

## Atelier de plasturgie

## 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, Cram, 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), les caisses régionales d'assurance maladie (Cram) et caisses générales de sécurité sociale (CGSS)**

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail, les caisses régionales d'assurance maladie 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).

# Ateliers de plasturgie

Ce guide a été rédigé par un groupe de travail animé par Jean-Raymond Fontaine (INRS) et composé d'ingénieurs et contrôleurs de CARSAT, de CRAM et de l'INRS:

Stéphane ALONSO (Carsat Rhône-Alpes)

Marcel ANDREOLLA (Cramif)

Didier AOUSTIN (Carsat Bretagne)

Olivier BARBE (Carsat Normandie)

Robert BRACONNIER (INRS)

Bernard DUFFE (Carsat Bourgogne et Franche-Comté)

Pierre GOUTET (INRS)

Patrick KARMAN (Carsat Bourgogne et Franche-Comté)

Claude MIALON (Carsat Auvergne)

Jean-Claude OSTERNAUD (Carsat Rhône-Alpes)

Roger PARDONNET (Carsat Nord Est)

Cosmin PATRASCU (INRS)

Jean-Louis POYARD (INRS)

Stéphane TIRLEMONT (Carsat Nord-Picardie)



## **Avertissement**

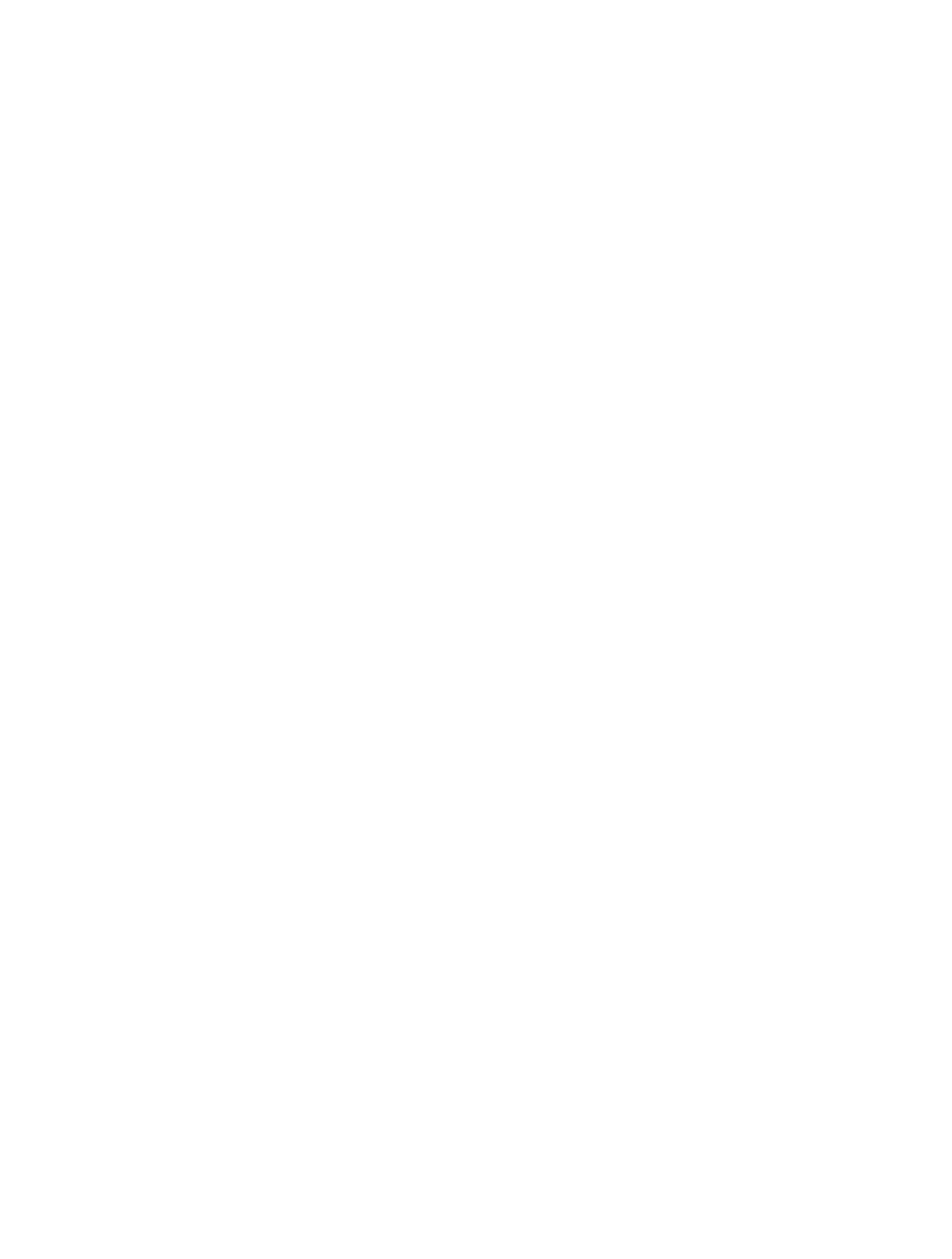
Ce document est destiné à fournir des réponses pratiques à toutes les personnes confrontées à un problème de conception, de réception, de conduite et de contrôle d'installations de ventilation dans les ateliers de Plasturgie.

Ce document a été établi par un groupe de travail sous l'égide de la Caisse nationale de l'assurance maladie (CNAM) et comprenant des spécialistes de Caisses de retraite et de la santé au travail (CARSAT), de Caisses régionales d'assurance maladie (CRAM) et de l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS).

L'objectif à atteindre est le maintien de la salubrité de l'air dans les locaux de travail. Le système de référence proposé est celui des valeurs limites d'exposition professionnelles pour les concentrations d'agents chimiques dangereux au niveau des voies respiratoires, que celles-ci soient issues de la réglementation, de normes ou de recommandations établies par des organismes spécialisés en hygiène. Ces concentrations doivent être maintenues à un niveau minimal.

Les critères proposés constituent des recommandations propres à faciliter l'atteinte de cet objectif sur la base de données actuellement disponibles. Ces critères sont susceptibles d'évoluer en fonction de l'expérience acquise au cours de leur mise en œuvre, de résultats d'études nouvelles, ou de modifications apportées sur le plan réglementaire. C'est pourquoi ce guide sera réexaminé régulièrement et au besoin complété ou modifié.

La fédération de la Plasturgie a été consultée au cours de l'élaboration de ce document.



# Sommaire

<b>1. Champ d'application du guide</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Produits et procédés de fabrication [ 2, 3]</b> .....	<b>6</b>
2.1. Produits fabriqués .....	6
2.2. Procédés .....	6
2.3. Opérations annexes .....	10
<b>3. Risque et réglementation</b> .....	<b>11</b>
3.1. Risques d'exposition aux gaz, vapeurs, poussières .....	11
3.2. Risques liés à l'ambiance thermique .....	12
3.3. Réglementation.....	13
<b>4. Démarche de prévention</b> .....	<b>14</b>
4.1. Substitution des produits et procédés - Exemple des Phtalates.....	14
4.2. Maîtrise des émissions.....	14
4.3. Captage et ventilation générale.....	15
<b>5. Dispositifs de captage</b> .....	<b>15</b>
5.1. Dispositifs de captage enveloppants .....	15
5.2. Cabines ouvertes.....	15
5.3. Dispositifs de captage inducteurs.....	16
5.4. Dispositifs de captage récepteurs .....	16
<b>6. Compensation de l'air</b> .....	<b>16</b>
<b>7. Traitement de l'air extrait</b> .....	<b>17</b>
7.1. Rejet de l'air à l'extérieur - récupération d'énergie.....	17
7.2. Recyclage de l'air après épuration .....	17
<b>8. Réception, maintenance et contrôle des installations</b> .....	<b>18</b>
8.1. Réception de l'installation .....	18
8.2. Opérations de maintenance.....	18
8.3. Contrôles périodiques.....	18
<b>Annexes</b> .....	<b>19</b>
1. Principaux polluants dégagés aux températures de mise en œuvre des polymères.....	19
2. Principales VLEP.....	20
3. Confort thermique des opérateurs .....	21
<b>Bibliographie</b> .....	<b>22</b>
<b>Dossiers techniques</b> .....	<b>23</b>

## 1. Champ d'application du guide

Le domaine d'application du guide est défini comme l'ensemble des opérations de mise en forme des matières plastiques.

Sont cependant exclues :

- la fabrication des composés de départ (matières premières ou compounds),
- la mise en forme des polyesters stratifiés qui fait l'objet d'un guide de ventilation existant [1],
- la mise en œuvre du caoutchouc (procédés spécifiques),
- la fabrication d'articles en polyuréthane.

Les principaux procédés mis en œuvre en plasturgie sont :

- injection (pièces techniques, jouets...),
- thermoformage (blisters, pots de yaourt...),
- extrusion (fils, câbles, profilés...),
- extrusion - gonflage (sachets, films, filets...),
- extrusion - soufflage (flacons, bouteilles, soufflets de cardan...),
- roto-moulage (containers, cuves...),
- compression (plateaux de cantine).

Ces procédés s'accompagnent le plus souvent de dégagements thermiques importants.

Le guide aborde les risques liés à la finition des pièces, au nettoyage des moules, au décapage thermique des buses ou embouts d'injection, aux incidents et changements de production (purge, formation et refroidissement de chiques), au stockage des pièces, etc.

Le guide ne traite pas le risque ATEX, qui fait l'objet d'une brochure éditée par la Fédération de la Plasturgie et réalisée avec le concours technique de l'INRS [0].

## 2. Produits et procédés de fabrication [2, 3]

### 2.1 - Produits fabriqués

#### Thermoplastiques

Les thermoplastiques se déforment et sont façonnables sous l'action de la chaleur ; ils gardent leur forme en se refroidissant. Cette propriété permet leur recyclage : les objets sont broyés et refondus pour en élaborer d'autres.

Les plus répandus sont le **polychlorure de vinyle** (PVC), le **polystyrène** (PS), les **acryliques**, les **polyamides** (PA), les **polyoléfines** (**polypropylène** (PP), **polyéthylène** haute ou basse densité (PEHB, PEBD)), le polyéthylène téréphtalate (PET), les polyacétals (polyoxyméthylène ou POM).

La très grande majorité de ces polymères sont obtenus à partir du pétrole. Depuis peu sont apparus sur le marché des polymères issus de la biomasse (polymères biosourcés). Leurs formules et leurs propriétés sont voisines de celles de leurs homologues pétrosourcés avec lesquels ils sont toujours utilisés en mélange

#### Thermodurcissables

Les thermodurcissables épousent la forme de l'empreinte sous l'effet combiné de la chaleur et d'une action mécanique (pression) ; ils durcissent sous l'effet d'une réaction chimique et prennent leur forme définitive au premier refroidissement, la réversibilité est impossible.

Par exemple, ce sont les **phénoplastes** (phénol-formol), les **aminoplastes** (urée formol, mélamine-formol), les résines époxydes, etc.

### 2.2 - Procédés

#### 2.2.1 - L'injection

Le procédé consiste à transformer, grâce à la chaleur produite par des éléments chauffants et la friction de la

matière dans l'unité d'injection, une masse solide (granulés...) en une masse dite plastifiée.

Cette matière est injectée sous pression à travers une buse dans l'empreinte d'un moule qui lui donne la forme voulue. Le moule refroidit et resolidifie la matière injectée. Une fois le polymère solidifié, on ouvre le moule pour en extraire la ou les pièces réalisées (*figure 1*).

Lors de l'injection à travers la buse, la température de la matière plastifiée peut aller de 160 à 380 °C. Le moule est thermo-régulé à une température comprise dans l'intervalle de 25 à 160 °C suivant le type de pièce réalisée et la matière mise en œuvre.

La machine à mouler par injection est composée essentiellement :

- d'une unité d'injection qui assure les fonctions de dosage, plastification (fusion de la matière), et injection ;
- d'une unité de fermeture qui assure les mouvements du moule (fermeture, verrouillage et ouverture) ;
- d'un moule fixé sur les plateaux fixes et mobiles de la machine ;
- d'un système éjecteur ;
- d'un système de commande.

Les énergies alimentant les actionneurs (moteur, vérin...) sont hydrauliques ou électriques.

Il existe plusieurs configurations, dont les plus courantes sont :

- les machines horizontales où la matière est injectée à travers le demi-moule fixé sur le plateau fixe ;
- les machines verticales où la matière est généralement injectée dans le plan de joint du moule.

#### Phases du procédé

Le procédé d'injection comporte les phases principales suivantes :

- 1/alimentation des machines en matière première ;
- 2/plastification de la matière première ;
- 3/fermeture du moule ;
- 4/injection de la matière plastifiée dans le moule ;
- 5/ouverture du moule et éjection de la pièce par des éjecteurs ou manipulateurs.

Le procédé s'accompagne en général des phases suivantes :

- nettoyage des machines à mouler par injection :
  - purge de la presse,
  - décapage des buses et des embouts d'injection,
  - nettoyage des vis d'injection,
  - nettoyage des moules ;
- broyage des rebuts et carottes.

### Émissions aux différentes phases du procédé

#### Alimentation des machines

Elle se fait par l'intermédiaire d'une trémie. Le chargement de cette dernière peut se faire manuellement mais est souvent réalisé de manière automatique, par transport pneumatique ou à l'aide d'une vis.

Dans certaines situations, cette phase engendre des émissions de poussières ou de vapeurs. Des solutions de type «anneau aspirant» peuvent alors être envisagées [4].

L'ouverture des sacs et l'étuvage des matières peuvent, dans certains cas,

donner lieu à des émissions de polluants (voir dossier technique n° 7).

#### Injection - Ouverture du moule et éjection des pièces

Ces phases s'accompagnent d'émissions de gaz et fumées qui, aux températures de mise en œuvre, peuvent contenir des substances dangereuses, en particulier des CMR (voir [2] et tableau en annexe 1). L'émission principale se produit généralement au niveau de la buse d'injection. Ces polluants doivent être prioritairement confinés et captés à la source, conformément aux principes généraux de prévention présentés au paragraphe 4 (voir dossiers techniques 1 et 2).

#### Purge

La purge d'une unité d'injection est une opération qui intervient lors d'un changement de matière, de moule ou suite à un incident. Elle s'accompagne d'une émission importante de polluants. Le dispositif de captage à prévoir au-dessus de la zone de purge doit être dimensionné pour évacuer

l'intégralité des émissions produites pendant cette phase. Certaines installations permettent d'ajuster le débit d'aspiration de la machine en fonction du mode de fonctionnement : débit nominal en production normale, débit accru (doublé) en situation dégradée (purge ou nettoyage) (voir dossiers techniques 1 et 2).

La purge produit une chique, masse de thermoplastique de 1 à 10 kg, qui émet des substances dangereuses durant toute sa phase de refroidissement. Il est recommandé de la refroidir par immersion dans l'eau ou de la déplacer dans une enceinte ventilée pour le refroidissement.

### 2.2.2 - Thermoformage

#### Définition

Le thermoformage (figure 2 page suivante) est un procédé de transformation d'une plaque de matière plastique par chauffage suivi d'une mise en forme par application d'un moule.

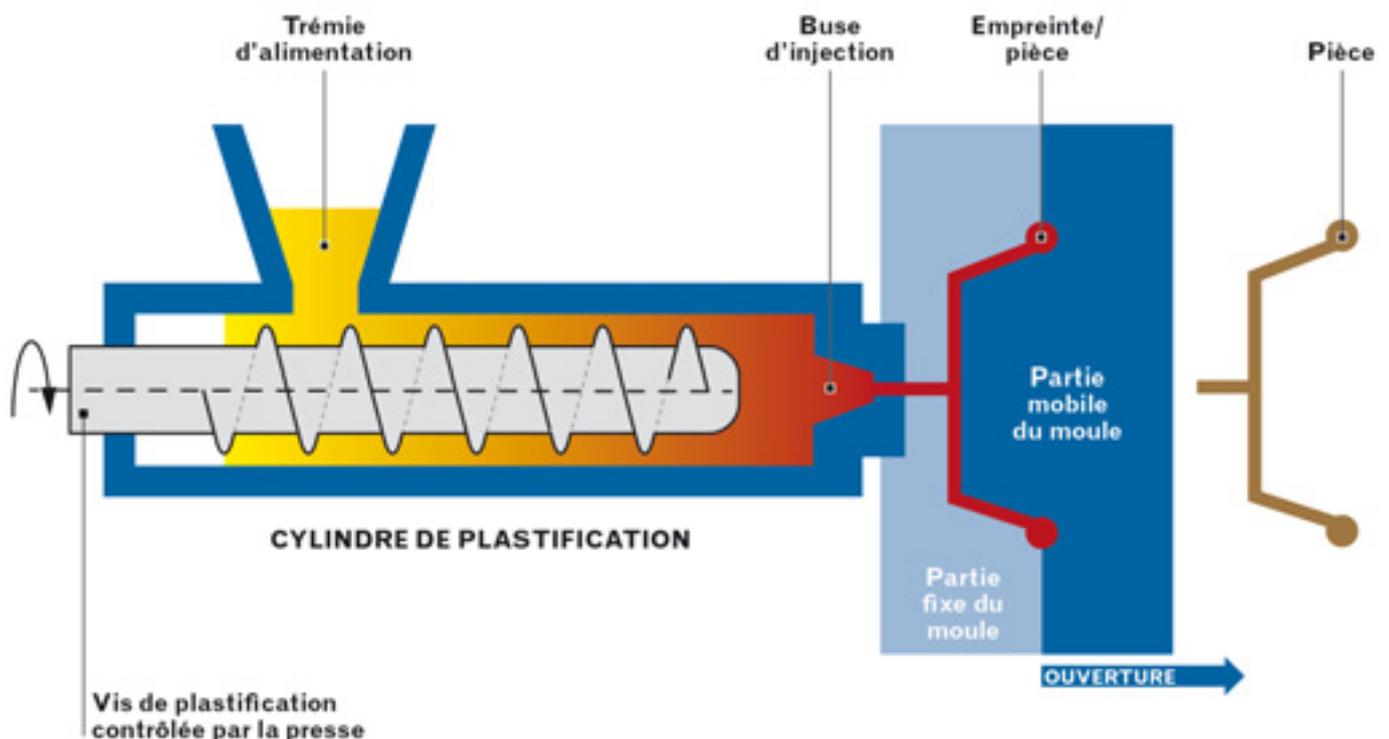


Figure 1 • La machine à mouler par injection (appelée aussi presse à injecter)

Il comprend cinq phases :

- chauffage de la feuille (radiant ou par contact) **1** et éventuellement préétirage,
- suppression du chauffage et montée du modèle **2**,
- aspiration de l'air dans l'espace feuille/modèle **3**,
- refroidissement par soufflage **4**
- démoulage **5**.

Remarques sur ce procédé :

- ce procédé a la particularité d'utiliser en entrée des demi-produits : feuilles calandrées ;
- la transformation se fait en dessous de la température de fusion des polymères (20 à 30°C sous la température de transition vitreuse) ;
- il nécessite une phase de finition : découpe ;
- puissance thermique nécessaire de 25 à 50 kW/m<sup>2</sup> de polymère ;
- principale contrainte : obtenir une épaisseur constante.

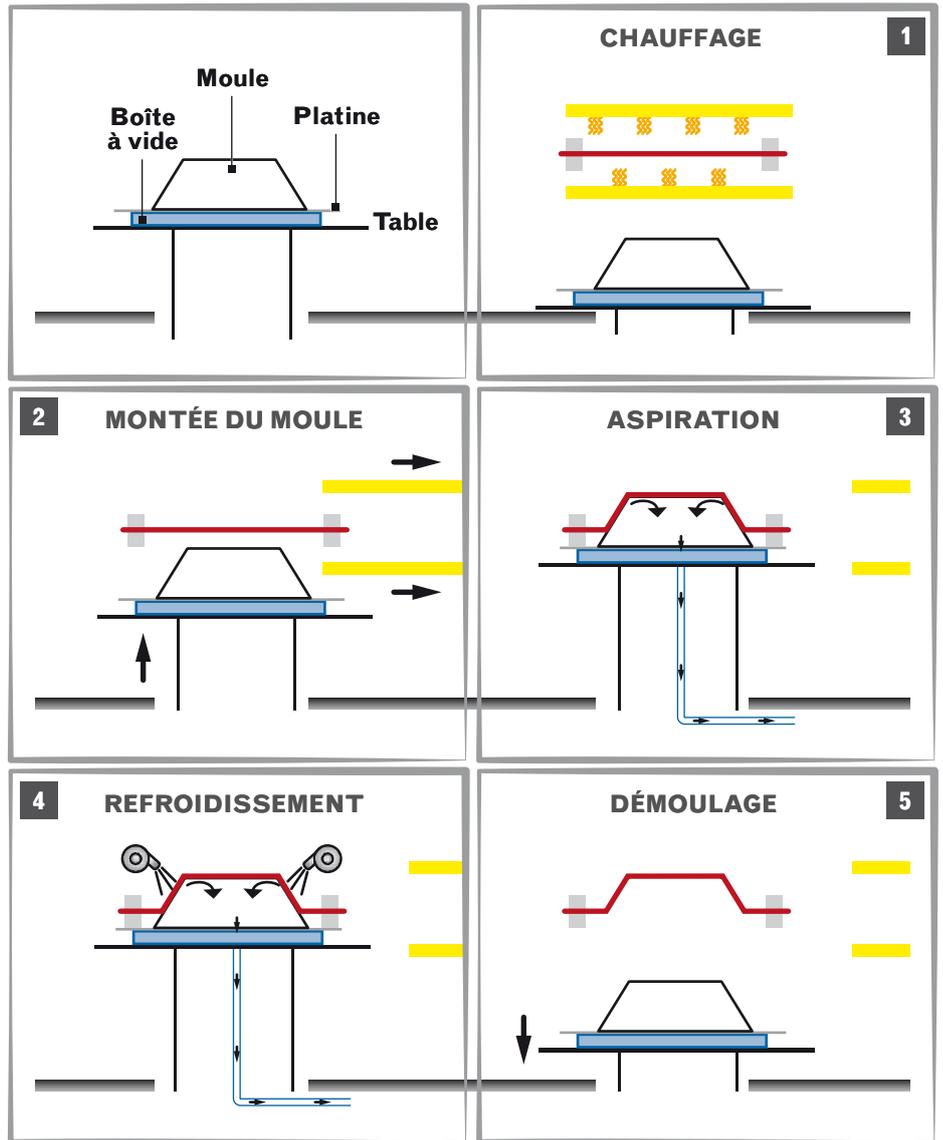


Figure 2 • Les différentes phases du thermoformage

### 2.2.3 - Extrusion

L'extrudeuse (*figure 3*) (parfois nommée boudineuse) comprend une trémie d'alimentation et un fourreau cylindrique chauffant (thermorégulé) à l'intérieur duquel tourne une vis sans fin alimentée en poudre (compounds) ou en granulés. La vis malaxe, compresse, chauffe et transporte en continu la matière fluidifiée et homogène vers la filière. Celle-ci confèrera à la masse plastifiée la forme désirée.

Les émissions principales de polluants se produisent au chargement, en sortie de filière et au niveau des événements du fourreau.

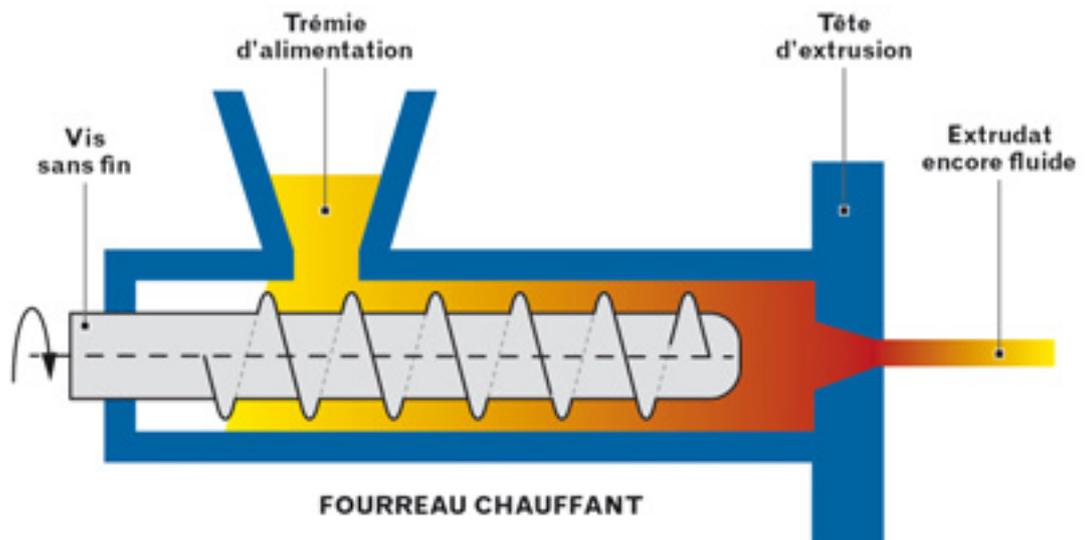


Figure 3 • Schéma d'une extrudeuse montrant la vis sans fin dans le fourreau chauffant et l'extrudat encore fluide sortant de la filière de la tête d'extrusion

## 2.2.4 - Extrusion - Gonflage

### Définition

Ce procédé (figure 4) consiste, en sortie de l'extrudeuse, à dilater avec de l'air comprimé une gaine de polymère précédemment formée. La sortie de l'extrudeuse est verticale. L'air comprimé est insufflé dans la matière fondue qui se gonfle et s'élève verticalement en une longue bulle de film. Après refroidissement, des rouleaux aplatissent le film en une gaine plane qui, ensuite, s'enroule sur des bobines. On réalise ainsi des films utilisés dans la fabrication d'emballages, de sacs-poubelles, de sacs de congélation, de poches médicales pour perfusion ainsi que des feuilles souples et fines de revêtements pour serres horticoles.

Les émissions de polluants se produisent essentiellement dans la zone inférieure de la filière où la température est la plus élevée.

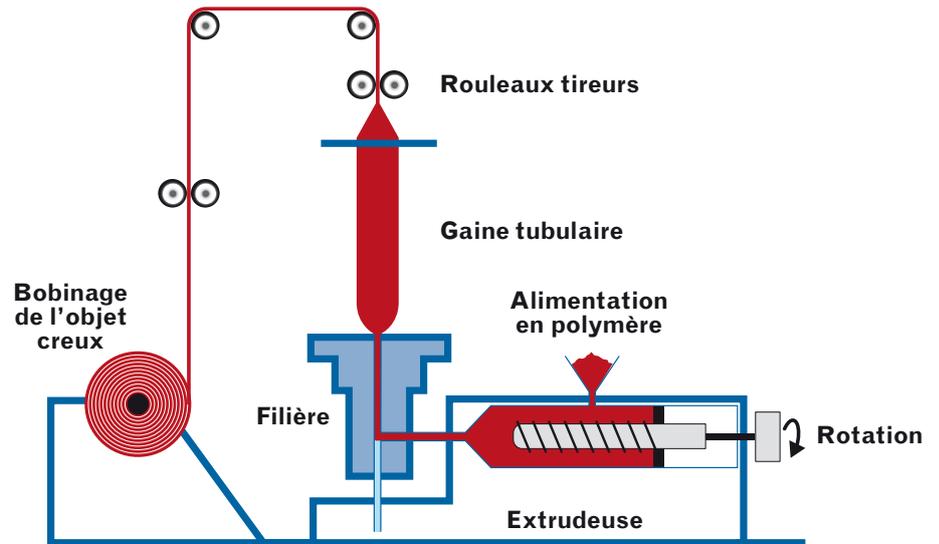


Figure 4 • Schéma de l'extrusion-gonflage

## 2.2.5 - Extrusion-Soufflage

L'extrusion-soufflage (figure 5) est un procédé utilisé pour fabriquer un corps creux dans un moule.

Ce procédé consiste à combiner la technique de l'extrusion avec celle du soufflage. Un tube de thermoplastique (paraison) extrudé est enfermé dans un moule de soufflage. Un dispositif injecte de l'air comprimé dans la paraison et la plaque sur les parois du moule. Le moule refroidit la matière plastique et fige l'objet aux dimensions de l'empreinte intérieure du moule.

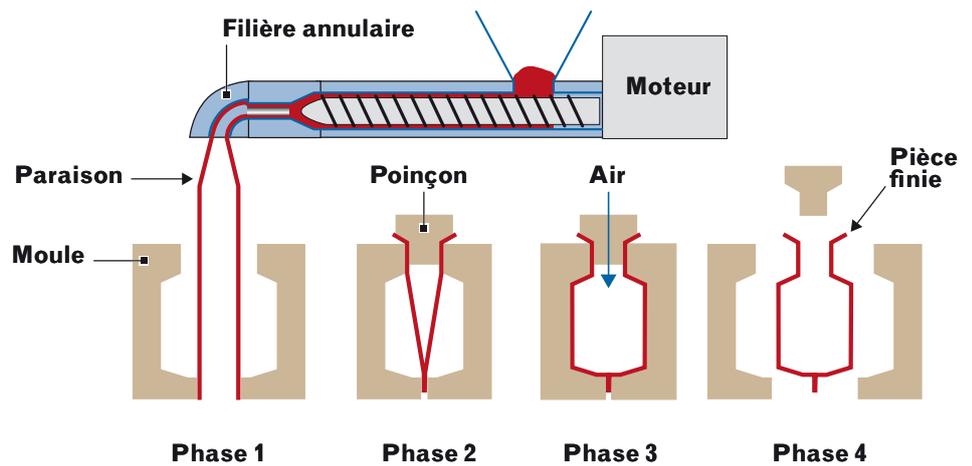


Figure 5 • Schéma de l'extrusion-soufflage

## 2.2.6 - Rotomoulage

Ce procédé (figure 6) est utilisé pour fabriquer des corps creux comme des kayaks, des planches à voile, des cuves ou des conteneurs.

Une fine poudre thermoplastique ou un plastisol est enfermée dans un moule chauffant qui est mis en rotation suivant deux axes. Le matériau se répartit uniformément sur les parois du moule par barattage.

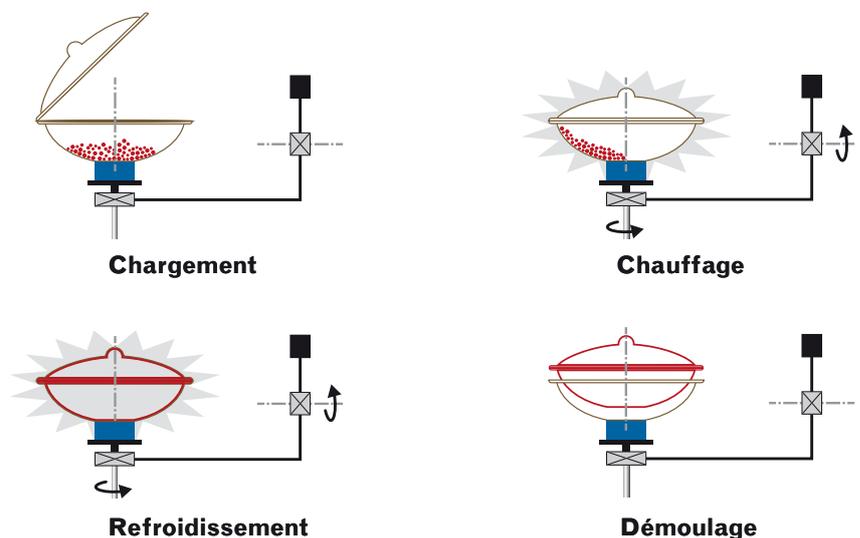


Figure 6 • Schéma du rotomoulage

Généralement, le problème de ventilation principal concerne l'inconfort thermique des salariés. Une solution consiste à réaliser la phase de refroidissement du moule dans une cabine ventilée, éventuellement couplée à un système de récupération d'énergie pour réduire les coûts de chauffage de l'atelier en période hivernale.

## 2.3 - Opérations annexes

Dans ce paragraphe sont traités les procédés annexes qui nécessitent une attention particulière du point de vue des émissions.

### 2.3.1 - Traitement CORONA

Afin de pouvoir imprimer les produits extrudés, ceux-ci sont préparés par un prétraitement superficiel (effet corona). L'arc électrique créé entre une électrode portée à un potentiel élevé et le rouleau d'acier sur lequel passe le film, modifie l'état de surface du polymère pour améliorer l'accroche de l'encre.

La décharge et le rayonnement UV induit génèrent de l'ozone. À proximité du traitement corona, ont été mesurées des valeurs en ozone dépassant

plus de trois fois la VLCT (0,2 ppm). Les salariés peuvent être exposés plus particulièrement durant les phases de surveillance et de maintenance.

Pour évacuer l'ozone généré par l'effet corona, un dispositif de captage (hotte ou aspiration latérale) doit être intégré à la machine. L'air capté sera transporté et rejeté à l'extérieur du bâtiment.

La génération d'ozone dépend principalement de la puissance de réglage du transformateur à haute tension, le débit de l'extracteur devra être suffisant pour pouvoir évacuer l'ozone lorsque la puissance du traitement sera maximale.

### 2.3.2 - Décapage des buses, embouts d'injection, vis

Le décapage thermique est une opération fortement polluante puisqu'elle génère des produits de dégradation thermique, des thermoplastiques ou thermodurcissables.

Le décapage thermique au chalumeau est à éviter ; privilégier l'utilisation de **fours à pyrolyse** (pour les petites pièces, voir dossier technique n° 8), de **lits fluidisés à l'alumine** (pour les plus grosses pièces) ou de cabines ventilées (voir dossier technique n° 9).

Le **décapage par cryogénie** est émergent. Il consiste à pulvériser à l'aide

d'un jet d'air comprimé des «micro-pellets» de glace carbonique. Ce procédé a l'avantage d'éviter les émissions de produits de dégradation thermique. Par contre, il est générateur de bruit, de gaz carbonique et parfois de poussières (voir dossier technique n° 10).

### 2.3.3 - Nettoyage des moules

Le nettoyage des moules se fait généralement après démontage et transfert dans l'atelier de maintenance. Cette opération utilise des bains de lessive de soude avec un recours éventuel à la technique des ultrasons (voir dossier technique n° 11). L'utilisation de cuves équipées d'aspiration bilatérale est préconisée (voir le guide de traitement de surface [5]). Dans le cas où le nettoyage se fait avec des solvants, l'opérateur utilise des pinceaux, chiffons, petits pulvérisateurs; le poste de nettoyage doit alors être équipé d'un système de ventilation approprié (petites cabines ouvertes, dossier aspirants...). On pourra s'inspirer du guide sur le dégraissage des petites pièces pour identifier des dispositifs de ventilation adaptés [6].

### 2.3.4 - Tri, contrôle et finition des pièces fabriquées

Des émissions résiduelles de polluants par des pièces fraîchement moulées ont parfois été constatées. Par exemple, pour le cas du polyoxyméthylène (POM), une concentration en formaldéhyde de 0,7 mg/m<sup>3</sup> au-dessus du bac de réception de pièces et une concentration de 0,3 mg/m<sup>3</sup> au point de chute de pièces sur un tapis ont été observées dans certaines situations (mesurage près du point d'émission dans les deux cas). Ces émissions résiduelles peuvent être à l'origine d'expositions significatives pour les opérateurs si des opérations de tri, de contrôle ou de finition sont réalisées immédiatement après le moulage. De même, les opérations de finition du type ébavurage, détourage, découpe et

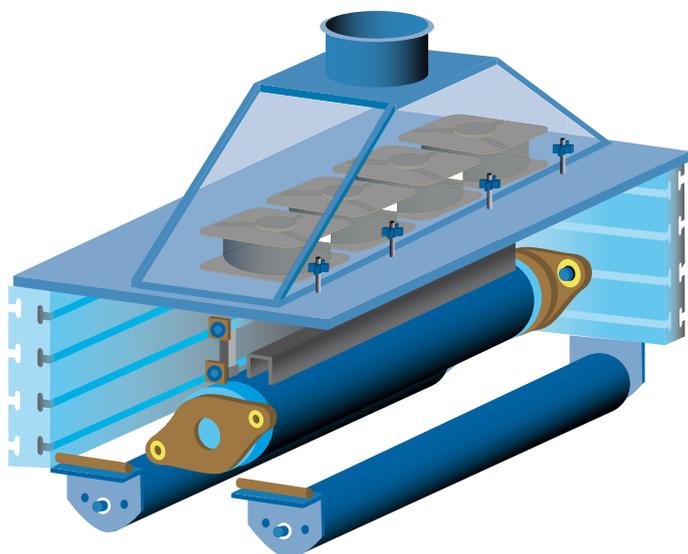


Figure 7 • Schéma de dispositif de captage intégré à un traitement par effet CORONA

usinage sont génératrices de poussières.

La réduction des expositions lors de ces opérations peut être obtenue suivant le cas par :

- la mise en place d'un dispositif de captage au point de réception des pièces moulées (caisse ou tapis) ;

- un temps d'attente et des conditions d'aération minimales des pièces avant la réalisation des opérations de tri, de contrôle ou de finition. Par exemple, privilégier un stockage en caisse plutôt qu'un stockage en sac plastique ;

- l'aménagement d'un poste spécifique ventilé pour la réalisation de ces opérations ;

- La mise en œuvre d'un dispositif de captage adapté pour toute opération génératrice de poussières (*voir le guide de conception des dispositifs de captage, ED 841 [7]*).

À titre d'exemple, pour la protection d'un opérateur contre le risque d'inhalation de substances dangereuses (vapeurs de formaldéhyde émises par les pièces fraîchement moulées ou poussières), notamment lors d'opérations de tri ou d'ébavurage, le poste de travail peut être aménagé comme le montre la *figure 8* ci-après.

Le débit d'air aspiré doit être suffisant pour induire une vitesse d'air minimale au point de la table le plus éloigné de la surface aspirante de 0,30 m/s.

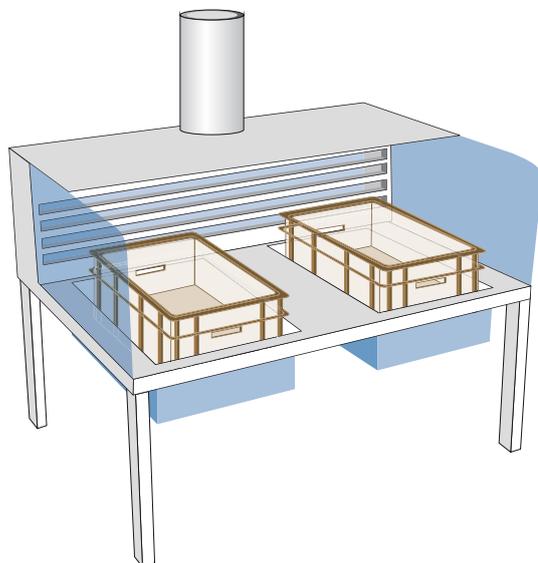


Figure 8 • Poste de finition de pièces moulées avec dossier aspirant

Cette valeur devra être augmentée dans le cas de pièces chaudes (par exemple 0,5 m/s) (*voir § 5.3*).

### 2.3.5 - Stockage des produits finis

Les pièces fabriquées continuent à émettre des substances dangereuses et il faut prévoir leur stockage dans un local ventilé séparé de l'atelier de fabrication des pièces.

### 2.3.6 - Recyclage des déchets de thermoplastique (carottes ou rebuts)

En général et lorsque la nature des pièces le permet, les déchets plastiques sont broyés et réintroduits en début de chaîne. Cette opération peut être génératrice de poussières dans les broyeurs hors ligne.

## 3. Risque et réglementation

### 3.1. Risque d'exposition aux gaz, vapeurs, poussières

La transformation des matières plastiques peut être à l'origine de polluants

chimiques. Certains sont clairement identifiés (*voir tableau annexe 1*), d'autres restent méconnus faute de recherches ou de moyens analytiques. La toxicité et les niveaux d'exposition des opérateurs à ces produits restent *de facto* insuffisamment connus.

Nous nous contenterons donc ici d'une approche extrêmement sommaire de la toxicité des principaux polluants rencontrés. Il convient, pour plus d'information, de se rapporter aux publications spécialisées sur la dégradation des matières plastiques [2, 8] ou sur des monographies relatives à la toxicité de chacun des polluants [9].

Il faut en pratique distinguer :

- la pollution due aux matières plastiques utilisées à froid,

- la pollution due aux matières plastiques lors de leur transformation, celle-ci produisant en général une élévation importante de leur température avec émission de polluants bien particuliers,

- la pollution due aux produits de combustion,

- la pollution due aux produits annexes (solvants, décapants, etc.).

Seuls les deux premiers cas sont abordés ici.

La pollution due aux produits de combustion des matières plastiques est très particulière et relève de phénomènes accidentels non traités dans ce guide.

La pollution due aux produits annexes est à traiter au cas par cas et suivant les produits utilisés, souvent des solvants des polymères considérés (tétrahydrofurane pour le PVC, diméthylformamide pour les polyuréthanes, etc.).

#### À froid

On a coutume de considérer les matières plastiques comme inertes.

Dans le cas des thermoplastiques, les progrès réalisés dans la chimie des polymères permettent effectivement de considérer les plastiques de cette catégorie comme inertes.

C'est le cas notamment :

- des polyoléfinés (polyéthylène, polypropylène) ;
- du polystyrène ;
- du PVC. Ce dernier contenait autrefois (années 1960-1980) des quantités importantes de chlorure de vinyle (CV) cancérigène pour le foie. Actuellement, on peut considérer qu'il en est pratiquement exempt ;
- de l'ABS. Comme pour le PVC, les teneurs en monomère résiduel (ici l'acrylonitrile, cancérigène reconnu) sont actuellement extrêmement faibles.

Par contre, les impuretés des plastiques *thermodurcissables* peuvent être en quantités très importantes, les réactions de polymérisation étant en général incomplètes. Les monomères correspondants mis en œuvre étant très réactifs, leur toxicité peut être importante.

C'est le cas entre autres :

- des phénoplastes contenant du formaldéhyde (cancérigène) et du phénol,
- des aminoplastes contenant aussi du formaldéhyde,
- des polyuréthanes contenant des isocyanates (allergisants respiratoires sévères),
- des polyesters contenant du styrène (ototoxique (toxique pour le système auditif)).

Les principaux monomères résiduels figurent dans le tableau présenté en *annexe 1*.

On pourra se reporter, dans chaque cas, aux fiches toxicologiques éditées par l'INRS pour plus de détails.

En dehors de la toxicité des polluants gazeux présents dans les polymères, et toujours à froid, il convient de ne pas oublier les polluants particulaires. Ainsi, les poussières de matières plastiques, même considérées comme étant « sans effet spécifique », peuvent pénétrer dans les voies respiratoires et provoquer des atteintes respiratoires, surtout par encombrement des poumons (pneumoconioses de surcharge).

La présence de charges peut également être à l'origine d'un risque toxique supplémentaire.

### Aux températures de mise en œuvre

C'est ici qu'apparaissent une multiplicité de polluants, en général gazeux, qui proviennent de la transformation des polymères sous l'action de la chaleur.

Ces polluants, émis chacun à des niveaux variables, constituent des mélanges de toxicité mal connue.

Néanmoins, pour les matières plastiques les plus courantes, et aussi les plus étudiées, on a pu mettre en évidence dans ces mélanges, en quantités variables, et suivant les cas :

- des composés cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR),
- des composés irritants,
- des composants allergisants.

Nous avons regroupé les principaux polluants dégagés aux températures de mise en œuvre des polymères dans le tableau présenté en *annexe 1*. Ce document n'est pas exhaustif, et susceptible d'évolution.

Néanmoins, il apparaît que les CMR les plus fréquemment rencontrés sont :

- le formaldéhyde (cancérigène pour les voies respiratoires supérieures),
- l'acrylonitrile (cancérigène pour le foie).

Les composés irritants peuvent être, entre autres :

- le formaldéhyde (cancérigène déjà cité, les phénomènes irritatifs pouvant à la longue provoquer des lésions cancéreuses),
- d'autres aldéhydes,
- des phénols,
- l'ozone : il est particulièrement irritant pour le système respiratoire et les muqueuses oculaires. Son action sur les voies respiratoires est variable selon la concentration, la durée de l'exposition mais aussi la tolérance de chacun et le degré d'activité durant l'exposition. Elle peut se manifester dès 0,01 ppm.

Des allergènes respiratoires peuvent aussi être présents :

- isocyanates (le plus souvent TDI - diisocyanate de toluylène ou MDI - diisocyanate de diphenylméthane),
- formaldéhyde,
- anhydride phtalique.

En pratique, aux postes de travail, et sauf exception, ces composés se rencontrent en général en concentrations faibles, voire très faibles (inférieures à 1 ppm).

Une première approche de la toxicité, par comparaison des concentrations présentes dans l'atelier aux valeurs limites des polluants (quand elles existent), est possible.

La plupart du temps, cette comparaison sera rassurante, car elle montrera des concentrations nettement en dessous des valeurs limites (exception faite du formaldéhyde).

Cependant, la toxicité de ces mélanges complexes de polluants étant de fait mal connue, et des effets synergiques toujours possibles, cette simple comparaison aux valeurs limites reste tout à fait insuffisante, et il convient d'être très prudent avant de conclure à la salubrité des postes de travail.

## 3.2 - Risques liés à l'ambiance thermique

Selon les technologies et les procédés utilisés en plasturgie, les températures de consigne des machines seront plus ou moins importantes dépassant dans certains cas les 250 °C. Les échanges entre les sources thermiques (procédés, machines, produits fabriqués) et leur environnement, peuvent contribuer à un accroissement de la température au poste de travail, créer de l'inconfort, voire engendrer des contraintes thermiques pour les salariés. C'est en particulier le cas d'ateliers combinant une mauvaise isolation des machines avec une ventilation insuffisante.

Les sensations thermiques de

l'homme se rapportent principalement à l'état thermique de son corps dans son ensemble. Cet état est influencé par son activité physique et ses vêtements ainsi que par les paramètres de l'environnement : température d'air, température moyenne de rayonnement, vitesse et humidité de l'air.

La ventilation générale peut être utilisée pour améliorer les conditions climatiques aux postes de travail soumis à une charge thermique élevée.

En se basant sur les normes de confort [10, 11] (*annexe 3*), des conditions de confort sont obtenues aux postes de travail lorsque la vitesse de l'air est inférieure à 0,5 m/s et la température de l'air est comprise entre 18 et 24°C en conditions estivales (vêtement d'été) et entre 15 et 21°C en conditions hivernales (vêtement d'hiver).

Pour le cas des ambiances plus chaudes, une exposition à des contraintes thermiques trop importantes peut avoir des conséquences non négligeables pour l'organisme (crampes, déshydratation, épuisement, coup de chaleur...). L'analyse préventive de ces situations est possible en mettant en place, par exemple, la stratégie décrite dans [12].

### 3.3 - Réglementation

#### Aération assainissement

L'aération et l'assainissement de l'atmosphère des lieux de travail font l'objet des textes suivants issus du code du travail : articles R. 4222-1 à R.4222-26 et R. 4212-1 à R. 4212-7 relatifs à l'aération et à l'assainissement (décrets n°84-1093 et n°84-1094 du 7 décembre 1984). Les locaux où s'exercent des activités de plasturgie sont des « locaux à pollution spécifique », ce qui entraîne, pour l'employeur, l'obligation de capter les vapeurs, fumées et poussières « au fur et à mesure de leur production, au plus près de leur source d'émission et aussi efficacement que

possible, notamment en tenant compte de la nature, des caractéristiques et du débit des polluants de l'air ainsi que des mouvements de l'air » (art. R. 4222-12 et R. 4222-13 du code du travail).

Ces textes réglementaires font l'objet de commentaires et de précisions contenus dans la circulaire du 9 mai 1985 du ministère du Travail, relative au commentaire technique des décrets 84-1093 et 84-1094 du 7 décembre 1984 concernant l'aération et l'assainissement des lieux de travail. Ils imposent notamment la constitution d'un dossier d'installation comprenant ses valeurs de référence [ 13 ].

Le contrôle périodique des installations d'aération et d'assainissement fait l'objet de l'arrêté du 8 octobre 1987 du ministère du Travail. Les mesures et contrôles pouvant être prescrits par l'inspecteur du travail font l'objet de l'arrêté du 9 octobre 1987 du ministère du Travail [13].

#### Prévention du risque chimique

Les dispositions applicables aux activités dans lesquelles les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des agents chimiques dangereux (ACD) sont décrites dans les articles R. 4412-1 à R. 4412-58 du code du travail (*voir détail des articles en annexes*).

Selon celles-ci, l'employeur est tenu de procéder à une évaluation des risques liés aux ACD (articles R. 4412-5 à R. 4412-6), consignée dans le document unique d'évaluation des risques (DU) prévu dans l'article R. 4121-1 du code du travail.

Lorsque cette évaluation révèle un risque pour la santé des travailleurs, l'employeur est tenu (entre autres) de faire procéder à des contrôles d'exposition (articles R. 4412-27 à R. 4412-31 et décret 2009/1570 du 15 décembre 2009).

Des dispositions particulières ont de plus été prévues :

- pour les agents cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction catégories 1 et 2 (articles R.412-59 à R.4412-93) ;
- pour certains ACD (articles R.4412-149 à R. 4412-154) ;

– pour les travaux exposant au formaldéhyde (arrêté du 13 juillet 2006 modifiant celui du 5 janvier 1993).

Pour les agents cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction catégories 1 et 2 (articles R. 412-59 à R. 4412-93), la mesure de prévention 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 [9].

#### Machines et captage

Les règles et prescriptions applicables aux machines et équipements de travail sont issues de directives européennes.

Pour les machines neuves ou considérées comme neuves et faisant l'objet du marquage CE, le fabricant ou le concepteur doit respecter des exigences essentielles de sécurité et de santé énumérées dans la directive «Machines» 2006/42/CE (règles de conception) qui a été transposée en droit français par le décret n° 2008-1156 du 7 novembre 2008. Ces règles techniques de conception figurent dans le code du travail à l'article R. 4312-1.

Le captage fait l'objet du § 1.5.13 de l'annexe 1 de cette directive :

##### « 1.5.13. Émission de matières et de substances dangereuses

*La machine est conçue et construite de manière à éviter les risques d'inhalation, d'ingestion, de contact avec la peau, les yeux et les muqueuses et de pénétration percutanée de matières et de substances dangereuses qu'elle produit.*

*Lorsque le risque ne peut être éliminé, la machine est équipée de manière que les matières et substances dangereuses puissent être confinées, évacuées, précipitées par pulvérisation d'eau, filtrées ou traitées par toute autre méthode pareillement efficace.*

*Lorsque le processus n'est pas totalement confiné lors du*

*fonctionnement normal de la machine, les dispositifs de confinement ou d'évacuation sont placés de manière à produire le maximum d'effet. »*

Cette prescription doit être prise en compte lors de l'acquisition de nouvelles machines au niveau du cahier des charges et du contrat d'achat. Elle permet d'imposer au fournisseur un système de captage intégré à la machine.

L'adjonction ou la modification d'un système de captage doit être réalisée en maintenant la conformité de la machine aux exigences essentielles contenues dans la directive 2006/42/CE.

**Nota :** Les normes européennes visant les « Machines pour les matières plastiques et le caoutchouc » ne contiennent pas de prescriptions sur la conception de systèmes d'aspiration mais uniquement une information dans le paragraphe relatif à la notice d'instructions [14, 15].

## 4. Démarche de prévention

Les règles générales de prévention du risque chimique consistent à supprimer ou à réduire au minimum le risque d'exposition à des agents chimiques dangereux.

Les principes sont appliqués dans l'ordre suivant [16] :

- substitution par un autre produit ou procédé non dangereux ou moins dangereux,
- réduction de la quantité d'agents chimiques dangereux. Des modifications de procédés ou de matière doivent être recherchées afin de réduire la production de fumées et de contaminants,
- captage à la source des polluants,
- ventilation générale,
- mise en œuvre d'équipements de protection individuelle.

### 4.1 - Substitution des produits et procédés - Exemple des phtalates

Les phtalates constituent une famille de composés chimiques d'utilisation extrêmement répandue dans la mise en œuvre de certains polymères, notamment le PVC, pour lesquels ils servent essentiellement de plastifiants.

Des évaluations toxicologiques menées à la fin des années 1990 sur plusieurs phtalates, à la demande de l'Union Européenne, ont montré des risques reprotoxiques importants pour plusieurs d'entre eux.

Ont ainsi été classés reprotoxiques de catégorie 1B, entre autres :

- le phtalate de bis(2-éthylhexyle) ou DEHP,
- le phtalate de dibutyle ou DBP,
- le phtalate de diisobutyle ou DIBP,
- le phtalate de butyle et de benzyle ou BBP.

Réglementairement, tous les composés reprotoxiques 1B doivent être supprimés ou faire l'objet de substitution par un composé moins toxique, chaque fois que cela est techniquement possible. Cependant, chaque application est un cas particulier et, dans le cas des phtalates listés ci-dessus, nous ne pouvons proposer de solution « clef en main » au problème de leur remplacement.

Il existe cependant des cas de substitutions réussis que l'on peut citer :

- le DEHP peut être remplacé par du diisononyl phtalate (DINP), du diisodécyl phtalate (DIDP), ou de l'adipate de diéthylhexyle (DEHA), notamment dans la fabrication de gaines en PVC ;
- le DBP peut être remplacé par du dipropylène glycol dibenzoate (DGD).

Il convient néanmoins de rester prudent dans le choix des produits de remplacement, certains pouvant se révéler aussi toxiques que les composés qu'ils sont censés remplacer. C'est le cas du DIBP, retenu quelque temps comme substituant du DBP, mais reclassé en 1B depuis 2006.

### 4.2 - Maîtrise des émissions

#### 4.2.1 - Choix de la matière plastique

D'une façon générale, on choisira préférentiellement des matières thermiquement stables permettant de réduire les émissions. Par exemple, dans le cas de polyoxyméthylène (POM), on fera le choix d'un copolymère thermiquement plus stable plutôt qu'un homopolymère.

On vérifiera l'origine et la nature des matières recyclées pour éviter les risques de contamination par des produits fortement émissifs. On évitera également les produits ayant subi plusieurs recyclages, qui présentent un risque accru de dégradation thermique.

#### 4.2.2 - Maîtrise du procédé

L'émission de polluants est liée à une dégradation thermique de la matière. Il convient donc d'assurer un réglage optimal des températures (fourreau, injection, dosage, maintien) par un respect strict des températures de consigne et des temps de séjour pour éviter tout risque de surchauffe de la matière, notamment, par :

- une maintenance suivie des matériels de chauffage, de régulation et de mesure. La mise en place de dispositifs permettant d'assurer une traçabilité des conditions du moulage est à rechercher ;
- une maintenance suivie de l'ensemble du matériel de plastification (vis et buse en particulier), dans le but d'éviter les zones de stagnation et les risques de bouchage ;
- un contrôle de l'ensemble des ajouts (additifs, charges et colorants en particulier) pour éviter les risques de contamination de la matière ;
- une bonne surveillance de la production.

De la même manière, l'opération de purge, avant le démarrage d'une machine à mouler, doit être réalisée avec un respect strict de la température limite. L'utilisation d'une matière de purge spécifique est recommandée

chaque fois que c'est possible. La chique doit être éliminée le plus rapidement possible (immersion dans un seau d'eau ou évacuation vers un dispositif ventilé par exemple).

Le nettoyage en ligne des outillages (moule en particulier) est à éviter.

### 4.3 - Captage et ventilation générale

Le guide de ventilation n° 0 [17] traite de manière plus approfondie des principes généraux de ventilation.

#### 4.3.1 - Ventilation par aspiration locale

La ventilation par aspiration locale consiste à capter les polluants au plus près de leur point d'émission, avant qu'ils pénètrent dans la zone d'évolution des travailleurs et soient disséminés dans toute l'atmosphère de l'atelier. Elle se compose de dispositifs de captage localisé et d'introduction d'air de compensation. Cette solution de ventilation doit être retenue en priorité.

#### 4.3.2 - Ventilation générale

La ventilation générale consiste, grâce à un apport d'air neuf en quantité suffisante, à diluer les polluants émis afin que leur concentration dans l'ambiance reste inférieure à un seuil donné. Les travailleurs doivent être suffisamment éloignés des sources de pollution pour ne pas être soumis aux fortes concentrations existant au voisinage immédiat de celles-ci.

La ventilation générale n'est à retenir en tant que technique principale d'assainissement de l'air que lorsqu'il est impossible de mettre en œuvre une ventilation par aspiration locale. Toutefois, une ventilation générale complémentaire est souvent nécessaire pour éliminer les polluants résiduels non captés à la source par les aspirations locales.

#### Ventilation générale par déplacement

Dans la ventilation générale par déplacement, applicable en présence de sources de chaleur, l'air de compensation est introduit dans le local à faible vitesse et à une température inférieure à la température ambiante. Une stratification de l'air est créée grâce aux forces de convection thermique qui transportent l'air chaud et pollué jusqu'en partie haute du local où il peut alors être extrait.

La conception et le dimensionnement de ces systèmes doivent s'appuyer sur une étude qui prend en compte les paramètres spécifiques des ateliers (géométrie des locaux, puissance thermique des machines, particularité des procédés...) et nécessite le recours à des spécialistes.

## 5. Dispositif de captage

Pour assurer l'efficacité des dispositifs de captage localisé, on appliquera les principes ci-dessous lors de la conception de l'installation :

- envelopper au maximum la zone de production des polluants,
- placer le dispositif de captage au plus près de la zone d'émission des polluants,
- installer le dispositif de captage de telle sorte que l'opérateur ne puisse pas se placer entre celui-ci et la source de polluants,
- utiliser les mouvements naturels des polluants,
- capter les polluants en induisant, à proximité de leur zone d'émission, des vitesses d'air suffisantes, à déterminer à partir des caractéristiques du procédé (guide 0) [17],
- répartir uniformément les vitesses d'aspiration dans la zone de captage.

Il faut remarquer que les procédés de plasturgie génèrent souvent de la chaleur qui peut être captée au niveau du poste de travail tout comme le polluant. Le dispositif de captage contri-

bue ainsi à l'obtention du confort thermique.

### 5.1 - Dispositifs de captage enveloppants

Un dispositif de captage est enveloppant lorsque la source de pollution est située entièrement à l'intérieur du dispositif. En général, ce type de dispositif ne présente pas plus de deux côtés ouverts. Les vitesses d'air dans les ouvertures doivent être choisies de telle façon que les polluants ne puissent pas ressortir du dispositif.

Pour les dispositifs de captage enveloppants, le débit d'air est fourni par la relation :

$$Q = A V$$

avec :

- Q : débit d'aspiration ( $m^3/s$ ),
- A : aire totale des ouvertures ( $m^2$ ),
- V : vitesse moyenne de l'air dans les ouvertures (m/s).

### 5.2 - Cabines ouvertes

Une cabine ouverte peut être considérée comme une enceinte dont une paroi a été en partie ou totalement retirée. Elle doit être assez grande (et en particulier assez profonde) pour contenir entièrement la zone naturelle d'expansion du polluant. L'aspiration est en général située en partie arrière. L'opérateur peut être placé à l'intérieur ou à l'extérieur de la cabine, mais jamais entre la source de pollution et l'aspiration.

Le débit d'aspiration dans l'ouverture est donné par la relation :

$$Q = A V$$

avec :

- Q : débit d'aspiration ( $m^3/s$ ),
- A : aire de la face ouverte ( $m^2$ ),
- V : vitesse moyenne de l'air dans la face ouverte (m/s).

Une des conditions essentielles du bon fonctionnement d'une cabine ouverte est la répartition la plus uniforme possible des vitesses d'air. Si la

cabine est prévue pour que l'opérateur se trouve à l'extérieur (petites dimensions), on visera une bonne répartition dans la face ouverte. Si elle est prévue pour que l'opérateur se trouve à l'intérieur, on essaiera d'avoir un écoulement aussi uniforme que possible au niveau de l'opérateur, en particulier en évitant de créer des zones de turbulence par des obstacles.

Pour obtenir une bonne répartition du débit d'air, il est possible d'utiliser, au fond de la cabine, des écrans, des fentes associées à un caisson. Plus la cabine est profonde, meilleure est la répartition des vitesses. En outre, une cabine profonde avec la source de pollution placée près du fond contient mieux la zone naturelle de dispersion des polluants et évite les retours d'air pollué vers l'opérateur.

### 5.3 - Dispositifs de captage inducteurs

Dans le cas des dispositifs inducteurs, la source de pollution est située à l'extérieur du dispositif. Le débit d'aspiration doit alors induire des vitesses d'air (appelées vitesses de captage) suffisantes dans la zone d'émission des polluants pour les entraîner à l'intérieur du dispositif de captage. Les dosserets aspirants sont un exemple de dispositif inducteur. La table aspirante est un plan de travail auquel a été adjoint un dispositif de captage inducteur utilisable par exemple pour les opérations d'ébarbage (un exemple est présenté au paragraphe 2.3.4).

Les bouches d'aspiration sont caractérisées par une forme circulaire ou un rapport longueur sur largeur inférieur à 5. Les fentes d'aspiration possèdent un rapport d'aspect supérieur à cette valeur. La figure 9 donne, en fonction de la forme du dispositif (bouche, fente) et de la présence ou non de colerette, les formules permettant de calculer le débit d'air  $Q$  nécessaire pour induire une vitesse d'air  $V$  à une distance  $X$  de l'ouverture d'un dispositif de captage inducteur. Dans le cas d'une table munie d'un dosseret aspi-

rant arrière, le débit d'aspiration est calculé par la formule :

$$Q = \lambda A V$$

avec :

- $Q$  : débit d'aspiration ( $m^3/s$ );
- $A$  : aire du plan de travail de la table ( $m^2$ );
- $V$  : vitesse de captage ( $m/s$ );
- $\lambda$  : coefficient sans dimension.

Le coefficient  $\lambda$  varie de 1,6, dans le cas d'une table avec écrans latéraux et casquette, à 2,4 dans le cas d'une table avec écrans latéraux sans casquette et à 2,8 dans le cas d'une table sans écran.

Lorsque la géométrie de la source de polluants s'y prête, il est également possible d'entourer la zone d'émission par un dispositif de captage annulaire muni d'orifices d'aspiration le long de sa face interne. Un exemple est présenté dans le dossier technique n° 5.

La mise en place de collerettes, de bords tombés, d'un plan de travail plus largement dimensionné ou d'écrans, permet d'améliorer le fonctionnement des dispositifs de captage inducteurs, soit en améliorant l'efficacité de captage lorsque le débit d'air reste inchangé, soit en permettant une diminution des débits d'air tout en conservant la même efficacité de captage.

### 5.4 - Dispositifs de captage récepteurs

Il s'agit d'un dispositif qui collecte les polluants entraînés spontanément vers son ouverture par le processus de travail, comme par exemple une hotte. Cet entraînement peut résulter des phénomènes de convection thermique au-dessus de processus chauds (*voir les dossiers techniques 1, 2, 3 et 4*). Le débit d'air à aspirer dépend alors du débit du panache ascensionnel à la hauteur de l'ouverture, lui-même fonction de paramètres comme la forme et les dimensions des sources de chaleur, les puissances thermiques dégagées, la distance verticale parcourue, etc.

D'une façon générale, les dispositifs

de captage récepteurs sont d'un emploi et d'un calcul plus délicat que les dispositifs de captage inducteurs et ils sont plus sensibles aux courants d'air, en particulier lorsque les polluants sont entraînés par convection thermique. Ils ne doivent pas être retenus lorsque l'opérateur est susceptible de placer sa tête dans le flux d'air pollué entre la source et l'ouverture du dispositif.

#### Remarque

**Le captage des polluants peut générer des condensats dans les conduits de ventilation. Dans ce cas, il convient de prévoir des réseaux étanches, en légère pente et avec des points de purge.**

## 6. Compensation de l'air

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

- assurer l'efficacité des systèmes de ventilation : un dimensionnement inadéquat 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 ;
- 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 (*voir annexe 3*).

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, éventuellement son humidité et d'assurer une distribution optimale de l'air neuf. L'introduction d'air neuf doit se faire de préférence sur le périmètre de la zone à assainir sans engendrer de

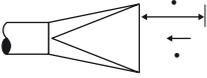
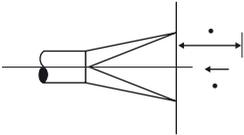
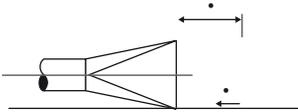
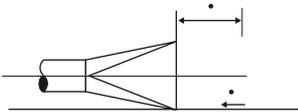
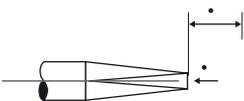
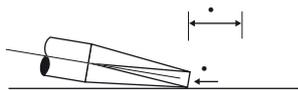
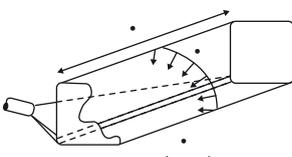
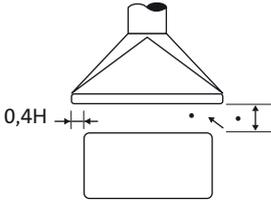
Bouches d'aspiration ( $\frac{L}{b} \leq 5$ ou circulaire)	
	Bouche isolée sans collerette : $Q = (10 X^2 + A)V$
	Bouche isolée avec collerette : $Q = 0,75(10 X^2 + A)V$
	Bouche sans collerette reposant sur un plan : $Q = (5 X^2 + A)V$
	Bouche avec collerette reposant sur un plan : $Q = 0,75(5 X^2 + A)V$ Pour X assez grand $Q = 3,14 \times 2V$
Fentes d'aspiration ( $\frac{L}{b} > 5$ ) Formules valables si $X > 0,4 b$	
	Fente isolée sans collerette $Q = 3,7L X V$
	Fente isolée avec collerette $Q = 2,8L X V$
	Fente sans collerette appuyée sur un plan : $Q = 2,8L X V$
	Fente aspirant dans un volume limité par deux plans : $Q = 1,6L X V$
	Hotte en dôme : • 4 côtés ouverts $Q = 1,4PHV$ • 2 côtés ouverts b et L $Q = (b + L)HV$
$Q = \text{débit d'aspiration (m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ $L = \text{longueur de la bouche}$ ou de la fente (m) $b = \text{largeur de la bouche}$ ou de la fente (m)	$A = Lb = \text{section de la bouche}$ ou de la fente (m <sup>2</sup> ) $P = \text{périmètre de la source (m)}$ $V = \text{vitesse de l'air à la distance X (m} \cdot \text{s}^{-1})$

Figure 9 • Relations entre le débit d'aspiration et les vitesses d'air induites devant un dispositif de captage inducteur

perturbation des dispositifs de captage.

Le moyen choisi pour diffuser cet air varie en fonction de la disposition du local et du mode d'exécution du procédé. En règle générale, il faut veiller à ce que l'air neuf passe au voisinage des voies respiratoires de l'opérateur.

## 7. Traitement de l'air extrait

### 7.1 - Rejet de l'air à l'extérieur – récupération d'énergie

Le procédé d'assainissement de l'air des locaux offrant les meilleures garanties de sécurité est le rejet de l'air chargé de gaz et de fumées à l'extérieur. Il évacue directement les fumées au-dehors des locaux de travail au fur et à mesure de leur production et de leur captage. Le rejet doit s'effectuer loin 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.

Un échangeur de chaleur peut être placé au niveau du rejet de l'air de l'installation. Une étude INRS a montré que l'énergie récupérée par de tels systèmes peut atteindre 50 % des besoins en chauffage dans les ateliers de plasturgie (voir dossier technique 3 et [19]).

### 7.2 - Recyclage de l'air après épuration

L'utilisation du recyclage est soumise à des conditions restrictives limitant son domaine d'application. Dans le cas des fumées de dégradation des matières plastiques ou des autres vapeurs émises par les procédés de

plasturgie, certaines mesures de protection compensatoires, décrites aux articles R. 4222-14 et suivants du code du travail et précisées par la circulaire du 9 mai 1985, ne peuvent pas être mises en œuvre. Par conséquent, le recyclage est à proscrire.

## 8. Réception, maintenance et contrôle des installations

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 de ventilation (arrêté du 8 octobre 1987) [18].

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, conduite à tenir en cas de panne ou de dysfonctionnement...).

### 8.1 - 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 :

- liste des polluants,
- 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...),
- pour chaque dispositif de captage : débits, efficacité de captage, pressions statiques ou vitesses d'air (débit 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.

### 8.2 - Opérations de maintenance

La fréquence des opérations de maintenance (nettoyage des dispositifs de captage, purges des conduits, changement des filtres des épurateurs, nettoyage des épurateurs, etc.) doit être définie par le chef d'entreprise.

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

### 8.3 - Contrôles périodiques

Ces contrôles doivent être réalisés par un technicien qualifié appartenant ou non à l'entreprise. Pour les locaux à pollution spécifique, 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 de vitesses d'air dans les conduits ou à défaut, mesures de 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. Pour les méthodes de contrôle, il convient de se reporter à la brochure sur le dossier d'installation de ventilation et à l'annexe de l'arrêté du 9 octobre 1987 [18].

# Annexe 1

## Principaux polluants dégagés aux températures de mise en œuvre des polymères

		CMR dégagés aux températures	Autres substances dangereuses
<b>Thermoplastiques</b>			
<b>Polyéthylène</b>	PE et EVA	formaldéhyde	cétones, aldéhydes, acide formique, acide acétique...
<b>Polypropylène</b>	PP	formaldéhyde	cétones, aldéhydes...
<b>Polyvinyliques</b>	PVC	benzène (traces), formol	anhydride phtalique, acide chlorhydrique, phtalates, acroléine...
<b>Polyalcool vinylique</b>	PVAL	–	éthers
<b>Polyacétate de vinyle</b>	PVAC		acide acétique, cétones, aldéhydes...
<b>Polychlorure de vinylidène</b>	PVDC	formol	anhydride phtalique, acide chlorhydrique, phtalates, acroléine...
<b>Polybutyral</b>	PVB	formol	anhydride phtalique, anhydride butyrique
<b>Polystyrène</b>	PS	benzène (traces), formol	styrène, éthylbenzène, benzaldéhyde, HAP...
<b>Copolymères styréniques</b>	SAN	acrylonitrile, benzène (traces)	styrène, méthacrylate de méthyle, éthylbenzène, benzaldéhyde, acroléine...
<b>Polyacryliques et méthacryliques</b>	PMMA	–	méthacrylate de méthyle
<b>Polyacrylonitrile</b>	PAN	acrylonitrile	acroléine, aldéhydes...
<b>Polyamides</b>	PA	acrylonitrile	acroléine, aldéhydes, cétones, acétonitrile, produits de rilsanisation (ammoniac, oxyde de carbone...)
<b>Polycarbonates</b>	PC	benzène (traces)	toluène, aldéhydes
<b>Acétates de cellulose</b>	CA	formol	aldéhydes, acroléine, anhydride phtalique
<b>Nitrate de cellulose</b>	CN	–	acide cyanhydrique, monoxyde de carbone, nitriles
<b>Polyéthylène téréphtalate</b>	PET, PETP	–	acroléine, aldéhydes
<b>Polytetrafluoréthylène</b>	PTFE		fluorure d'hydrogène, tetrafluoroéthylène, octafluoroisobutylène et autres hydrocarbures fluorés
<b>Polychlorotrifluoréthylène</b>	PCTFE	–	fluorure d'hydrogène, chlorotrifluoréthylène et autres hydrocarbures fluorés
<b>Polyfluorure de vinylidène</b>	PVDF	–	fluorure d'hydrogène, tetrafluoroéthylène, octafluoroisobutylène et autres hydrocarbures fluorés
<b>Polyoxyméthylène</b>	POM	formol	méthylal
<b>Polysulfones</b>	PSU		anhydride sulfureux, monoxyde de carbone
<b>Polysulfure de Phénylène</b>	PPS	–	monoxyde de carbone, anhydride sulfureux, hydrogène sulfuré
<b>Polyoxyphénylène</b>	PPE (PPO)	benzène (traces)	toluène, éthylbenzène, aldéhydes
<b>Thermodurcissables</b>			
<b>Polyesters</b>		–	styrène, méthacrylate de méthyle
<b>Phénoplastes</b>	PF	formol	phénol, ammoniac (traces)
<b>Polybutyral</b>	PVB	formol	anhydride phtalique, anhydride butyrique
<b>Polystyrène</b>	PS	benzène (traces), formol	styrène, éthylbenzène, benzaldéhyde, HAP...
<b>Copolymères styréniques</b>	SAN	acrylonitrile, benzène (traces)	styrène, méthacrylate de méthyle, éthylbenzène, benzaldéhyde, acroléine...
<b>Polyacryliques et méthacryliques</b>	PMMA	–	méthacrylate de méthyle
<b>Polyimides</b>	–	–	acide cyanhydrique, monoxyde de carbone
<b>Polyuréthanes</b>	PU	–	isocyanates, acide cyanhydrique, monoxyde de carbone, amines
<b>Polyorganosiloxanes</b>	–	–	

# Annexe 2

## Principales VLEP

Plusieurs des composés chimiques pouvant se dégager dans les ateliers de plasturgie ou y être utilisés comme solvants font l'objet de valeurs limites. Celles-ci sont présentées in extenso dans l'Aide Mémoire Technique INRS référencé ED 984 « Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France ».

Nous reprenons ci-après les plus importantes d'entre elles :

### 1 - Polluants avec valeurs limites réglementaires contraignantes

Polluants	FRANCE			
	VLEP 8 heures		VLEP court terme	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Acétone	500	1210	1000	2420
Benzène	1	3,25	–	–
Dichlorométhane	50	178	100	356
N,N-diméthylformamide	5	15	10	30
Tetrahydrofuranne	50	150	100	300

### 2 - Polluants avec valeurs limites réglementaires indicatives

Polluants	FRANCE			
	VLEP 8 heures		VLEP court terme	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
N-méthyl-2-pyrrolidone	500	1210	1000	2420

### 3 - Polluants avec valeurs limites admises

Polluants	FRANCE			
	VLEP 8 heures		VLEP court terme	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Acrylonitrile	2	4,5	15	32,5
Aldéhyde formique	0,5	0,61	1	1,23
Di-isocyanate de toluylène	0,01	0,08	0,02	0,16
Ozone	0,1	0,2	0,2	0,4
Phtalate de di(2-éthylhexyle)	–	5	–	–
Styrène	50	215	–	–

Par ailleurs l'article R. 4222-10 du code du travail précise que dans les locaux à pollution spécifique, les concentrations moyennes en poussières totales et alvéolaires de l'atmosphère inhalée par un travailleur, évaluées sur une période de huit heures, ne doivent pas dépasser respectivement 10 et 5 milligrammes par mètre cube d'air dans le cas de poussières inertes.

# Annexe 3

## Confort thermique des opérateurs

Selon la sévérité des ambiances thermiques, deux normes sont applicables pour caractériser les sensations thermiques de l'homme exposé à la chaleur: la première (ISO 7730 [10]) concerne l'évaluation du confort thermique et s'applique aux ambiances thermiques modérées qui correspondent à des situations peu éloignées du confort (par exemple température d'air inférieure à 30°C, température moyenne de rayonnement inférieure à 40°C) et la seconde (ISO 7933 [11]) permet la détermination de la contrainte thermique et est applicable aux ambiances chaudes.

Dans cette annexe nous présentons, pour le cas d'ambiances thermiques modérées (au sens de la norme 7730) habituellement rencontrées dans les ateliers de plasturgie, des recommandations générales issues de l'application de la norme 7730.

La connaissance des paramètres physiques qui caractérisent l'ambiance thermique d'un poste de travail, ainsi qu'une estimation de l'activité des salariés (métabolisme) et de leur isolement vestimentaire, permettent de prévoir la sensation thermique du corps dans son ensemble par le calcul de l'indice PMV (*Predicted Mean Vote*)<sup>(1)</sup>. L'indice PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) [10], déterminé à partir du PMV, précise le pourcentage de personnes susceptibles d'avoir trop chaud ou trop froid dans une ambiance donnée. L'inconfort thermique peut également être causé par un refroidissement ou un réchauffement local non désiré. Les causes d'inconfort les plus courantes sont le courant d'air, l'asymétrie de température de rayonnement (surfaces froides ou chaudes), les différences verticales de température et les sols froids ou chauds. L'indice DR (*Draught Rate*), fonction de la température de l'air et de l'intensité de la vitesse donne le pourcentage de personnes ressentant une gêne par courant d'air au niveau du cou.

La norme indique également différentes catégories d'ambiance ther-

mique en fonction de l'état thermique du corps dans son ensemble et de l'inconfort local. Ainsi, pour une ambiance considérée comme acceptable dans les ateliers, il est spécifié que le PPD doit rester inférieur à 15% et que le DR ne doit pas excéder 30%.

Le captage et la ventilation générale peuvent être utilisés pour améliorer les conditions climatiques aux postes de travail soumis à une charge thermique plutôt chaude, en association à un risque chimique. Ainsi, par exemple, pour les postes de travail où les phénomènes de rayonnement peuvent être négligés, une application de la norme ISO 7730 dans le cas d'une activité moyenne ( $M = 110 \text{ W/m}^2$ , par exemple travail sur machine) permet de définir des intervalles de température et de vitesse d'air pour assurer une ambiance correcte.

**En se basant sur cette norme, des conditions de confort sont obtenues aux postes de travail lorsque la vitesse de l'air est inférieure à 0,5 m/s et la température de l'air est comprise entre 18 et 24°C en conditions estivales (vêtement d'été) et entre 15 et 21°C en conditions hivernales (vêtement d'hiver).**

En raison des différences inter-individus et des activités variées dans un même atelier, les conditions de fonctionnement du système de ventilation ne peuvent donner satisfaction à l'ensemble des personnes. L'adaptation du vêtement à l'activité et à la personne doit être recherchée pour satisfaire les conditions de confort ; ainsi pour une activité soutenue (travail avec outil à main par exemple), il faudrait plutôt choisir une tenue légère (par exemple caleçon, chemise à manches courtes, pantalon léger, chaussettes fines, chaussures) alors que pour une activité plus faible (par exemple poste de surveillance), un vêtement plus isolant (par exemple sous-vêtements à manches et jambes courtes, chemise, pantalon, veste, chaussettes, chaussures) est nécessaire.

<sup>(1)</sup> Le PMV est un indice qui donne la valeur moyenne des votes d'un groupe important de personnes exprimant leur sensation thermique sur une échelle comprise entre -3 (sensation de froid) et +3 (sensation de chaud), la neutralité étant à 0.

## BIBLIOGRAPHIE

- [0] Guide ATEX & PLASTURGIE - ATmosphères Explosives, Fédération de la plasturgie, www.laplasturgie.fr.
- [1] Guide pratique de ventilation n° 3 - Mise en œuvre manuelle des polyesters stratifiés. INRS, ED 665, 1989.
- [2] Matières Plastiques et adjuvants, hygiène et sécurité. INRS, ED 638, 2006.
- [3] Trotignon J.P., Verdu J., Dobraczynski A., Piperaud M. - Matières Plastiques, Les précis AFNOR/NATHAN, Paris 1996.
- [4] Emploi de matériaux pulvérulents. Paris, INRS, ED 767, 2003.
- [5] Cuves de traitement de surface. Paris, INRS, ED 651, 2001.
- [6] Machines à dégraisser. Paris, INRS, ED 964, 2006.
- [7] Conception des dispositifs de captage sur machines à bois. Paris, INRS, ED 841, 2001.
- [8] Produits de dégradation thermique des matières plastiques. INRS, *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail*, ND 2097, 1999.
- [9] Fiches toxicologiques, www.inrs.fr.
- [10] Norme ISO 7730 - 2005 – Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local.
- [11] Norme ISO 7933 - 2004 – Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de l'astreinte thermique prévisible.
- [12] J. Malchaire - Stratégie de gestion des risques professionnels. Illustration dans le cas des ambiances thermiques au travail. *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail*, ND 2165, 2002.
- [13] Aération et assainissement des lieux de travail. Paris, INRS, coll. Aide-mémoire juridique, TJ 5, 2007.
- [14] NF EN 201 décembre 2009 – Machines de moulage par injection - Prescriptions de sécurité.
- [15] NF EN 12409 novembre 2009 – Machines de thermoformages - Prescriptions de sécurité.
- [16] Prévention du risque chimique sur les lieux de travail. Paris, INRS, coll. Aide-mémoire juridique, TJ 23, 2006.
- [17] Guide pratique de ventilation numéro 0 - Principes généraux de ventilation. Paris, INRS, ED 695, 1989.
- [18] Guide pratique de ventilation numéro 10 - Le dossier d'installation de ventilation. Paris, INRS, ED 6008, 2007.
- [19] Rapp R. - Évaluation technico-économique de dispositifs de ventilation intégrant une récupération d'énergie, étude INRS C.7.2.048, 2010.
- [18] Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. Paris, INRS, ED 984, 2012.

# Dossiers techniques

<b>Dossier technique 1</b>	Captage des fumées sur machines à mouler par injection	<b>24</b>
<b>Dossier technique 2</b>	Captage des polluants sur une machine à mouler par injection et évaluation de l'efficacité de captage	<b>26</b>
<b>Dossier technique 3</b>	Captage des fumées sur des presses à thermoformer	<b>28</b>
<b>Dossier technique 4</b>	Captage des fumées sur des presses à thermoformer avec compensation mécanique de l'air	<b>30</b>
<b>Dossier technique 5</b>	Captage des fumées sur une filière d'extrusion gonflage	<b>32</b>
<b>Dossier technique 6</b>	Captage des fumées sur une ligne d'extrusion	<b>34</b>
<b>Dossier technique 7</b>	Alimentation centralisée des matières	<b>36</b>
<b>Dossier technique 8</b>	Nettoyage thermique de buses d'injection	<b>38</b>
<b>Dossier technique 9</b>	Nettoyage des moules en cabine ventilée	<b>40</b>
<b>Dossier technique 10</b>	Nettoyage des moules et outillage par cryogénie	<b>42</b>
<b>Dossier technique 11</b>	Nettoyage des moules et outillage par bains ultrasons	<b>44</b>
<b>Dossier technique 12</b>	Ventilation générale d'un atelier d'extrusion - soufflage	<b>46</b>

# Dossier technique 1

## Captage des fumées sur machines à mouler par injection

### Contexte

L'entreprise de 55 personnes fabrique des pièces pour l'industrie automobile, la connectique, le jouet, l'emballage et diverses autres applications. Les matières injectées sont constituées notamment de polystyrène, de polyoléfines, de polyamides, de polycarbonate, d'acrylonitrile butadiène styrène (ABS) et de polyoxyméthylène (POM).

### Analyse de la situation

L'atelier d'injection est souvent pollué par des fumées et certains salariés se plaignent d'irritations respiratoires. Installée dans des locaux trop exigus, l'entreprise décide de mettre à profit la construction d'un nouvel atelier pour améliorer les conditions de travail, notamment vis-à-vis des émanations de fumées.

L'installation de ventilation à réaliser devra assurer un captage à la source des émissions pendant les phases de production où les fumées sont peu abondantes, mais également pendant les phases plus polluantes comme les purges réalisées à chaque changement de matière.

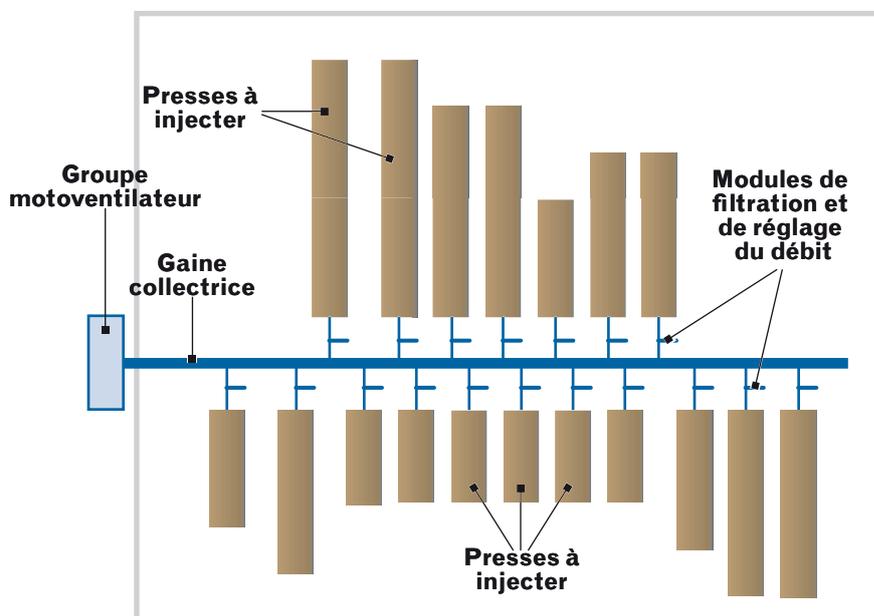


Schéma d'installation des presses à injecter

### Solution retenue

Les 18 presses de l'atelier d'injection, dont les forces de fermeture sont comprises entre 80 et 350 tonnes, sont réparties de part et d'autre d'une pas-

serelle centrale utilisée pour la distribution des énergies et des matières.

Chaque presse est équipée d'une hotte de captage placée au-dessus de la buse d'injection et reliée à un conduit collecteur placé sous la passe-



**Hottes de captage**

relle par l'intermédiaire d'un caisson individuel qui comprend un filtre, un manomètre différentiel et un registre

de réglage du débit à commande électropneumatique.

En mode production automatique, le registre est positionné sur le débit nominal.

En mode manuel, notamment lors des purges, le registre permet de doubler le débit d'aspiration.

Après filtration (rétention des aérosols liquides), l'air est rejeté à l'extérieur à hauteur de la toiture du bâtiment. La compensation de l'air extrait est assurée par des entrées d'air naturelles aménagées dans une paroi du bâtiment.

### Résultats - Validation

Le débit global d'aspiration pour les 18 presses est de l'ordre de 16 000 m<sup>3</sup>/heure. Il a été prévu pour un fonctionnement simultané de 16 presses en mode production et 2 presses en mode purge ou dégradé.

Les débits d'aspiration unitaires sont compris, suivant les presses, entre 600 et 800 m<sup>3</sup>/heure en mode production et entre 1 000 et 1 700 m<sup>3</sup>/heure en mode purge.

Ils ont été calculés pour une hotte



**Caisson de filtration et registre de sélection du débit**

placée immédiatement au-dessus de la source d'émission sur la base d'une vitesse d'air minimale dans le plan d'ouverture de 0,75 m/s dans le premier mode et de 1,5 m/s dans le second.

Après mise en place de ces dispositifs de captage, il n'y a plus de fumées en partie haute de l'atelier et le personnel ressent une amélioration très nette de son confort respiratoire.

Depuis, le système a été reconduit sur des extensions d'atelier et a servi d'exemple pour d'autres entreprises.

## Dossier technique 2

# Captage des polluants sur une machine à mouler par injection et évaluation de l'efficacité de captage

### Contexte

L'entreprise, qui compte 53 salariés, fabrique des pièces en matière plastique pour des compteurs d'énergies diverses. Les substances injectées sont constituées principalement de polyoxyméthylène (POM), d'acrylonitrile butadiène styrène (ABS) et, accessoirement, de polyamide (PA), de polypropylène (PP) et de polycarbonate (PC).

### Analyse de la situation

Afin de réduire l'exposition des salariés notamment aux produits de dégradation thermique comme le formaldé-

hyde, la société a décidé d'améliorer le captage des polluants émis par les presses.

L'atelier est équipé d'un système de ventilation générale mécanique avec compensation de l'air extrait (*voir schéma ci-dessous*). Sur les presses, il n'existe pas de dispositif destiné à capter les polluants à la source. Ceux-ci sont générés en phase de production mais également lors de la purge réalisée à chaque changement de matière.

### Solution retenue

Un prototype de hotte de captage a été déterminé puis installé au-dessus de la buse d'injection sur une des

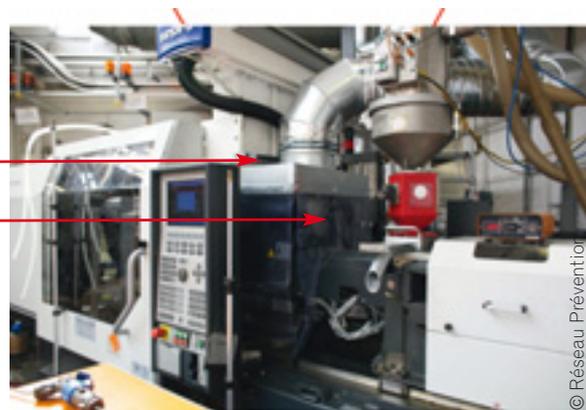
machines d'une force de fermeture de 100 T. Le capteur est équipé de bandelettes souples transparentes pour compléter le confinement entre sa base et le bâti de la presse. Le collecteur est relié au réseau de ventilation existant par un conduit dans lequel un ventilateur extrait l'air au travers d'un registre qui permet de faire varier le débit.

Cette installation temporaire a été réalisée afin d'estimer l'efficacité du prototype de captage par des mesures qui devront permettre de valider sa géométrie, d'optimiser le débit de l'air extrait et de vérifier l'utilité des bavettes. Si les résultats sont probants, le dispositif de captage doit être généralisé à l'ensemble des machines actuellement en place dans l'atelier



Diffuseur ventilation générale

Gaine extraction hotte



Hotte

Bandelettes souples transparentes

Connexion du système de captage au réseau de ventilation

Géométrie du dispositif de captage

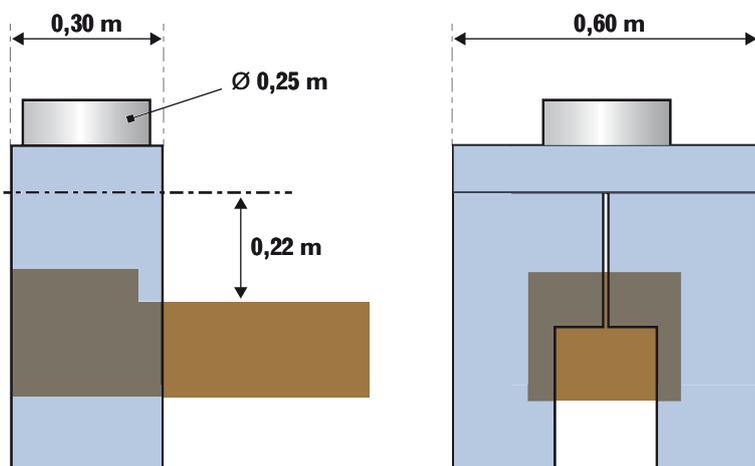


Schéma du dispositif de captage

lorsque celui-ci sera transféré dans de nouveaux locaux en cours de construction.

### Résultats - Validation

#### Efficacité de captage

Les mesures ont été effectuées en faisant varier le débit d'extraction dans différentes configurations : en mode de fonctionnement normal ou en mode purge, avec 0, 2 ou 4 bavettes en place autour de la hotte (*cf. photos du dispositif de captage*).

L'efficacité du captage a été évaluée par traçage gazeux. Une efficacité de

100 % indique que la totalité du débit de polluant a été collectée par le système de captage (*tableau 1*).

Les mesures mettent en évidence l'intérêt des bavettes et montrent que l'installation permet d'obtenir des efficacités moyennes de captage satisfaisantes avec un débit d'extraction minimal d'environ 460 m<sup>3</sup>/h lorsque toutes les bavettes sont en place.

### Concentrations en formaldéhyde

Des prélèvements atmosphériques ont été réalisés au voisinage du poste de travail en situation de production normale et en mode de purge (*tableaux 2 et 3*).

Ces résultats démontrent que, tant en mode normal de production qu'en mode purge, le captage permet d'obtenir des concentrations résiduelles en formaldéhyde faibles en tout point, excepté au-dessus du bac de récupération des pièces. La concentration en polluant dans le conduit montre qu'en mode purge le débit d'émission du procédé est près de 15 fois supérieur à ce qu'il est en mode normal.

TABLEAU 1

#### Efficacités moyennes de captage

Débit d'air extrait (m <sup>3</sup> /h)	Mode de fonctionnement de la presse	Bavettes autour de la hotte		
		0	2	4
470	Purge	–	–	100 %
2 350	Normal	100 %	–	–
1 000	Normal	99 %	100 %	100 %
660	Normal	99 %	100 %	100 %
462	Normal	95 %	98 %	100 %
250	Normal	80 %	91 %	97 %

TABLEAU 2

#### Presse à injecter avec captage 450 m<sup>3</sup>/h - Production normale

Point de prélèvement (temps de prélèvement ~ 90 minutes)	Concentration formaldéhyde (mg/m <sup>3</sup> )
Poste de contrôle (hauteur voies respiratoires)	0,03
Au-dessus du point d'injection	0,03
0,25 m au-dessus du bac de récupération	0,55
0,1 m au-dessus du moule côté pupitre	0,07
Conduit de captage	0,04

TABLEAU 3

#### Presse à injecter avec captage 450 m<sup>3</sup>/h - Mode purge

Point de prélèvement (temps de prélèvement ~ 15 minutes)	Concentration formaldéhyde (mg/m <sup>3</sup> )
Poste de contrôle (hauteur voies respiratoires)	0,04
Au-dessus du point d'injection	0,14
0,25 m au-dessus du bac de récupération	0,17
0,1 m au-dessus du moule côté pupitre	0,03
Conduit de captage	0,56



Dispositif de captage - Aucune bavette en place



Dispositif de captage - Deux bavettes en place



Dispositif de captage - Quatre bavettes en place

# Dossier technique 3

## Captage des fumées sur des presses à thermoformer

### Contexte

Cette entreprise d'une trentaine de salariés a une activité de production d'emballages pour des produits de l'industrie agroalimentaire par thermoformage (3 000 tonnes de produits réalisés/an).

Elle dispose de 10 presses à thermoformer différents matériaux dont PS (Polystyrène), PVC (Polychlorure de Vinyle), PE (polyéthylène), PP (Polypropylène) et PET (Polyéthylène téréphthalates).

### Analyse de la situation

Suite à une déclaration de maladie professionnelle pour asthme allergique, l'entreprise a décidé de mettre en place un dispositif d'assainissement des postes de travail permettant le captage des produits de dégradations thermiques des matériaux plastiques.

Les températures de l'air au-dessus des fours sont inférieures à 40°C. Les vitesses d'émission des polluants sont comprises entre 0,3 m/s et 0,6 m/s au

niveau du plan de référence situé au-dessus du moule (cf. tableau 1).

### Solution retenue

Le dispositif d'assainissement de l'air de l'atelier répond aux prescriptions suivantes :

- captage des polluants par des hottes placées au-dessus des zones d'émission (cf. photo de la « Vue générale de la ventilation de l'atelier »). Les débits nécessaires sont fonction des dimen-



Presses à thermoformer



Presses à thermoformer

TABLEAU 1

#### Lignes de production : vitesse d'émission des polluants et caractéristiques des systèmes de captage associés

Désignation des lignes	Surface de références au-dessus du moule	Vitesse d'émission mesurée en m/s	Température de l'air mesurée au niveau de la surface de référence en °C	Débit d'extraction à mettre en œuvre en m <sup>3</sup> /h
<b>1</b> (chauffage entre 200°C et 300°C)	1 x 1,4 m et 0,7 x 1,4 m	0,3 et 0,6	33	3 600
<b>2</b> (chauffage entre 100°C et 300°C)	1 x 1,4 m et 0,7 x 1,4 m	0,3	27 et 24	3 600
<b>3</b>	1,4 x 0,7 m	0,33	36	1 200
<b>4</b>	1,4 x 0,7 m	0,33	36	1 200
<b>5 et 6</b>	0,9 x 0,5 m	0,3	26	500
<b>7</b>	0,9 x 0,5 m	0,3	25	500
<b>8, 9, 10</b>	1,4 x 1,2 m	0,3	30	1 800

sions des presses et des vitesses d'émissions des polluants (cf. *tableau 1*);

- asservissement de l'extraction au nombre de lignes en fonctionnement par une aspiration à débit variable (débit maximum d'extraction 15 000 m<sup>3</sup>/h);

- compensation mécanique de l'air extrait et filtration de l'air diffusé pour un contrôle de l'atmosphère (débit introduit 20 000 m<sup>3</sup>/h);

- niveau de bruit dû à l'installation de ventilation < 70 dB(A) ;

- pour éviter des situations d'inconfort thermique, l'air introduit est :

- réchauffé (périodes hivernales) afin d'obtenir une température minimale dans l'atelier ≥ 18°C,

- refroidi (périodes estivales) afin d'obtenir une température maximale de 25°C (ou éventuellement une température de 5°C inférieure à la température extérieure),

- diffusion à basse vitesse de l'air de compensation ;

- maîtrise des dépenses énergétiques par :

- la récupération de calories sur l'air extrait (échangeur à plaque),

- l'utilisation d'une pompe à chaleur (chaud/froid),

- la récupération d'une partie de la puissance du groupe frigorifique de refroidissement du process,

- la possibilité de fonctionnement en recyclage partiel pendant les



**Vue générale de la ventilation de l'atelier**

périodes d'inoccupation de l'atelier (week-end).

### Validation

Grâce à l'installation retenue, les différentes exigences concernant l'assainissement de l'air et les conditions de travail (efficacité de captage, bruit généré par l'installation de ventilation, ambiances thermiques) ont été atteintes.

L'installation permet également de

contrôler l'atmosphère de l'atelier avec un coût énergétique maîtrisé grâce aux dispositifs de récupération d'énergie (gain de 50 %).

Des modifications de certains composants des thermoformeuses ont été nécessaires afin de résister aux contraintes thermiques augmentées par la concentration de chaleur induite par l'enclassement des presses.

Le réseau de transport des effluents a été modifié afin de récupérer les condensats de plastifiants dans les conduits.

# Dossier technique 4

## Captage des fumées sur des presses à thermoformer avec compensation mécanique de l'air

### Contexte

L'entreprise de 100 personnes conçoit et fabrique des conditionnements thermoformés. Les matières plastiques utilisées sont constituées notamment de polystyrène (PS), de polyéthylène téréphtalate (PET), de polychlorure de vinyle (PVC) et de polypropylène (PP).

L'atelier comprend 9 lignes.

### Analyse de la situation

La ventilation, assurée par des tourelles d'extraction placées dans la toiture du bâtiment, manque d'efficacité vis-à-vis de l'évacuation des fumées, particulièrement lors des incidents qui conduisent à une surchauffe de la matière plastique.

De plus, la compensation de l'air extrait se fait naturellement avec les inconvénients qui en découlent (courants d'air et écarts de température en particulier).

### Solution retenue

Les presses étant correctement carénées sur les côtés latéraux, chacune d'elle a été équipée d'une hotte sur sa partie supérieure destinée à capter les émissions polluantes en phase normale de production mais également lors des phases d'incidents avec des émissions polluantes plus massives.

Des bavettes souples complètent le confinement entre la base de la hotte et le bâti de la presse.

Chaque hotte a été raccordée à une tourelle d'extraction bi-vitesse posée en toiture et permettant le fonctionnement du captage sous deux modes :

- la petite vitesse assure l'extraction en fonctionnement normal,



Hotte de captage



Ligne de thermoformage



© Réseau Prévention

### Gaines textiles

- la grande vitesse permet l'extraction des fumées en phase d'incidents.

Le basculement de débit se fait manuellement sur un boîtier de commande placé sur chacune des lignes.

Un « chapeau chinois » inversé a été placé dans la hotte pour recueillir et évacuer les condensats en provenance de la gaine de raccordement et prévenir des défauts de qualité liés à des égouttures sur le film plastique.

La compensation de l'air extrait est effectuée par un réseau constitué d'une gaine textile aérienne et de diffuseurs verticaux placés en bout de chaque ligne au poste de réception des pièces. L'ensemble est raccordé à une centrale de traitement d'air.



© Réseau Prévention

### Centrale de traitement d'air

L'air est rafraîchi par humidification en été et réchauffé en période froide. Le débit d'air neuf a été calculé pour compenser (avec une majoration de 10%) l'aspiration simultanée sur huit presses en mode normal et une en mode dégradé ; l'atelier de thermoformage est donc en légère surpression.

### Résultats - Validation

Les débits d'aspiration unitaires de 3 000 m<sup>3</sup>/heure en mode normal et de 6 000 m<sup>3</sup>/heure en mode dégradé ont été validés lors d'une phase de prototypage.

Lors de celle-ci, des mesures de vitesses d'air dans les ouvertures du

confinement ont été réalisées dans les deux configurations d'aspiration. Des vitesses d'air comprises entre 0,2 et 0,3 m/s ont été relevées en mode normal et comprises entre 0,3 et 0,6 m/s en mode dégradé.

L'efficacité a été confirmée par simulation d'un mode dégradé. Une évacuation efficace des fumées a été constatée au fur et à mesure de leur production sans aucune odeur perceptible dans l'atelier.

La filtration de l'air neuf et la surpression de l'atelier permettent, par ailleurs, une meilleure protection de celui-ci contre les poussières et les insectes à l'origine de défauts de qualité.

# Dossier technique 5

## Captage des fumées sur une filière d'extrusion gonflage

### Contexte

La société conditionne des liquides sous différentes formes (flacons, berlingots...).

Les emballages de type berlingots sont fabriqués sur place à partir d'un film tubulaire en PVC additionné de phtalates.

La société produit des films tubulaires de différents diamètres allant de 0,44 m à 0,58 m.

### Analyse de la situation

La fusion des produits de base et l'étirage du film libèrent une partie des phtalates (risque CMR et/ou dégagement de produits de dégradation dont du formaldéhyde) dans l'air des ateliers. Cette pollution se manifeste par l'existence d'un nuage d'aérosols dans la partie supérieure du local.

Le refroidissement du film à la sortie de l'extrudeuse est réalisé par un soufflage annulaire dont le débit est de l'ordre de 250 m<sup>3</sup>/h.

Les températures de surface du film tubulaire varient de 120 °C à la sortie de l'extrudeuse à 40 °C à 7 m de hauteur. Au contact de la filière, l'air se réchauffe et provoque un mouvement ascensionnel le long du cylindre. L'écoulement de couche limite ainsi créé, entraîne le polluant.

### Solution retenue

Un système de captage annulaire avec aspiration radiale est placé autour du film tubulaire à environ 40 cm au-dessus de la filière.

Le débit mis en œuvre est d'environ 1000 m<sup>3</sup>/h et les vitesses d'air à l'entrée de l'anneau d'aspiration sont de l'ordre de 6,5 m/s.

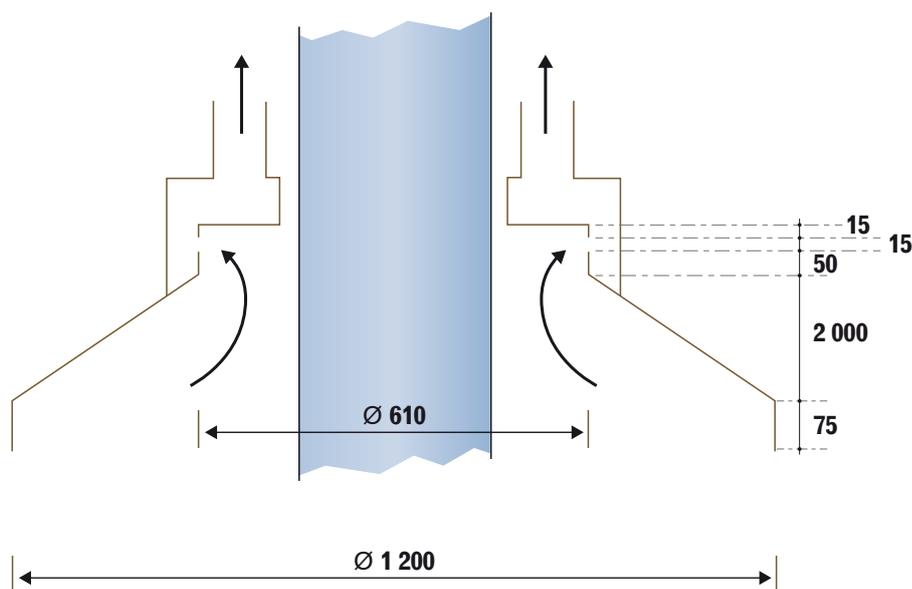
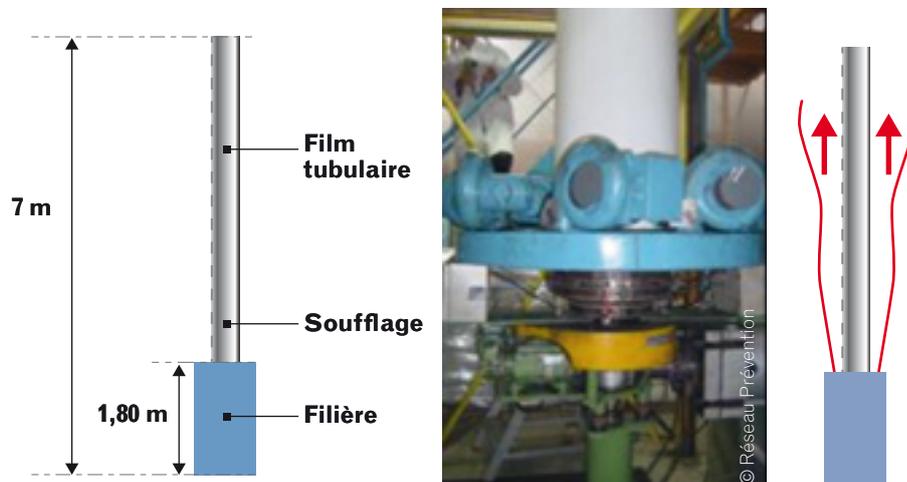
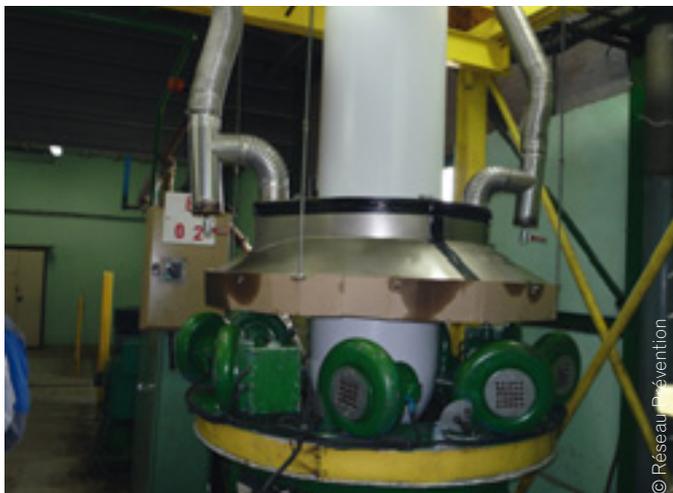


Schéma du dispositif de captage sur la filière

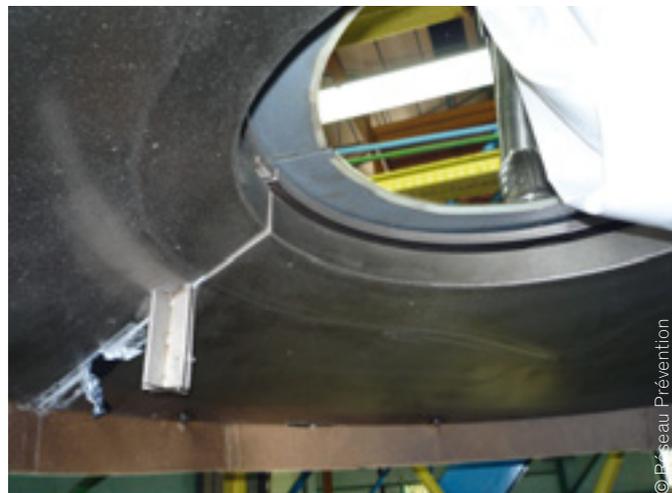
Le débit d'air emporté le long de la filière est la somme :

- du débit d'air de refroidissement par soufflage tangentiel (environ 250 m<sup>3</sup>/h) ;

- du débit d'air de la couche limite qui se développe par convection naturelle le long du cylindre. Ce débit est évalué en identifiant la source thermique (filière + machine) à un cylindre



**Dispositif de captage sur la filière**



**Détail de l'anneau aspirant**

qui part du sol et se développe jusqu'à hauteur du captage situé à environ 2,2m du sol. En majorant l'effet convectif, la température de surface du cylindre sera supposée de 150°C, ce

qui correspond à un débit d'environ 300m<sup>3</sup>/h à hauteur du captage.

Il faudra donc que le débit d'aspiration de la fente annulaire soit supérieur à 550 m<sup>3</sup>/h.

Le débit retenu de 1000 m<sup>3</sup>/h est donc suffisant ; il permet de maintenir un confinement dynamique et d'éviter une ascension des polluants au-dessus du captage.



**Vue générale de l'atelier**

## Validation

Les débits mesurés sont conformes. L'efficacité du système a d'abord été testée visuellement : aucune trace de nuage d'aérosols antérieurement présent dans la partie supérieure de l'atelier n'est visible.

Des mesures de concentration en phtalates, à poste fixe, ont été effectuées en différents points de l'atelier : à proximité de la trémie d'approvisionnement, des ventilateurs de soufflage, de l'enrouleur (partie basse de l'atelier) et de la plateforme (située en partie haute). Les résultats montrent que la pollution résiduelle en phtalates est comprise entre le centième et le cinquantième de la VLEP 8 h excepté au niveau de la plate-forme où elle est de l'ordre du dixième de la VLEP 8 h.

# Dossier technique 6

## Captage des fumées sur une ligne d'extrusion

### Contexte

L'entreprise est spécialisée dans la fabrication de profilés pour le bâtiment : joints de dilatation, protections murales et main courantes. Plusieurs produits allient souplesse et rigidité, nécessitant le recours à la technique de co-extrusion, permettant par exemple l'obtention d'un profilé rigide à bande centrale souple. L'atelier, d'une surface de 1 500 m<sup>2</sup>, comprend huit lignes de co-extrusion. Les opérateurs, au nombre de 20, fonctionnent en équipes 3 x 8.



**Ligne de co-extrusion**

**Hotte de captage**



**Filière d'extrusion de cornière de revêtement mural**

## Problématique

Mise en œuvre de PVC rigides et souples nécessitant l'utilisation de plastifiants dont notamment des composés de la famille des phtalates (risque CMR et/ou dégagement de produits de dégradation, dont du formaldéhyde). La température du profilé en sortie de filière est d'environ 160°C pour une température en masse de 195°C.

## Solution présentée

L'installation de ventilation de l'atelier comprend :

- 4 systèmes d'extraction de capacité unitaire 5 500 m<sup>3</sup>/h sous 400 Pa :
  - deux sont dédiés au captage des lignes d'extrusion,
  - deux autres assurent la ventilation générale de l'atelier ;
- présence d'un réseau mixte de chauffage climatisation par pompe à chaleur réversible air/eau, au moyen de bouches de diffusion situées en plafond.

Dispositifs de captage sur les lignes d'extrusion :

- une hotte de captage est placée au-dessus de la sortie de l'extrudeuse, de dimensions 80 x 20 cm ;
- la hotte est inclinable sur une charnière et réglable en hauteur (de 30 à

50cm au-dessus du profilé), de façon à permettre les opérations de maintenance ;

- le débit d'aspiration de la hotte est de 1 200 m<sup>3</sup>/h
- la vitesse moyenne frontale mesurée dans le plan de l'aspiration est de 1,9 m/s.

## Résultats

Des mesures d'exposition individuelles au formaldéhyde ont été réalisées sur les conducteurs de ligne. Des valeurs de l'ordre du 1/10 de la VLEP ont été observées.



**Hotte de captage inclinée**

# Dossier technique 7

## Alimentation centralisée des matières

### Le contexte

L'entreprise est spécialisée dans la conception, le développement, la fabrication et la commercialisation de pompes, valves et autres systèmes d'emballage et de distribution pour la pharmacie (pulvérisateurs, ...). Une quantité importante des pièces est réalisée en polyoxyméthylène (POM) homo-polymère et copolymère.



© Réseau Prévention

**Exemple de produits fabriqués**



© Réseau Prévention

**Poste d'alimentation - Situation initiale**

Le site comprend quatre unités de production possédant chacune un local d'alimentation centralisée des matières. Ce local met en œuvre un système pneumatique de transfert des granulés polymères vers les étuves de dessiccation qui alimentent elles-mêmes en automatique les presses à injecter.

### Analyse de la situation

Des prélèvements réalisés dans l'un des locaux d'alimentation centralisée montrent une exposition individuelle de courte durée au formaldéhyde significative, atteignant  $0,3 \text{ mg/m}^3$ . Le chargement des sacs dans les trémies d'alimentation est réalisé manuellement

par les opérateurs qui peuvent transférer jusqu'à 500 kg par poste de 8 heures. L'alimentation par le biais de silos n'est pas envisageable car les pièces injectées sont de petites dimensions, et les quantités de polymères des différentes références utilisées sont trop faibles pour justifier l'installation de silos.

### Solution retenue

Un des quatre locaux d'alimentation centralisée a fait l'objet d'une réimplantation complète, intégrant les problèmes de l'exposition au risque chimique et du port de charge.



© Réseau Prévention



#### Poste d'alimentation après modification - plateforme élévatrice et hotte de captage

##### Situation initiale du poste

Les opérateurs doivent porter les sacs de granulés de 25 kg depuis les palettes pour déverser leur contenu dans les trémies d'alimentation, comme le montrent les photos.

##### Après amélioration

Deux postes d'aménagement vers une seule trémie ont été aménagés : chaque poste reçoit une palette sur une plate forme auto-élévatrice, et l'opérateur n'a plus qu'à faire glisser les sacs sur les rouleaux de transfert jusqu'à la trémie, ouvrir le sac avec un outil coupant et laisser les granulés

tomber par gravité dans la trémie surmontée d'un captage localisé descendant en dessous du niveau des voies respiratoires de l'opérateur.

##### Validation

L'exposition au formaldéhyde a été divisée par dix par rapport à l'état initial, atteignant les valeurs bruit de fond. Les trois autres locaux d'alimentation centralisée font l'objet d'un aménagement identique.

Le port de charges a été réduit au strict minimum : seule une translation des sacs est nécessaire.

# Dossier technique 8

## Nettoyage thermique de buses d'injection

### Contexte

L'entreprise de 158 personnes fabrique des valisettes publicitaires et des mallettes pour de l'outillage par injection de matières plastiques. Les diverses matières injectées sont constituées notamment d'ABS, de polyoxyméthylène (POM) et de polyméthacrylate de méthyle.

### Analyse du problème

Le décapage au chalumeau des buses d'injection est réalisé à l'atelier maintenance. Cette opération manuelle génère des fumées de dégradation thermique qui se propagent

dans l'atelier. Elle comporte par ailleurs des risques de brûlures.

### Solution retenue

Le décapage thermique est réalisé dans un four qui se compose de deux parties :

- une chambre de chauffe située dans la partie inférieure du four qui porte les buses à 500°C (chauffage par des résistances électriques) pour éliminer les particules de matières plastiques présentes sur les buses,
- une chambre de pyrolyse (zone de post combustion) située en partie supérieure du four qui transforme les produits de dégradation en dioxyde de

carbone et en vapeur d'eau par un passage des fumées sur la flamme d'un brûleur alimenté au gaz propane.

Le four est balayé en permanence par un flux d'air qui permet la combustion et l'évacuation des fumées dans un conduit qui débouche sur le toit du bâtiment.

### Validation

L'atelier de maintenance n'est plus pollué par les fumées issues du décapage au chalumeau des buses.

Des prélèvements d'air ont été réalisés autour du four pendant deux opérations de décapage successives de



Décapage au chalumeau



Buses d'injection à traiter

buses utilisées pour l'injection de polyméthacrylate de méthyle (durée 120 min).

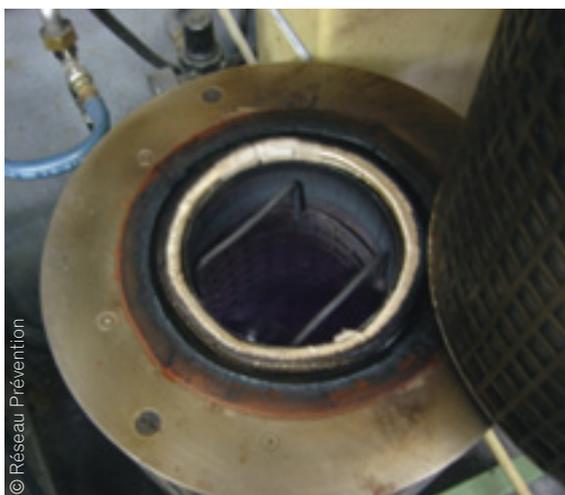
Seul le formaldéhyde a été identifié à des concentrations significatives mais très faibles, comprises entre 0,020 et 0,026 mg/m<sup>3</sup> (concentrations inférieures au 1/20 de la VME de 0,61 mg/m<sup>3</sup>).

D'autres polluants ont été identifiés (aldéhyde acétique, acétonitrile, méthacrylate de méthyle, toluène), mais à des concentrations inférieures aux seuils de quantification analytique.

Le faible niveau de pollution constaté confirme l'intérêt de cette technique.



**Four à pyrolyse pour le décapage des buses**



**Chambre de chauffe inférieure**



**Panier support de buses**

# Dossier technique 9

## Nettoyage des moules en cabine ventilée

### Contexte

L'entreprise fait partie d'un groupe en position de leader mondial dans la fabrication des pièces et modules de carrosserie en plastique. Le site, d'un effectif de 300 personnes, est dédié à la fabrication de modules de blocs avant pour des véhicules légers. Elle dispose d'un parc de 11 presses à injecter. La

production journalière est de l'ordre de 2 000 pièces. Les matières injectées sont constituées de polypropylène.

Les moules utilisés pèsent de 6 à 40 t pour un encombrement maximal de 1,5 x 1,5 x 2,8 m. La manipulation des moules est assurée par un pont roulant. Chaque presse dispose d'une barre chauffante intégrée aux moules.

### Problématique

Les pièces sont fabriquées par moulage par injection en canal chaud. C'est un procédé de moulage par injection, dans lequel le canal d'alimentation du moule est chauffé, afin que la carotte d'injection reste fluide et serve au moulage de la pièce suivante, au lieu de rester solidaire de la pièce moulée. Lors de la production, des obturations des injecteurs et des canaux chauds des moules surviennent. Après démontage, les barres (canaux) de chauffe doivent être purgées afin d'éliminer la matière pour réaliser des opérations de maintenance ou de réparation.

Pour cela, après démontage du moule, l'opérateur alimente électriquement les aiguilles chauffantes pour réchauffer le circuit jusqu'à environ 350°C. La matière fluidifiée est ensuite évacuée et chassée par air comprimé.

La matière et les fumées sortent alors par les buses inférieures de la barre de chauffe et se diffusent dans



Vue générale de l'atelier



Cabine ventilée

l'atelier. L'opération dure environ 30 s et est répétée jusqu'à évacuation complète des résidus.

### Solution présentée

Afin de gérer les opérations de nettoyage des moules et limiter la diffusion de fumées dans l'ensemble de l'atelier, l'entreprise a mis en place une procédure de nettoyage sous une cabine ventilée.

Mise en place d'une hotte mobile

avec parois latérales en lamelles transparentes.

La hotte est en acier de dimensions intérieures : longueur 3 m, largeur 2 m, hauteur 1,8 m.

Le moule le plus important mesure 2,8 m x 1,5 m x 1,5 m.

Le châssis est équipé de roulettes, les quatre faces sont couvertes par des bavettes transparentes en PVC.

Un dispositif d'aspiration est installé sur la partie supérieure de la hotte, relié par un conduit souple de diamètre 300 mm à un ventilateur centrifuge de 3 KW. Le débit d'aspiration est de 5 000 m<sup>3</sup>/h. Les fumées sont transportées vers l'extérieur par un rejet direct sur la paroi latérale du bâtiment.

### Mode opératoire

Les moules sont démontés des presses puis acheminés par l'intermédiaire d'un pont roulant dans la zone maintenance. La cabine est amenée en surplomb du moule.

La barre de chauffe est reliée électriquement à une armoire chauffante, pour une phase de chauffe de 30 min à une température de consigne de 250 à 280 °C.

La matière fluidifiée coule dans des bacs placés sous les buses ; de 2 à 2,5 kg de polypropylène sont ainsi évacués. Après refroidissement, l'opérateur déplace la cabine et peut intervenir pour les opérations de maintenance nécessaires.



**Conduit souple de raccordement de la cabine au ventilateur**

### Résultats

L'ensemble des polluants émis lors de la phase de nettoyage est confiné et repris par l'aspiration de la cabine. On ne constate plus la présence de fumées dans le secteur maintenance.

Le pilotage du nettoyage se réalise à partir de l'armoire chauffante et l'opérateur n'est plus présent dans la zone d'émission des fumées par les opérations de soufflage des buses. L'efficacité du nettoyage est totale : les résidus liquides sont évacués par gravité, les fumées issues de la dégradation thermique sont extraites par l'aspiration de la cabine.



**Ventilateur et rejet à l'extérieur**

À ce jour, aucune intervention ultérieure de nettoyage n'a été nécessaire à l'issue de ce procédé.

# Dossier technique 10

## Nettoyage des moules et outillages par cryogénie

### Le contexte

L'entreprise est spécialisée dans la conception, le développement, la fabrication et la commercialisation de pompes, valves et autres systèmes d'emballage et de distribution pour la pharmacie (pulvérisateurs...). Les pièces sont injectées en salle blanche car elles doivent présenter un niveau de propreté indispensable au marché de la pharmacie.

### Problématique

La propreté des moules d'injection est un des éléments essentiels dans le processus. Les opérations de maintenance des moules sont donc particulièrement poussées, que ce soit lors des phases de démontage et entretien dans les ateliers maintenance ou directement sur les presses à injecter pendant les phases de moulage de pièces (incidents process, etc.).

Auparavant, la société utilisait des solvants, dont des alcools, pour assurer le nettoyage des moules avec le double inconvénient :

- opérations longues exposant des salariés à de la pénibilité,
- difficulté d'éliminer toute trace de solvants de nettoyage avant la remise en production du moule, avec trois impacts négatifs :
  - dégagement de vapeurs de résidus de solvant lors de la mise en chauffe du moule,
  - qualité des pièces,
  - respect du cahier des charges des donneurs d'ordre ne souhaitant pas voir de solvants dans le process.

### Solution retenue

L'entreprise a mis en place le nettoyage des moules par cryogénie.

### Principe de fonctionnement

Le procédé consiste à projeter un jet de glace carbonique ou carboglace grâce à de l'air comprimé sur les surfaces à nettoyer. L'effet combiné de la sublimation de la glace carbonique au contact de la surface et de la pression du jet d'air comprimé éjecte les substances indésirables (produits générés pendant le process, le montage, le graissage, etc.) du moule.

### Alimentation en carboglace

La glace se présente sous forme de pains à charger dans le réservoir de la



Enceinte de transport et conservation

machine de cryogénie, qui peut en contenir jusqu'à douze pour assurer l'activité de la semaine.

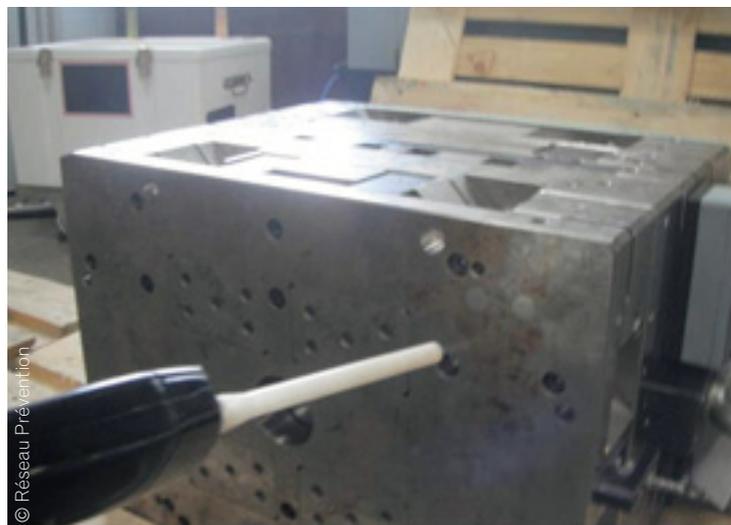
La fabrication de carboglace a été mutualisée avec un autre site, afin de réaliser une économie d'échelle. La



Machine de cryogénie



**Pains de carboglance**



**Pistolet en fonctionnement et moule**

livraison de la carboglance sur le site en enceinte isotherme est réalisée par les services classiques de transport rapide.

Les pains de carboglance sont « attaqués » les uns après les autres par un rotor venant ronger la glace et permettant d'obtenir de fines particules. Ce procédé est préféré à celui mettant en œuvre des machines directement alimentées en paillettes de carboglance qui, au moment du nettoyage du moule, sont moins efficaces et présentent l'inconvénient de générer des projections sur l'opérateur.

### Utilisation

L'opérateur utilise le pistolet de nettoyage à moins d'une dizaine de centimètres de la surface du moule à nettoyer.

Le moule ci-dessus, de dimensions frontales 400 x 400 mm, demande une intervention de 15 min pour obtenir un état de surface impeccable et ne nécessitant aucune opération supplémentaire avant d'être remis en production.

### Validation

Les retours, après deux ans d'expérience, sont très positifs :

- gain de temps,
- efficacité supérieure au nettoyage par solvant,
- suppression de l'éthanol qui générerait notamment des irritations cutanées chez les opérateurs malgré le port de gants adaptés.

### Inconvénient

- Le niveau sonore qui peut atteindre 115 dB en crête. Les opérateurs sont munis de protections auditives (bouchons moulés et casque anti-bruit). L'atelier de maintenance va être aménagé afin d'isoler phoniquement la zone de cryogénie et va constituer ainsi une protection collective pour les autres opérateurs. Lors du nettoyage in situ des moules sur presse, les EPI restent le seul moyen de protection auditive mais les opérations sont de courte durée, en grande majorité inférieures à 5 min.

- L'émission de CO<sub>2</sub> qui constitue un risque en milieu confiné.

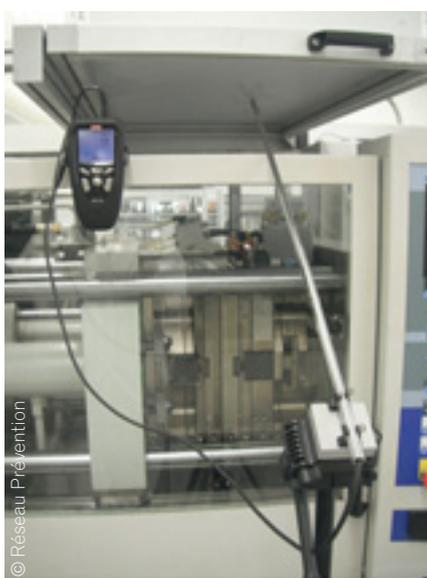
Les opérateurs sont également munis d'une visière de protection du visage car il existe un faible risque de projection.

# Dossier technique 11

## Nettoyage des moules et outillages par bain ultrasons

### Le contexte

La société concernée est spécialisée dans l'injection de pièces plastiques techniques pour les marchés de la pharmacie et de la cosmétique.



Vue d'un moule générique dans la presse à injecter

### Analyse de la situation

L'état de surface et la propreté des produits fabriqués sont les critères d'excellence et de qualité sur ces marchés. Dès la conception de l'usine, le choix a été fait de réaliser le nettoyage des moules par le procédé de bain à ultrasons et non par les fours à pyrolyse : les pièces injectées sont de petites tailles, la dimension des moules peut atteindre 400 mm verticalement.



Cuves de traitement des moules

### Solution retenue

Un local est dédié au nettoyage aux ultrasons.

Les cuves de traitement sont équipées d'un système d'aspiration par fentes sur toute leur périphérie.

#### Description des fonctions des cuves

- Cuve 1 – Module de nettoyage par ultrasons :
  - 300 litres d'eau et 75 litres de produit liquide à base soude,
  - température ambiante.
- Cuve 2 – Module de rinçage :
  - 300 litres d'eau,
  - température entre 40 et 60°C.
- Cuve 3 – Module de rinçage par immersion et insufflation d'air comprimé :
  - 300 litres d'eau,
  - température ambiante.
- Cuve 4 – Module de passivation :
  - 300 litres d'eau,
  - 1 à 2 kg de mélange passivant (poudre),
  - température entre 40 et 60°C.

## Aménagement du local

Le local est équipé d'une ventilation générale pour compenser les extractions des cuves par un apport d'air neuf et pour diluer la pollution résiduelle.

Un palan est également prévu pour la manutention des moules.



**Palan pour manutention des moules**

## Validation

La solution présente les avantages suivants :

- pas de traitement des fumées de pyrolyse,
- nettoyage plus efficace,
- durée de vie des moules plus importante,
- gain de temps.

Il faut cependant prévoir des équipements de protection individuelle pour traiter les risques résiduels résultants de l'utilisation de bains à ultrasons :

- casque antibruit pour la protection vis-à-vis des ultrasons,
- visière de protection du visage et des yeux vis-à-vis des éclaboussures de soude,
- gants de protection vis-à-vis du contenu des bains (soude et mélange de passivation).

Elle présente les limites suivantes :

- traitement des effluents des bains ;
- solution très bien adaptée pour des moules de taille moyenne mais pénalisante pour des moules plus importants.

# Dossier technique 12

## Ventilation générale d'un atelier d'extrusion - Soufflage

### Contexte

Un atelier de fabrication de pièces en polyamide et polypropylène pour l'automobile (tuyaux et blocs utilisés pour le système de refroidissement du moteur, pour le système de climatisation, etc.) comporte 16 machines verticales d'extrusion-soufflage. Les machines sont alimentées en granulés par des trémies, la matière première est ensuite extrudée et mise en forme dans les moules.

### Analyse du problème

L'extrusion-soufflage s'accompagne d'une émission de fumée bien visible (*figure ci-contre*). La taille des machines, et en particulier leur hauteur par rapport à celle de l'atelier, ne permet pas d'intégrer facilement un captage localisé. Pour évacuer les fumées et l'air chaud généré par le processus, l'entreprise a fait le choix d'une ventilation générale. Les dimensions de l'atelier sont longueur 49 m, largeur 36 m et hauteur moyenne 6 m.

### Solution retenue

Une ventilation générale avec deux modes de fonctionnement (hiver/été) a été adoptée.

### Extraction

L'extraction d'air est réalisée au moyen de tourelles placées en toiture. Le débit est de 12 000 m<sup>3</sup>/h par tourelle.



Émissions de fumée lors de l'injection



Machine d'extrusion soufflage

## Soufflage d'air neuf

Le soufflage est réalisé par l'intermédiaire de deux gaines perforées souples en polyester de 900 mm de diamètre implantées de chaque côté en partie haute de l'atelier.

La ventilation a deux modes de fonctionnement :

- Été
  - Extraction : 6 x 12 000 m<sup>3</sup>/h
  - Soufflage : 2 x 36 000 m<sup>3</sup>/h

En mode été, l'air soufflé est refroidi par une unité de rafraîchissement de 150 kW (frigo). La vitesse de soufflage en sortie des orifices de la gaine perforée est d'environ 3 m/s ce qui induit une vitesse résiduelle au niveau du poste de travail d'environ 0,4 m/s.

Le fonctionnement de la ventilation est à déplacement d'air en été. En effet, l'air neuf issu des gaines de soufflage est introduit dans l'atelier à une température inférieure à l'air ambiant. Par effet thermique, il s'étale au niveau du sol et ensuite, après échange avec le process exothermique, il est emporté par convection en partie haute du local emportant calories et polluants vers l'extraction.

- Hiver

- Extraction : 3 x 12 000 m<sup>3</sup>/h (trois tourelles d'extraction en fonctionnement)
- Soufflage : 2 x 18 000 m<sup>3</sup>/h

L'air soufflé est réchauffé en hiver par une unité de 400 kW.

En conditions hivernales, les écoule-



**Machine d'extrusion soufflage**

ments sont plutôt de type mélange et les polluants sont évacués par dilution. C'est pour améliorer l'efficacité de la ventilation en période hivernale que des gaines de soufflage à induction ont été choisies.

## Résultats - Validation

Des mesures d'exposition individuelle sont régulièrement réalisées pour le formaldéhyde et l'acrylonitrile, deux cancérogènes majeurs émis par le procédé. Les valeurs relevées sont nettement inférieures aux VLEP (8 heures). D'autre part, la qualité des ambiances (confort thermique et réduction des fumées) a été manifestement améliorée comme le confirment les opérateurs.



Pour commander les films (en prêt), 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

### CRAM 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@cram-alsace-moselle.fr  
www.cram-alsace-moselle.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.cram-alsace-moselle.fr

(68 Haut-Rhin)  
11 avenue De-Lattre-de-Tassigny  
BP 70488  
68018 Colmar cedex  
tél. 03 88 14 33 02  
fax 03 89 21 62 21  
www.cram-alsace-moselle.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)  
48-50 boulevard Lafayette  
63058 Clermont-Ferrand cedex 1  
tél. 04 73 42 70 76  
fax 04 73 42 70 15  
preven.carsat@orange.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. 08 21 10 21 21  
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)  
4 rue de la Reynie  
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  
tél. 0820 904 231 (0,118 €/min)  
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  
service.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. 0821 100 110  
fax 02 51 82 31 62  
prevention@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 Sud, 28 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.palmonat@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

### 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 - 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. Mise en œuvre manuelle des 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



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 • e-mail : info@inrs.fr

Édition INRS ED 6146

1<sup>re</sup> édition • juillet 2013 • 3 000 ex. • ISBN 978-2-7389-2089-8

