extrait mesuré est d'environ  $32\,000\text{ m}^3/\text{h}$ .

Le débit d'air extrait mesuré est très inférieur aux valeurs théoriques prévues ( $4 \times 40\,000\text{ m}^3/\text{h}$  en extraction). Cet écart est dû :

- à l'installation de ventilateurs hélicoïdaux qui ne compensent pas suffisamment la perte de charge du réseau du génie civil et des cheminées de rejet ;
- au faible débit d'air de compensation ( $50\,000\text{ m}^3/\text{h}$  théoriques).

Les autres opérations de stratification se font sur 4 postes de travail dans l'atelier (*photo 3*). Chaque poste dispose d'une entrée d'air neuf par le biais d'une gaine tissée située au plafond.

L'air est extrait au sol par le biais de deux bouches situées sous chacune des piscines (intégrées dans le génie civil).

Les commandes de mises en fonction de la ventilation sont indépendantes et l'entrée d'air neuf est asservie à



© Gallier



© Gallier

Photo 1. Cabine à flux vertical pour le gelcoatage

Photo 2. Gaines tissées situées au plafond de la cabine de gelcoatage pour l'introduction de l'air

l'extraction pour chaque poste de travail. Les postes sont séparés par des demi-parois.

## Exposition

Les mesures d'exposition ont été faites à l'aide de pompes et filtres de prélèvement. Les points de mesure choisis ont été placés sur les opérateurs, au niveau des voies respiratoires, dans la cabine de gelcoatage et en ambiance auprès des postes de stratification. Les résultats sont présentés dans le [tableau I](#).

## Résultats et validation

### Points forts

Le gelcoatage se fait dans une cabine ventilée et séparée du reste de l'activité. Bien que la ventilation de la cabine soit sous-dimensionnée, l'exposition

**TABLEAU I**  
**RÉSULTATS DES MESURES D'EXPOSITION AU STYRÈNE**

Prélèvements	Exposition au styrène (ppm)
Opérateur de gelcoatage (prélèvement individuel)	17
Ambiance cabine de gelcoatage	7
Opérateurs projection et ébullage (prélèvement individuel)	25 - 30
Ambiance proximité application	13 - 23

moyenne au styrène (0,3 de la VLEP) reste modérée du fait d'une ventilation verticale descendante. Les postes de projection sont pourvus d'un système de ventilation mécanique. Les niveaux d'exposition sont inférieurs à la valeur limite.

### Améliorations

La cabine de gelcoatage est perfectible. La vitesse de l'air autour du moule devrait être en tout point supérieure à 0,3 m/s. Cette vitesse doit

également être assurée aux postes de stratification. De plus, la configuration actuelle met la cabine en sous pression et peut donc absorber la pollution de l'atelier.

Le choix de ventilateurs pourvus d'une technologie plus adaptée (type centrifuge au lieu d'hélicoïdal) permettrait d'augmenter les pressions et d'atteindre les débits calculés tout en réduisant les niveaux sonores.

Enfin, il faut veiller au bon équilibre des débits extraits et introduits.



© Gallier



© Gallier

**Photo 3 et 4. Postes d'application simultanée (résine et fibres de verre)**

# Dossier technique 5

## Fabrication de panneaux polyesters de grande dimension

### Contexte

L'entreprise fabrique des panneaux en résine polyester d'une longueur pouvant atteindre 13,5 m et de 2,5 m de largeur. Ces panneaux sont destinés au montage de carrosseries frigorifiques.

Les étapes identifiées pour la fabrication sont :

- La pulvérisation du gelcoat sur le moule puis la polymérisation/réticulation.
- La pose de la « peau » :
  - la mise en place du tissu (non tissé) puis projection de résine automatisée puis ébullage/séchage ;
  - la mise en place du 2<sup>e</sup> tissu (tissé) puis projection de résine automatisée puis ébullage/séchage.
- Le positionnement des pains de mousse : la mousse est enduite de résine par projection automatisée et collée à la première « peau ».
- Des renforts métalliques sont encastrés entre les pains de mousse pour apporter la rigidité aux panneaux puis la résine est projetée automatiquement.
- La pose d'une deuxième « peau ».
- Le pressage de l'ensemble.

La fabrication se fait sur deux lignes de production identiques qui sont séparées par une structure destinée au stockage des divers matériaux nécessaires à la fabrication (laine de verre, matériaux isolants, renforts métalliques...).

Chaque ligne est équipée de deux dispositifs de projection montés sur rails : un pour le gelcoat et un pour la pose de la « peau » (figure 1). Seul ce dernier est équipé d'un système de captage localisé avec rejet des polluants à l'extérieur.

### Solution : ventilation

L'entreprise a mis en œuvre des dispositifs de captage localisé associés à une ventilation générale mécanique.

#### Captage localisé

Le débit total calculé est d'environ 8 400 m<sup>3</sup>/h, ce qui, compte-tenu des dimensions de la machine et du débit extrait, donne une vitesse moyenne d'aspiration dans les plans d'ouverture voisine de 0,5 m/s.

#### Ventilation générale

Le long d'une paroi de l'atelier, quatre bouches reliées à des conduits d'extraction sont réparties afin d'assurer la ventilation générale complémentaire.

Le débit global d'air extrait dans l'atelier est d'environ 100 000 m<sup>3</sup>/h.

#### Bilan aéraulique

Le débit d'aspiration total mis en œuvre dans cet atelier avec deux lignes de stratification est d'environ 120 000 m<sup>3</sup>/h.

#### Compensation

La compensation de l'air extrait se fait naturellement par les ouvertures du bâtiment.

### Exposition

#### Par étape

#### Gelcoatage de grandes pièces

La seule personne présente lors de cette opération est le conducteur de la machine de gelcoatage sur le côté de la ligne de production (figure 2). Il

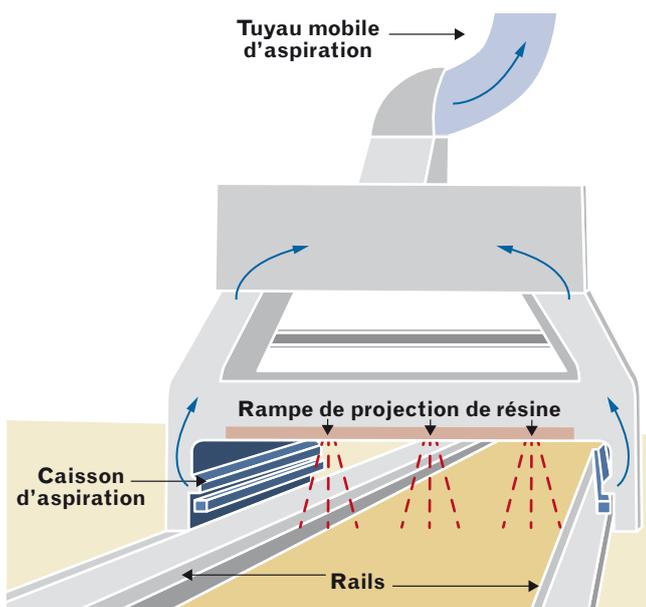


Figure 1. Dispositif de projection de la résine (pose de la « peau ») avec captage

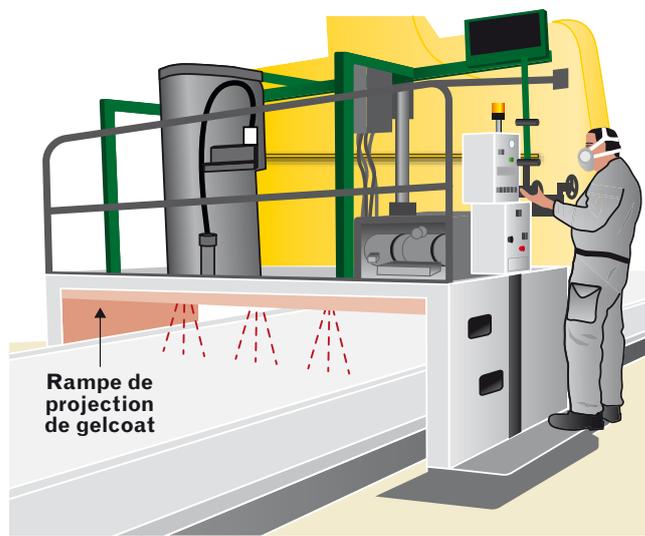


Figure 2. Machine de gelcoatage sans captage

fait avancer le dispositif de projection du gelcoat dépourvu d'aspiration localisée.

### Stratification

Des opérateurs posent les tissus de verre et les autres renforts des deux côtés de la ligne (figure 3). La résine est projetée par la machine équipée d'un dispositif de captage localisé. Cette machine est conduite par un opérateur dédié, situé sur le côté de la ligne.

### Ébullage

Après la projection, deux opérateurs agenouillés sur la passerelle effectuent l'ébullage (figure 4).

### Nettoyage

Les opérateurs et les conducteurs de machines de projection utilisent l'acétone pour nettoyer leurs outils et les machines. Lors de cette opération, le système de captage localisé est arrêté.

### Prélèvements d'atmosphère par badges

Les résultats sont présentés dans le tableau I.

TABLEAU I

#### VALEUR D'EXPOSITION DES OPÉRATEURS LORS DES DIFFÉRENTES PHASES

Configuration du prélèvement	Durée en minutes	Acétone		Styrène	
		en ppm	en mg/m <sup>3</sup>	en ppm	en mg/m <sup>3</sup>
Ébulleur 1	174	10	25	16,5	71
Ébulleur 2	168	9,5	23	23	100
Poseur de renfort	169	16,5	40	16	69
Conducteur machine avec captage	173	37	88	11,5	49

### Étude CAPTIV

Le système CAPTIV (centrale d'acquisition de la pollution au travail informé par vidéo) permet de centraliser et de stocker les informations en provenance de capteurs d'exposition professionnelle, puis de les coupler à un enregistrement vidéo du poste de travail.

Cette technique offre la possibilité d'étudier précisément un poste de travail et en particulier de corrélérer le geste professionnel avec le niveau d'exposition. Le traitement des in-

formations ainsi collectées, réalisé à l'aide du module d'analyse de CAPTIV, permet d'obtenir une connaissance fine du poste.

Pour chacun des enregistrements réalisés, l'opérateur a été équipé d'un capteur permettant d'enregistrer, en temps réel, la concentration en composés organiques volatiles.

Lors du dépouillement, les phases de travail correspondant aux pics d'exposition des opérateurs ont été recherchées par observation des enregistrements vidéo associés.

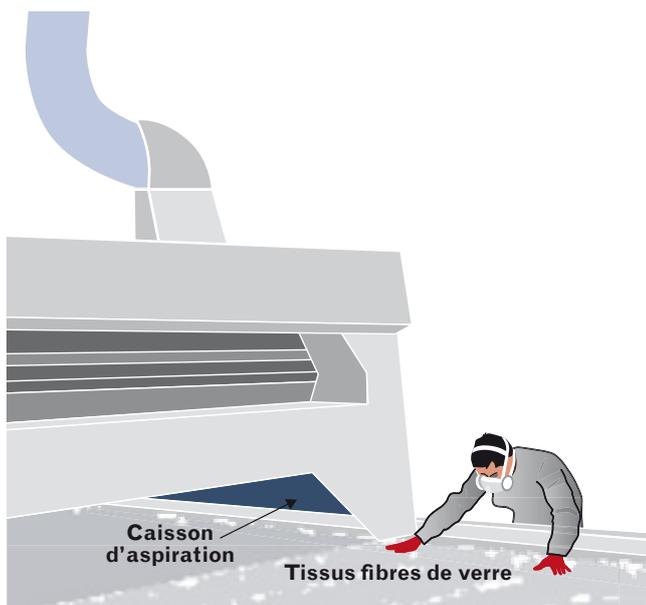


Figure 3. Pose manuelle de renfort

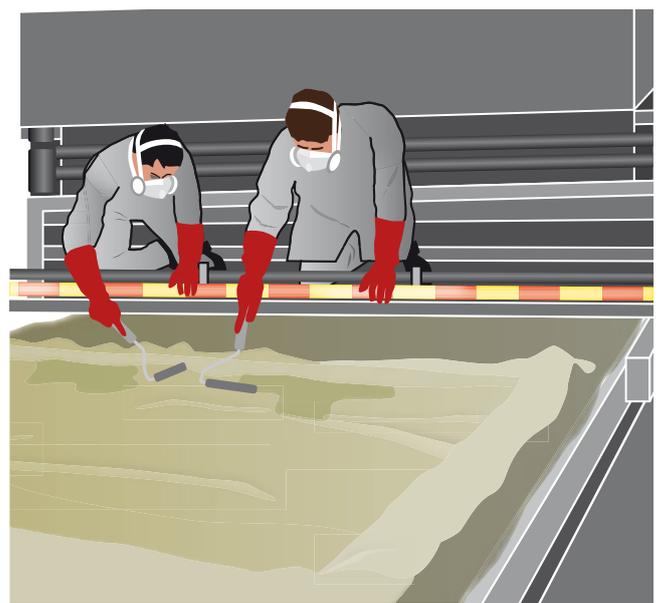


Figure 4. Ébullage par les opérateurs agenouillés sur la machine de gelcoatage

# Dossier technique 5 (suite)

## Fabrication de panneaux polyesters de grande dimension

### Gelcoatage de grandes pièces

Les mesures ont été effectuées sur le conducteur de la machine de gelcoatage sans captage (*figure 2*). Le profil d'exposition aux vapeurs de styrène ci-contre (*figure 5*) présente l'évolution de la concentration pendant la phase de gelcoatage sur de grandes pièces (application de 30 à 40 kg de gelcoat avec la machine sans aspiration).

Les expositions s'élèvent rapidement à des valeurs de l'ordre de 140 ppm. On observe, malgré l'absence d'aspiration localisée, que la concentration chute après arrêt du gelcoatage.

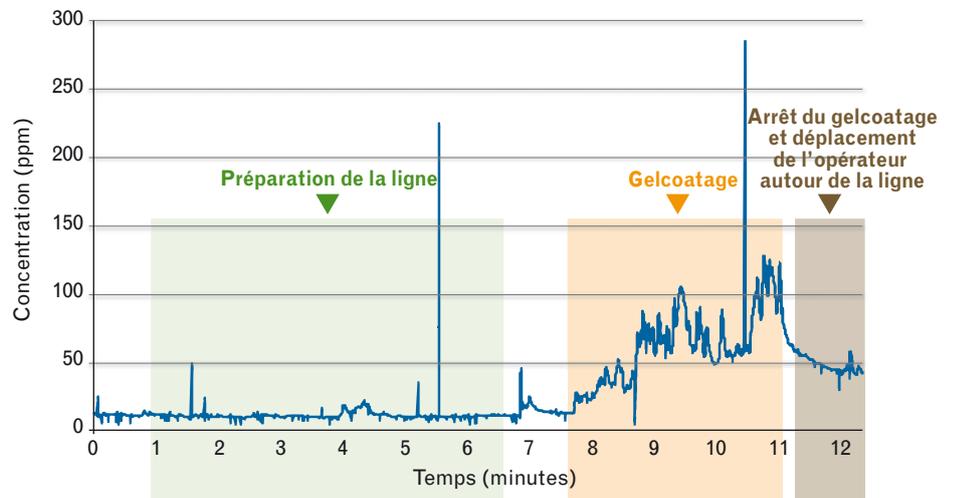
### Ébullage

Les mesures ont été effectuées sur un des opérateurs agenouillés sur la passerelle de la machine dotée de captage. Il ébulle la pièce au-dessus de la ligne (*figure 4*). Le profil d'exposition aux vapeurs de styrène ci-contre (*figure 6*) présente l'évolution de la concentration pendant la phase d'ébullage.

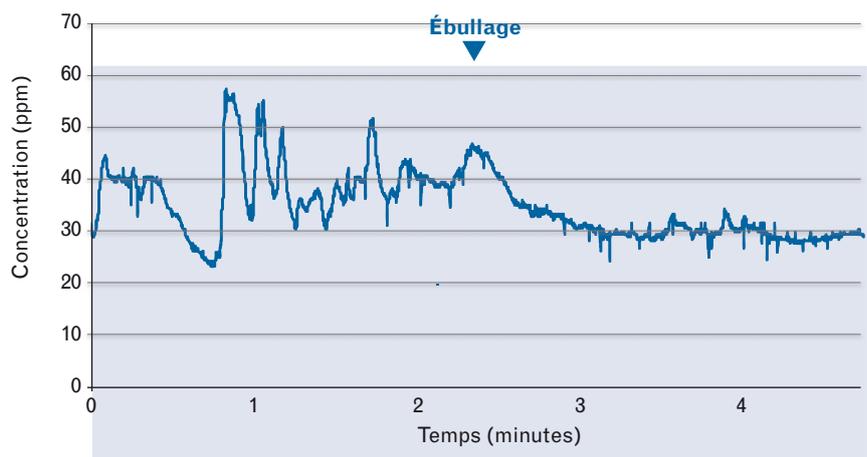
L'opérateur est exposé à des valeurs moyennes oscillant de 40 ppm à plus de 55 ppm dans un premier temps : l'évaporation est maximale. La concentration diminue ensuite progressivement vers 30 ppm.

### Nettoyage de la machine de production à l'acétone

Les mesures ont été effectuées sur le conducteur de la machine lors du nettoyage. Le profil d'exposition aux vapeurs d'acétone (*figure 7*) présente l'évolution de la concentration pendant les diverses opérations de nettoyage de la machine de production : ces opérations génèrent des phases d'exposition importantes aux vapeurs émises, avec des pics d'exposition supérieurs à 2 100 ppm.



**Figure 5. Évolution du profil d'exposition aux vapeurs de styrène pendant le gelcoatage de grandes pièces**



**Figure 6. Évolution du profil d'exposition aux vapeurs de styrène pendant l'ébullage**

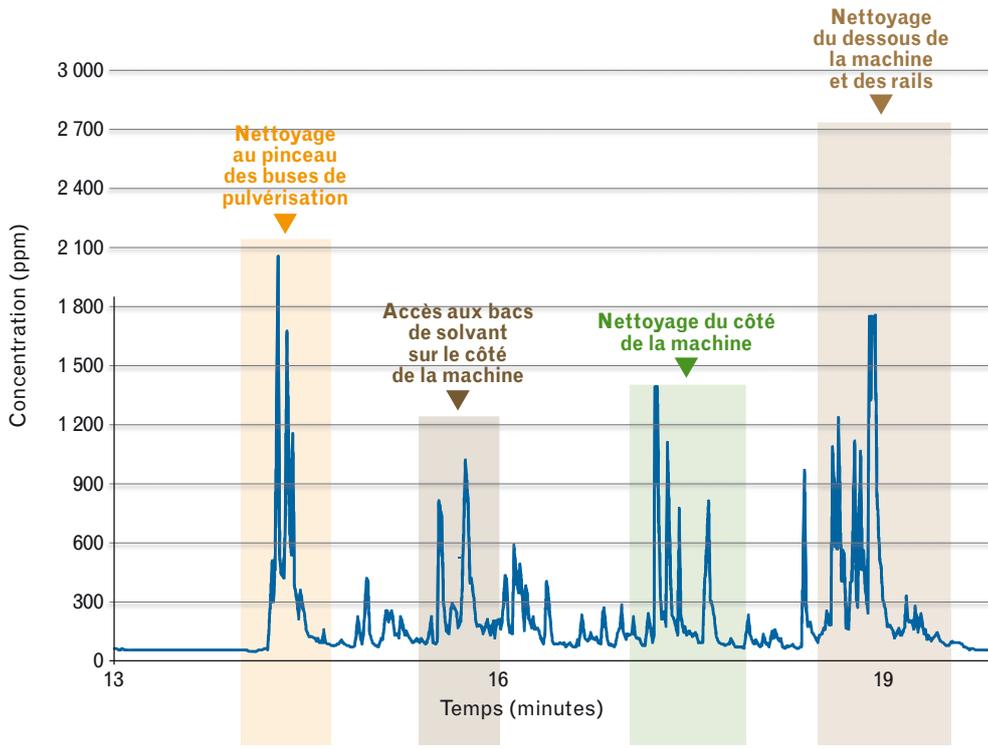
### Points forts et améliorations

Le système de pulvérisation de résine est automatisé et doté de dispositifs de captage localisé.

La ventilation localisée et la ventilation générale mise en œuvre maintiennent

les niveaux d'exposition en-deçà de la VLEP en vigueur.

Suite aux mesures effectuées sur les machines de gelcoatage et de pulvérisation de résine, l'efficacité du captage est mise en évidence (*tableau I*).



**Figure 7. Évolution du profil d'exposition aux vapeurs d'acétone lors du nettoyage de la machine de stratification**

### Améliorations

- Équiper les machines de gelcoatage de systèmes de captage localisé similaires à ceux présents sur celles de projection de résine.
- Les machines de gelcoatage et de projection peuvent être pourvues de cabines ventilées où les opérateurs travaillent en toute sécurité.
- Compenser l'extraction par un débit équivalent d'air neuf réchauffé en période froide (par gaine textile diffuseuse par exemple).
- Maintenir en fonction les systèmes de ventilation lors des opérations de nettoyage des équipements et des machines.

### Commentaires

Lors des opérations d'application de résine et d'ébullage, les dispositifs de captage en place sur les machines présentent une certaine efficacité. Néanmoins, après le déplacement de la machine, les vapeurs de polluants continuent à se propager dans l'atmosphère de travail (*tableau I*).

Devant la difficulté à mettre en œuvre le captage des vapeurs résiduelles, il est conseillé de porter les protections individuelles adaptées lors des opérations annexes effectuées au niveau des panneaux de stratifiés.

# Dossier technique 6

## Fabrication de silos

### Contexte

L'entreprise fabrique des silos en polyester. La partie cylindrique du silo est réalisée en utilisant la technique de fabrication par enroulement filamenteux, tandis que les parties non cylindriques sont fabriquées en utilisant la technique de projection simultanée de résine et de fibres de verre coupées au niveau du pistolet d'application.

Ces pièces, dont les dimensions maximales sont de 2,4 m de diamètre pour une longueur de 7 m, sont entièrement fabriquées dans la cabine ventilée, (le gelcoatage, l'application de résine ainsi que l'application simultanée).

Les différentes étapes de fabrication pour ces pièces sont les suivantes :

- application du gelcoat sur le moule ;
- application de la résine au rouleau ou au pistolet ;
- ébullage ;
- application de résine et de fibres de verre en projection simultanée au pistolet ;
- ébullage.

Ce dossier expose la solution de ventilation mise en œuvre pour la fabrication des parties non cylindriques du silo.

Dans cet atelier, la production de pièces en polyester est réalisée sur 6 postes similaires (figure 1). Le volume d'activité de l'entreprise fait qu'un seul pistolet de projection est utilisé.

### Solution : ventilation

Un caisson d'aspiration muni d'un dispositif de répartition et de filtration de l'air extrait à carton plissé est installé à l'arrière de la cabine.

L'opérateur évolue dans la surface ouverte de la cabine devant le moule en rotation (figure 2).

Les résultats des simulations numériques ont été obtenues avec le logiciel Fluent pour une cabine d'application ouverte à ventilation horizontale (figure 3 et 4).

La vitesse d'air mesurée dans le plan d'évolution de l'opérateur est comprise entre 0,5 et 0,6 m/s pendant le régime de ventilation maximal mis en œuvre lors des phases de projection et d'ébullage.

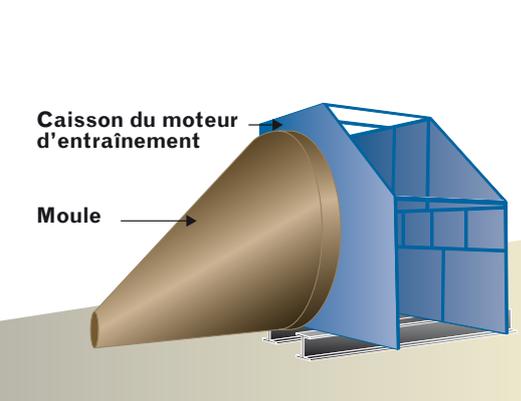


Figure 1. Situation initiale, le moteur d'entraînement du moule est installé dans un caisson séparé

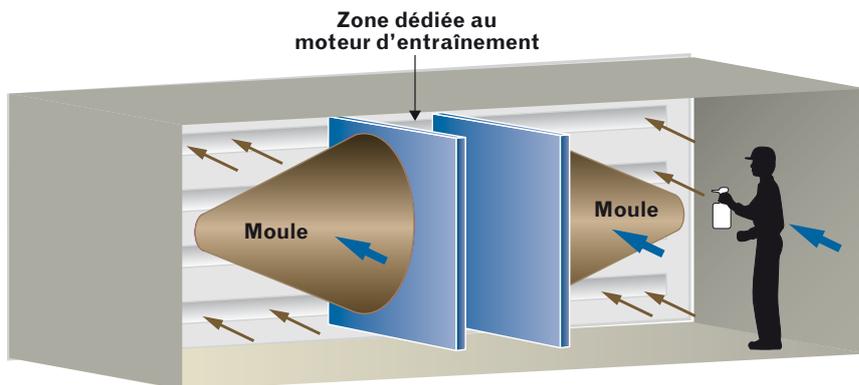


Figure 2. Cabine d'application ouverte à ventilation horizontale

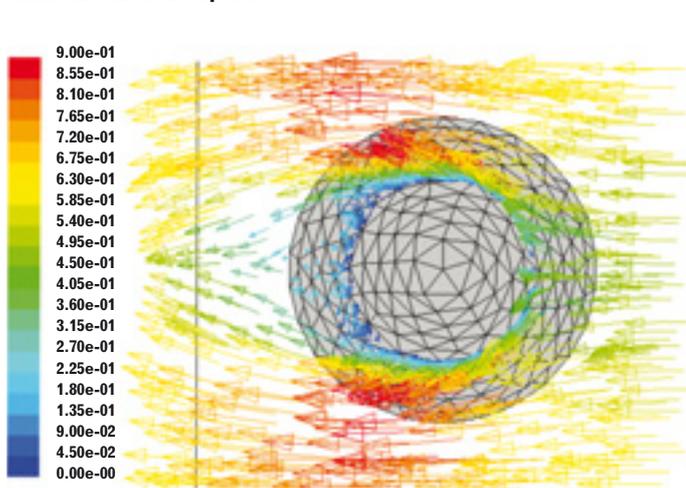


Figure 3. Profil des vitesses d'air (le caisson d'extraction est implanté au fond de la cabine et l'air entre librement par la face ouverte de celle-ci)

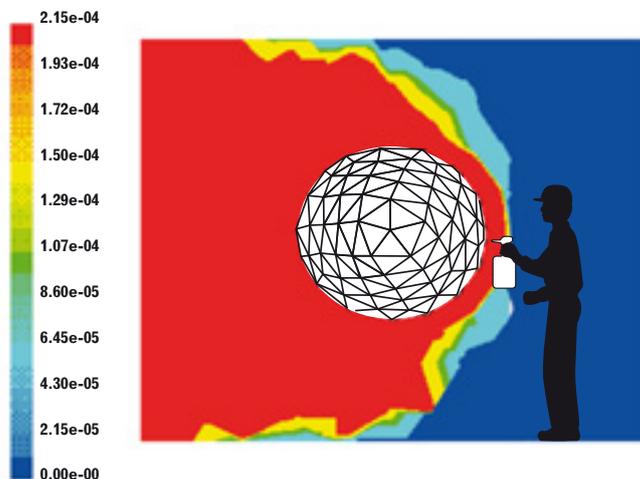


Figure 4. Profil de concentration relative en styrène

Un registre actionné par un servomoteur à 3 positions permet d'obturer partiellement le conduit d'extraction afin de maintenir une ventilation à faible débit lors de la polymérisation. Dans cette configuration, la vitesse d'air est comprise entre 0,15 et 0,2 m/s dans le plan d'ouverture.

Les 6 cabines sont raccordées à un même réseau d'extraction. Le ventilateur est dimensionné pour assurer la ventilation à débit maximum d'une cabine et à débit minimum (polymérisation) d'une seconde cabine.

Un dispositif de chauffage de l'air par combustion de gaz à débit modulé dans la veine d'air (*make-up*) assure le maintien d'une température minimale de 18°C. L'air neuf réchauffé en période froide est diffusé à basse vitesse (inférieure à 0,1 m/s) à l'aide d'une gaine textile à diffusion totale.

Le niveau sonore dû au seul fonctionnement de la ventilation (extraction et soufflage) est égal à 72 dB(A) aux postes de projection/ébullage, et inférieur à 70 dB(A) en ambiance dans l'atelier.

Des dispositifs de captage localisé ont également été installés afin de réduire l'exposition lors de la préparation des résines (*photo 1*). Les bacs ont été munis de couvercles. Un dosseret aspirant permet de capter les vapeurs émises lors du nettoyage des outils (*photo 2*).

## Exposition

L'exposition au styrène lors des opérations de projection simultanée est de 8 ppm.

Lors des opérations d'ébullage, les opérateurs se tiennent très près des pièces et par conséquent l'exposition est supérieure. Dans ce cas, elle est de 30 ppm.

Dans l'ambiance du poste de nettoyage des outils, la concentration est négligeable.

## Points forts et améliorations

La solution de captage par cabine ouverte à ventilation horizontale est particulièrement bien adaptée à la fabrication de silos puisque les moules sont entraînés en rotation par un moteur électrique. Ainsi, l'opérateur est toujours placé dans un flux d'air neuf. Les vitesses d'air sont suffisantes.

Afin d'éviter la diffusion de styrène dans l'atelier pendant la polymérisation, il est souhaitable d'installer des portes permettant d'obturer la face ouverte des cabines. Ceci permet de réduire les débits d'extraction tout en maintenant la cabine en dépression.

Le captage dans la zone de préparation des résines peut être amélioré à l'aide de parois latérales et supérieures qui participent au confinement du poste.



© Le Bérré

**Photo 1. Poste de préparation des résines**



© Le Bérré

**Photo 2. Test fumigène de la ventilation du poste de nettoyage des outils**

# Dossier technique 7

## Fabrication automobile

### Contexte

L'entreprise fabrique des automobiles dont la carrosserie est réalisée en matières composites (polyester stratifié). Sur les 57 salariés, 12 travaillent dans l'atelier polyester. L'atelier est un bâtiment détaché de l'usine d'assemblage automobile. Il produit les 130 pièces polyester composant une voiture.

L'atelier dispose de 2 cabines ouvertes à flux horizontal qui peuvent recevoir les moules sur support rotatif. Hormis la phase de transfert de résine, les opérations d'application de résine, l'ébullage et la mise en place des renforts se font manuellement.

35 % des pièces sont fabriquées en technologie RTM. Les différentes étapes de fabrication pour ces pièces sont les suivantes :

- application sur un moule du gelcoat dans la cabine ventilée ;
- application des tissus et mats de renfort en verre ;
- mise en place du contre-moule ;
- mise sous vide de l'ensemble ;

TABLEAU I

RÉSULTATS DES MESURES D'EXPOSITION

Points de prélèvements	Exposition au styrène (ppm)
Opérateur de gelcoatage (prélèvement individuel)	7
Opérateur projection simultanée (prélèvement individuel)	5
Opérateur application par contact (prélèvement individuel)	4
À proximité de la cabine de projection	1
Ambiance moules RTM	3

- transfert de la résine en circuit fermé par le vide créé.

Les pièces restantes (soit 65 % de l'ensemble de la production) sont entièrement fabriquées dans la cabine ventilée, (le gelcoatage, l'application de résine ainsi que l'application simultanée). Les différentes étapes de fabrication pour ces pièces sont :

- application sur un moule du gelcoat ;
- application des tissus et mats de renfort en verre ;

- application de la résine au rouleau ou au pistolet ;
- ébullage ;
- application de résine et de fibres de verre en projection simultanée au pistolet ;
- ébullage.

### Solutions : ventilation et RTM

L'opération de gelcoatage est effectuée en cabine ouverte à flux horizontal (*photo 1*) qui peut recevoir les



Photo 1. Cabine ouverte à flux horizontal



Photo 2. Mur aspirant

moules sur support rotatif. Les pièces qui ne sont pas fabriquées en RTM sont réalisées dans cette même cabine. La vitesse d'air au niveau de la pièce est en moyenne égale à 0,42 m/s. Les petites pièces sont fabriquées devant un mur aspirant (*photo 2*). La vitesse d'air au niveau de la pièce est en moyenne égale à 0,47 m/s.

## Exposition

Les mesures d'exposition ont été faites à l'aide de pompes et de filtres de prélèvement. Les points de mesure choisis ont été disposés sur les opérateurs au niveau des voies respiratoires, dans la cabine de gelcoatage et dans l'ambiance des postes de stratification. Les résultats sont présentés dans le *tableau 1*.

## Points forts et améliorations

### Points forts

35 % des pièces sont produites par RTM (*photo 3*). Le risque chimique

est fortement réduit car l'émission de styrène n'a lieu que lors du gelcoatage réalisé en cabine ventilée efficacement ;

Pour les 65 % restant, les activités de gelcoatage, d'application de résine, ainsi que l'application simultanée sont effectuées en cabines ventilées efficaces ; le risque est bien maîtrisé (exposition moyenne : 10 % de la VLEP styrène).

Le séchage des pièces est fait dans une enceinte fermée mise en dépression pour extraire les vapeurs générées lors de la polymérisation.

### Améliorations

La ventilation de la cabine de détournement est insuffisante ( $V = 0,3$  m/s), elle doit être amenée à 0,6 m/s ou une autre technologie doit être employée (robotisation du détournement).

Il est à noter qu'il est prévu de fabriquer 30 % des pièces polyester composant une voiture par procédé de thermoformage.



© Galtier

Photo 3. RTM

# Dossier technique 8

## Fabrication de pales d'éolienne

### Contexte

L'entreprise fabrique des pales d'éolienne de 12 m à 30 m de long en polyester renforcé de tissus de verre. La technique choisie est l'infusion de résine.

Le gelcoatage, opération fortement émettrice de styrène, est géré par l'organisation de l'activité.

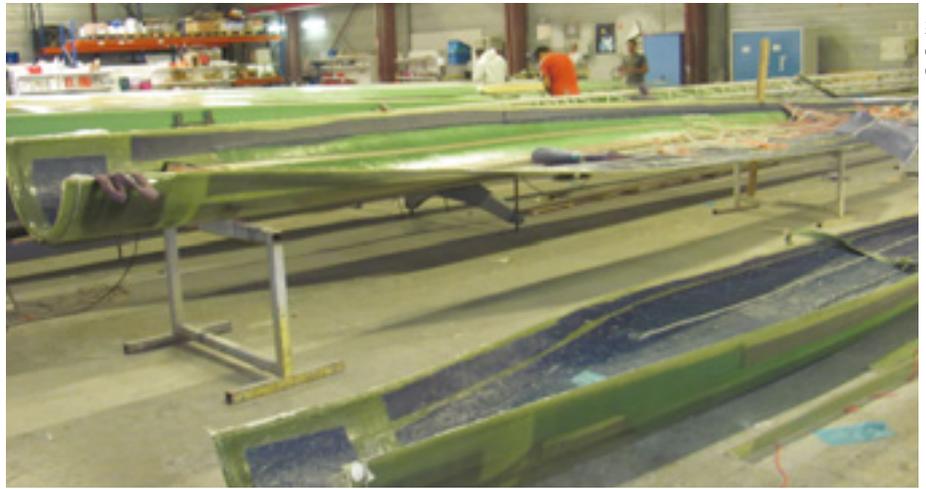
Les différentes étapes de fabrication des pales sont les suivantes :

- application sur un moule du gelcoat au pinceau ;
- drapage à sec de tissus de verre (jusqu'à 145 couches) et placement de renforts polymères ;
- mise en place de la bâche plastique nécessaire à l'infusion ;
- infusion de la résine polyester (*photo 2*) ;
- polymérisation/réticulation ;
- finition (détourage, ponçage, perçage).

### Solutions : organisation, ventilation, techniques

#### Organisation

L'organisation des étapes de fabrication permet l'application du gelcoat le soir par 2 opérateurs seuls dans l'atelier et une fois par semaine. Pendant la phase de réticulation du gelcoat, qui a lieu la nuit, la ventilation



**Photo 1. Atelier d'infusion de polyester**

générale assainit l'air de l'atelier en l'absence d'opérateur.

Les opérations de finition sont exécutées dans un atelier séparé pour ne pas mélanger les pollutions.

#### Ventilation

La ventilation générale de 20 000 m<sup>3</sup>/h permet le maintien d'une température constante de l'atelier et assure l'assainissement des pollutions résiduelles. L'air est introduit mécaniquement par des gaines textiles à diffusion totale.

#### Techniques

Le choix de l'application du gelcoat au pinceau permet de réduire l'exposition par rapport à la pulvérisation.

La technique d'infusion permet de répartir la résine polyester et de consommer le styrène en totalité, sans qu'il y ait d'émission car c'est une technique fermée (*photo 2*).

#### Exposition

Les mesures d'exposition ont été faites à l'aide de pompes et de filtres de prélèvement. Les résultats sont présentés dans le *tableau I* et *II*.

Les niveaux d'exposition sont largement supérieurs à la VLEP (50 ppm) pour l'opérateur lors de l'application du gelcoat. L'exposition globale est faible car ces opérations ne repré-

TABLEAU I

## RÉSULTATS DES MESURES D'EXPOSITION

Prélèvement lors de l'application du gelcoat	Exposition au styrène (ppm)
Opérateur (prélèvement individuel)	149 - 156
Ambiance autour du moule	40 - 83
Ambiance zone de préparation de la résine	29

sentent qu'une partie infime de leur temps de travail (1h/semaine). En revanche, une amélioration du poste est nécessaire (voir paragraphe suivant).

## Points forts et améliorations

### Points forts

L'organisation du travail limite la durée et le nombre des opérateurs exposés.

La technologie de l'infusion permet de produire sans émanation de styrène, excepté pendant le gelcoatage; le risque chimique est fortement réduit. Le gelcoatage au pinceau réduit le temps de travail à 35 minutes par pale. Auparavant, l'application par pulvérisation nécessitait 1 heure.

Le soin apporté aux étapes de drapage permet de limiter l'exposition aux poussières lors des opérations de finition (la durée du détournage est estimée à 20 minutes par semaine).

### Améliorations

La solution idéale serait d'installer le moule dans une cabine ouverte à ventilation horizontale en forme de tunnel. Le plafond serait amovible pour permettre la manutention des équipements au pont roulant. Compte tenu de l'application au pinceau, une

TABLEAU II

## RÉSULTATS DES MESURES D'EXPOSITION

Prélèvement lors de l'infusion de résine	Exposition au styrène (ppm)
Opérateur (prélèvement individuel)	17
Ambiance autour du moule	20

vitesse d'air de 0,3 m/s est suffisante. Pour une section ouverte de 5 m de large/3m de hauteur, le débit est d'environ 17 000 m<sup>3</sup>/h. L'application de gelcoat doit se faire depuis le caisson aspirant vers la surface ouverte de la cabine afin de maintenir l'opérateur dans un flux d'air neuf.



Photo 2. Moule de demi-pale avec la bâche d'infusion de résine

# Dossier technique 9

## Fabrication de pièces par enroulement filamenteux

### Contexte

L'entreprise fabrique des pièces cylindriques en polyester par enroulement filamenteux, au service de la récupération, du recyclage et du traitement de l'eau.

Les dimensions des pièces sont :

- diamètre inférieur à 2,8 m ;
- longueur maximale 8 m.

La technique de fabrication consiste à faire tourner un moule cylindrique et à enrouler des fibres de verre imprégnées de résine à l'aide d'un outillage animé d'un mouvement de translation. L'épaisseur de la pièce cylindrique est liée au nombre et au diamètre des fibres de verre dévidées, ainsi qu'au nombre de translations (aller et retour) de l'outillage.

La vitesse de rotation du moule va dépendre de son diamètre et de la vitesse de translation de l'outillage. Elle est de l'ordre de la dizaine de tour par minute.

L'opérateur chargé de la conduite de la machine assure également l'opération d'ébullage.

La fabrication comprend les étapes suivantes :

- mise en place du moule cylindrique sur le support motorisé à l'aide d'un pont roulant ;
- mise en place des fibres en bobines dans l'outillage composé d'un peigne et d'un bac d'imprégnation rempli de résine ;
- fixation des fibres sur le moule ;
- mise en rotation du moule et mise en translation de l'outillage ;
- ébullage manuel à l'aide d'un outil monté sur un manche ;
- retrait du moule supportant la pièce à l'aide du pont roulant et mise en place de l'ensemble dans une enceinte de polymérisation.

L'exposition au styrène a lieu principalement lors des opérations d'enroulement filamenteux et de l'ébullage. Cette exposition est moins importante lors de la polymérisation car le dégagement de styrène est plus faible.

### Solution : ventilation

#### Enroulement filamenteux dans une cabine à ventilation horizontale

L'enroulement filamenteux se fait dans une cabine ouverte à ventilation horizontale. La cabine est ouverte dans le sens de la longueur du moule. Elle est composée d'un mur aspirant et de 3 parois amovibles souples. Cette modularité est nécessaire pour permettre la manutention du moule à l'aide du pont roulant (*photo 1*). Une fois fermées, les parois souples permettent le confinement du moule (*photo 2*).

Le débit mis en œuvre de 7 000 m<sup>3</sup>/h permet d'atteindre des vitesses de 0,3 à 0,6 m/s dans le plan d'évolution de l'opérateur. Le niveau sonore s'élève à 73 dB(A) dû au seul fonctionnement de la ventilation.

#### Enceintes de séchage

Pour finir la polymérisation (étape appelée aussi séchage) les pièces sont stockées dans des cabines ouvertes à ventilation horizontale.

Les cabines de séchage à ventilation longitudinale sont composées d'un caisson aspirant opposé à l'ouverture. Les 2 parois latérales sont fixes. Le toit souple est amovible afin de permettre la manutention au pont roulant (*photo 3*).

Une fois fermé, le toit souple permet le confinement du moule. Les vitesses d'air dans le plan d'ouverture sont en tous points supérieures à 0,5 m/s.

#### Poste de nettoyage des outils

Un dispositif de captage permet d'assainir le poste de nettoyage des outils. Le confinement des polluants est assuré par les parois latérales souples et la paroi supérieure (cabine ouverte à ventilation horizontale).

Un couvercle amovible permet de réduire les émissions d'acétone en dehors des phases de nettoyage. La vitesse d'air dans le plan d'ouverture est supérieure à 0,5 m/s (*photo 4*). Le niveau sonore est de 70 dB(A).

#### Compensation d'air

L'air de compensation du débit extrait est introduit mécaniquement à l'aide de gaines textiles à diffusion basse vitesse. L'air soufflé est réchauffé en période froide (*photo 5*).

### Exposition

L'exposition au styrène de l'opératrice au poste « enroulement filamenteux avec ébullage » est inférieure à 3 ppm, en excluant la phase de nettoyage. Le bon confinement des polluants est montré puisque la pollution mesurée en ambiance à l'extérieur de la cabine est de 2 ppm.

### Points forts et améliorations

Le choix des cabines modulables à parois souples permet de combiner une manutention aisée des pièces jusqu'au pont roulant et un captage efficace des polluants émis lors de la fabrication et du séchage.

Prolonger le plafond de la cabine d'enroulement filamenteux permettrait d'améliorer le confinement et d'augmenter la vitesse d'air dans la zone d'évolution de l'opérateur.



**Photo 1. Maintenance du moule dans la cabine à ventilation horizontale**



**Photo 2. Enroulement du fil imprégné puis ébullage dans la cabine à ventilation horizontale**



**Photo 3. Cabine de séchage à ventilation horizontale**



**Photo 4. Poste de nettoyage**



**Photo 5. Gains textiles pour la compensation de l'air extrait**

Pour obtenir en prêt les audiovisuels et multimédias et pour commander les brochures et les affiches de l'INRS, adressez-vous au service Prévention de votre Carsat, Cram ou CGSS.

## Services Prévention des Carsat et des Cram

### Carsat ALSACE-MOSELLE

(67 Bas-Rhin)  
14 rue Adolphe-Seyboth  
CS 10392  
67010 Strasbourg cedex  
tél. 03 88 14 33 00  
fax 03 88 23 54 13  
prevention.documentation@carsat-am.fr  
www.carsat-alsacemoselle.fr

(57 Moselle)  
3 place du Roi-George  
BP 31062  
57036 Metz cedex 1  
tél. 03 87 66 86 22  
fax 03 87 55 98 65  
www.carsat-alsacemoselle.fr

(68 Haut-Rhin)  
11 avenue De-Lattre-de-Tassigny  
BP 70488  
68018 Colmar cedex  
tél. 03 69 45 10 12  
www.carsat-alsacemoselle.fr

### Carsat AQUITAINE

(24 Dordogne, 33 Gironde,  
40 Landes, 47 Lot-et-Garonne,  
64 Pyrénées-Atlantiques)  
80 avenue de la Jallère  
33053 Bordeaux cedex  
tél. 05 56 11 64 36  
fax 05 57 57 70 04  
documentation.prevention@carsat-aquitaine.fr  
www.carsat.aquitaine.fr

### Carsat AUVERGNE

(03 Allier, 15 Cantal,  
43 Haute-Loire,  
63 Puy-de-Dôme)  
Espace Entreprises  
Clermont République  
63036 Clermont-Ferrand cedex 9  
tél. 04 73 42 70 76  
offredoc@carsat-auvergne.fr  
www.carsat-auvergne.fr

### Carsat BOURGOGNE

et FRANCHE-COMTÉ  
(21 Côte-d'Or, 25 Doubs,  
39 Jura, 58 Nièvre,  
70 Haute-Saône,  
71 Saône-et-Loire, 89 Yonne,  
90 Territoire de Belfort)  
ZAE Cap-Nord, 38 rue de Cracovie  
21044 Dijon cedex  
tél. 03 80 70 51 32  
fax 03 80 70 52 89  
prevention@carsat-bfc.fr  
www.carsat-bfc.fr

### Carsat BRETAGNE

(22 Côtes-d'Armor, 29 Finistère,  
35 Ille-et-Vilaine, 56 Morbihan)  
236 rue de Châteaugiron  
35030 Rennes cedex  
tél. 02 99 26 74 63  
fax 02 99 26 70 48  
drpcdi@carsat-bretagne.fr  
www.carsat-bretagne.fr

### Carsat CENTRE

(18 Cher, 28 Eure-et-Loir, 36 Indre,  
37 Indre-et-Loire, 41 Loir-et-Cher, 45 Loiret)  
36 rue Xaintrailles  
45033 Orléans cedex 1  
tél. 02 38 81 50 00  
fax 02 38 79 70 29  
prev@carsat-centre.fr  
www.carsat-centre.fr

### Carsat CENTRE-OUEST

(16 Charente, 17 Charente-Maritime,  
19 Corrèze, 23 Creuse, 79 Deux-Sèvres,  
86 Vienne, 87 Haute-Vienne)  
37 avenue du président René-Coty  
87048 Limoges cedex  
tél. 05 55 45 39 04  
fax 05 55 45 71 45  
cirp@carsat-centreouest.fr  
www.carsat-centreouest.fr

### Cram ÎLE-DE-FRANCE

(75 Paris, 77 Seine-et-Marne,  
78 Yvelines, 91 Essonne,  
92 Hauts-de-Seine, 93 Seine-Saint-Denis,  
94 Val-de-Marne, 95 Val-d'Oise)  
17-19 place de l'Argonne  
75019 Paris  
tél. 01 40 05 32 64  
fax 01 40 05 38 84  
prevention.atmp@cramif.cnamts.fr  
www.cramif.fr

### Carsat LANGUEDOC-ROUSSILLON

(11 Aude, 30 Gard, 34 Hérault,  
48 Lozère, 66 Pyrénées-Orientales)  
29 cours Gambetta  
34068 Montpellier cedex 2  
tél. 04 67 12 95 55  
fax 04 67 12 95 56  
prevdoc@carsat-lr.fr  
www.carsat-lr.fr

### Carsat MIDI-PYRÉNÉES

(09 Ariège, 12 Aveyron, 31 Haute-Garonne,  
32 Gers, 46 Lot, 65 Hautes-Pyrénées,  
81 Tarn, 82 Tarn-et-Garonne)  
2 rue Georges-Vivent  
31065 Toulouse cedex 9  
fax 05 62 14 88 24  
doc.prev@carsat-mp.fr  
www.carsat-mp.fr

### Carsat NORD-EST

(08 Ardennes, 10 Aube, 51 Marne,  
52 Haute-Marne, 54 Meurthe-et-Moselle,  
55 Meuse, 88 Vosges)  
81 à 85 rue de Metz  
54073 Nancy cedex  
tél. 03 83 34 49 02  
fax 03 83 34 48 70  
documentation.prevention@carsat-nordest.fr  
www.carsat-nordest.fr

### Carsat NORD-PICARDIE

(02 Aisne, 59 Nord, 60 Oise,  
62 Pas-de-Calais, 80 Somme)  
11 allée Vauban  
59662 Villeneuve-d'Ascq cedex  
tél. 03 20 05 60 28  
fax 03 20 05 79 30  
bedprevention@carsat-nordpicardie.fr  
www.carsat-nordpicardie.fr

### Carsat NORMANDIE

(14 Calvados, 27 Eure, 50 Manche,  
61 Orne, 76 Seine-Maritime)  
Avenue du Grand-Cours, 2022 X  
76028 Rouen cedex  
tél. 02 35 03 58 22  
fax 02 35 03 60 76  
prevention@carsat-normandie.fr  
www.carsat-normandie.fr

### Carsat PAYS DE LA LOIRE

(44 Loire-Atlantique, 49 Maine-et-Loire,  
53 Mayenne, 72 Sarthe, 85 Vendée)  
2 place de Bretagne  
44932 Nantes cedex 9  
tél. 02 51 72 84 08  
fax 02 51 82 31 62  
documentation.rp@carsat-pl.fr  
www.carsat-pl.fr

### Carsat RHÔNE-ALPES

(01 Ain, 07 Ardèche, 26 Drôme, 38 Isère,  
42 Loire, 69 Rhône, 73 Savoie,  
74 Haute-Savoie)  
26 rue d'Aubigny  
69436 Lyon cedex 3  
tél. 04 72 91 96 96  
fax 04 72 91 97 09  
preventionrp@carsat-ra.fr  
www.carsat-ra.fr

### Carsat SUD-EST

(04 Alpes-de-Haute-Provence,  
05 Hautes-Alpes, 06 Alpes-Maritimes,  
13 Bouches-du-Rhône, 2A Corse-du-Sud,  
2B Haute-Corse, 83 Var, 84 Vaucluse)  
35 rue George  
13386 Marseille cedex 5  
tél. 04 91 85 85 36  
fax 04 91 85 75 66  
documentation.prevention@carsat-sudest.fr  
www.carsat-sudest.fr

## Services Prévention des CGSS

### CGSS GUADELOUPE

Immeuble CGRR, Rue Paul-Lacavé, 97110 Pointe-à-Pitre  
tél. 05 90 21 46 00 – fax 05 90 21 46 13  
lina.palmont@cgss-guadeloupe.fr

### CGSS GUYANE

Espace Turenne Radamonthe, Route de Raban,  
BP 7015, 97307 Cayenne cedex  
tél. 05 94 29 83 04 – fax 05 94 29 83 01  
prevention-rp@cgss-guyane.fr

### CGSS LA RÉUNION

4 boulevard Doret, 97704 Saint-Denis Messag cedex 9  
tél. 02 62 90 47 00 – fax 02 62 90 47 01  
prevention@cgss-reunion.fr

### CGSS MARTINIQUE

Quartier Place-d'Armes, 97210 Le Lamentin cedex 2  
tél. 05 96 66 51 31 et 05 96 66 51 32 – fax 05 96 51 81 54  
prevention972@cgss-martinique.fr  
www.cgss-martinique.fr

## COLLECTION DES GUIDES PRATIQUES DE VENTILATION

0. Principes généraux de ventilation	ED 695
1. L'assainissement de l'air des locaux de travail	ED 657
2. Cuves et bains de traitement de surface	ED 651
3. Polyesters stratifiés	ED 665
4. Postes de décochage en fonderie	ED 662
5. Ateliers d'encollage de petits objets (chaussures)	ED 672
6. Captage et traitement des aérosols de fluides de coupe	ED 972
7. Opérations de soudage à l'arc et de coupage	ED 668
8. Espaces confinés	ED 703
9. 1. Cabines d'application par pulvérisation de produits liquides	ED 839
9. 2. Cabines d'application par projection de peintures en poudre	ED 928
9. 3. Pulvérisation de produits liquides. Objets lourds ou encombrants	ED 906
10. Le dossier d'installation de ventilation	ED 6008
11. Sérigraphie	ED 6001
12. Seconde transformation du bois	ED 750
13. Fabrication des accumulateurs au plomb	ED 746
14. Décapage, dessablage, dépolissage au jet libre en cabine	ED 768
15. Réparation des radiateurs automobiles	ED 752
16. Ateliers de fabrication de prothèses dentaires	ED 760
17. Emploi des matériaux pulvérulents	ED 767
18. Sorbonnes de laboratoire	ED 795
19. Usines de dépollution des eaux résiduaires et ouvrages d'assainissement	ED 820
20. Postes d'utilisation manuelle de solvants	ED 6049
21. Ateliers de plasturgie	ED 6146
22. Laboratoires d'anatomie et de cytologie pathologiques	ED 6185



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

**Édition INRS ED 665**

5<sup>e</sup> édition • décembre 2014 • 2000 ex. • ISBN 978-2-7389-2162-8

