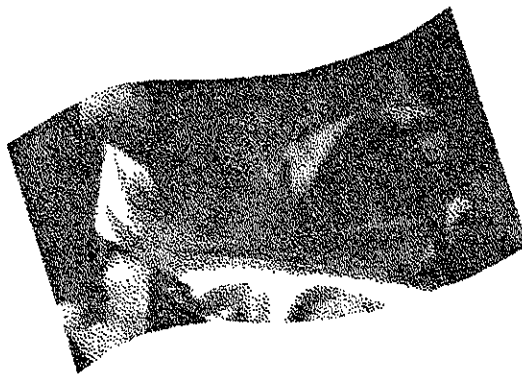


**Évaluation d'un dispositif  
de captage à la source  
pour la fabrication  
de petites pièces  
en plastique renforcé**



**ÉTUDES ET  
RECHERCHES**

Louis Lazure

Octobre 1999

R-229

**RAPPORT**



**IRSST**  
Institut de recherche  
en santé et en sécurité  
du travail du Québec

## La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentes dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

### ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal  
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications  
505, boul. de Maisonneuve Ouest  
Montréal (Québec)  
H3A 3C2  
Téléphone: (514) 288-1551  
Télécopieur: (514) 288-7636  
Site internet : [www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)  
© Institut de recherche en santé  
et en sécurité du travail du Québec,

**Évaluation d'un dispositif  
de captage à la source  
pour la fabrication  
de petites pièces  
en plastique renforcé**

Louis Lazure,  
Programme soutien analytique, IRSST

**ÉTUDES ET  
RECHERCHES**

**RAPPORT**

## TABLE DES MATIÈRES

|   |     |
|---|-----|
| Remerciements .....   | iii |
| 1.0 INTRODUCTION .....                                      | 1   |
| 2.0 MISE EN CONTEXTE .....                                  | 1   |
| 3.0 DESCRIPTION DU DISPOSITIF DE CAPTAGE .....              | 3   |
| 4.0 DESCRIPTION GÉNÉRALE DU PROCÉDÉ DE MOULAGE .....        | 6   |
| 5.0 DESCRIPTION DU PROCÉDÉ DE MOULAGE LORS DES ESSAIS ..... | 7   |
| 6.0 MESURE DE L'EXPOSITION .....                            | 7   |
| 7.0 RÉSULTATS ET DISCUSSION .....                           | 8   |
| 7.1 Moule A .....   | 8   |
| 7.2 Moule B .....   | 9   |
| 7.3 Impact de l'utilisation du plénum d'alimentation .....  | 11  |
| 8.0 CONCLUSION .....  | 12  |
| RÉFÉRENCES .....  | 13  |

## LISTE DES FIGURES

|   |   |
|---|---|
| Figure 1 : Dispositif de captage .....                | 3 |
| Figure 2 : Concept général .....                      | 5 |
| Figure 3 : Procédé de moulage au contact manuel ..... | 6 |

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Débits du dispositif de captage .....  | 3  |
| Tableau 2 : Influence de différents modes de ventilation sur les concentrations de styrène et d'acétone lors de la fabrication de pièces avec le moule A. .... | 9  |
| Tableau 3 : Influence de différents modes de ventilation sur les concentrations de styrène et d'acétone lors de la fabrication de pièces avec le moule B. .... | 10 |
| Tableau 4 : Valeurs d'exposition de courte durée .....   | 11 |
| Tableau 5 : Diminution de l'exposition lors des tests par traçage en fonction des conditions de ventilation .....  | 12 |

## ANNEXE

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : Test par traçage .....   | 16 |
| Figure 2 : Dynamique d'exposition au styrène et à l'acétone sans ventilation .....                          | 17 |
| Figure 4 : Dynamique d'exposition au styrène et à l'acétone en mode aspiration seulement ...                | 18 |
| Figure 3 : Dynamique d'exposition au styrène et à l'acétone en mode aspiration/alimentation .               | 18 |
| Figure 5 : Dynamique d'exposition au styrène et à l'acétone en fonction des conditions de ventilation ..... | 19 |
| Figure 6 : Évolution de la concentration de SF <sub>6</sub> en fonction de la ventilation .....             | 20 |

## **Remerciements**

La réussite de cette activité de recherche a été rendue possible grâce à l'implication et la participation de nombreuses personnes. Nous tenons à adresser nos remerciements à messieurs Jean-René Lepage et Pierre Houde de la compagnie Ultravia.

## **Équipe de recherche**

La contribution des personnes suivantes a permis d'assurer la réalisation du projet :

messieurs Yves Beudet, Claude Létourneau et Rodrigue Gravel de l'IRSST pour la préparation du matériel, les interventions en usine et la préparation du rapport;

monsieur Roch Savard du CLSC Lamater pour la campagne d'échantillonnage;

le personnel de laboratoire sous la direction de monsieur Daniel Drolet du programme hygiène et toxicologie de l'IRSST pour les analyses en laboratoire;

le personnel de la firme Beaulier inc. pour l'ingénierie du dispositif de captage.

## 1.0 INTRODUCTION

Les plastiques renforcés sont utilisés pour une grande variété de produits. Les utilisateurs de produits de moulage à base de styrène sont confrontés à des émissions importantes de ce produit chimique. Ce secteur d'activité économique est constitué majoritairement de petites entreprises disposant de ressources techniques et financières limitées pour mettre en oeuvre des moyens de contrôle. Des réserves sont entretenues par le milieu quant à la faisabilité d'atteindre les niveaux d'exposition recommandés par l'installation de systèmes de ventilation. Ces réserves originent bien souvent d'expériences non concluantes découlant de l'installation de dispositifs comportant des erreurs de conception importantes.

L'activité de recherche a été réalisée dans le cadre du programme d'intervention concerté de la CSST; fabrication d'objets en plastique renforcé. Elle a pour objectif de soutenir le milieu à la recherche de solutions pour contrôler l'exposition des travailleurs lors du moulage de petites pièces.

## 2.0 MISE EN CONTEXTE

Les plastiques renforcés sont utilisés pour la fabrication de plusieurs produits, notamment des pièces de véhicules, des embarcations, des réservoirs et des composantes architecturales. Le faible rapport coût/rendement qui caractérise la fabrication d'objets en polyester stratifié en fait un produit fini recherché particulièrement en raison de ses propriétés supérieures de résistance (mécanique, diélectrique et à la corrosion), de sa stabilité dimensionnelle, de sa rapidité de mise en production et de sa durabilité.<sup>(1)</sup>

Il existe plusieurs procédés de moulage. Les moulages au contact manuel et par projection constituent les principales méthodes de fabrication puisque les utilisateurs de ces techniques ont généré en 1994, approximativement 52 % du chiffre d'affaires lié à ce secteur d'activité et utilisé plus de 80 % de la résine consommée au Québec.<sup>(2)</sup>

Ces méthodes de fabrication comportent de nombreux avantages dont, la possibilité de fabriquer des pièces de grandes dimensions, une qualification minimale de la main d'oeuvre, de la flexibilité au niveau de la géométrie et des propriétés mécaniques des pièces fabriquées et des coûts de production compétitifs. Toutefois, les procédés utilisant des résines à base de styrène sont confrontés à des émissions appréciables de ce produit dans l'air ambiant. De fait, selon l'Environmental Protection Agency des États-Unis<sup>(3)</sup>, le pourcentage massique de styrène contenu dans la résine susceptible d'être libéré lors du moulage au contact est de 5 à 10 % alors qu'il est de 9 à 13 % lors du moulage par projection.

Au Québec, entre 3000 et 5000 travailleurs oeuvrent dans cette industrie en croissance constante qui se compose principalement d'entreprises de moins de 20 employés. L'analyse statistique des dosages

de styrène dans l'air effectués sur une période de cinq ans par l'IRSST révèle que, pour l'ensemble des principaux secteurs de fabrication concernés, entre 40 % et 78 % des résultats dépassent la norme de 50 ppm (8 heures) édictée par le Règlement sur la qualité du milieu de travail.<sup>(4)</sup>

La surexposition au styrène s'avère être une problématique répandue autant en Amérique du nord qu'en Europe.<sup>(5)</sup> À cet égard, dans certains pays, des valeurs d'exposition plus faibles ont été adoptées, notamment 20 ppm en Suède, Finlande, Allemagne et Luxembourg et 25 ppm au Danemark et en Norvège.<sup>(6)</sup> Aux États-Unis, l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) a fixé la valeur d'exposition à 20 ppm.<sup>(7)</sup>

L'exposition au styrène présente des risques à la santé qui incluent les irritations aux yeux, à la peau et aux voies respiratoires et des effets sur le système nerveux central. Une exposition au-delà de 50 ppm est susceptible d'entraîner l'apparition de symptômes pré-narcotiques, de la fatigue, de la difficulté à se concentrer, de l'irritabilité et une réaction émotionnelle diminuée.<sup>(1)</sup>

Dans la plupart des applications de moulage par contact manuel, la proximité du travailleur par rapport à la pièce mise en oeuvre implique une exposition à des concentrations élevées de styrène. Pour créer un écoulement d'air qui empêche les émanations d'atteindre la zone respiratoire et qui incidemment assure le contrôle du niveau d'exposition au styrène, il est généralement nécessaire d'avoir recours à la ventilation locale par captage à la source et, en complément, à un système de ventilation par dilution.<sup>(5,8,9,10,11)</sup> Comparé à la ventilation par dilution, le captage à la source requiert des débits d'air inférieurs ce qui représente l'avantage supplémentaire d'une réduction des frais énergétiques.<sup>(12,13,14)</sup>

Plusieurs entreprises de petite taille du secteur de la plasturgie disposent de ressources techniques et financières limitées pour l'implantation de moyens de contrôle efficaces et elles sont réticentes à investir pour l'installation d'un système de ventilation. Les réserves entretenues par le milieu quant à la faisabilité d'atteindre, à l'aide de la ventilation, les niveaux d'exposition recommandés proviennent dans bien des cas d'expériences non concluantes; selon notre expérience et nos observations, l'installation de dispositifs de ventilation comportant des erreurs de conception importantes sont de nature à accroître cette perception. Afin de supporter l'industrie du plastique renforcé dans la recherche de solutions concrètes pour le contrôle de l'exposition au styrène, on a conçu une table ventilée puis on l'a installée dans un atelier de fabrication d'objets en polyester stratifié. Son rendement a été évalué en terme de pourcentage de réduction de l'exposition au styrène et à l'acétone dans des conditions d'expérimentation contrôlées.

### 3.0 DESCRIPTION DU DISPOSITIF DE CAPTAGE

Le dispositif de captage (figure 1) a été conçu dans le but de capter les émissions de styrène et d'acétone lors des opérations de moulage manuel de pièces de petites dimensions. Il se compose de trois éléments; une table aspirante, une hotte latérale munie de fentes de captage et un diffuseur d'alimentation en air neuf. Les dimensions de la table de moulage sont de 1,2 m × 1,2 m. La surface de travail est constituée d'un caillebotis en acier sous lequel est placée une plaque d'acier perforée. Cette plaque a pour but de créer une dépression suffisamment élevée pour engendrer un débit surfacique uniforme de  $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ . La hotte latérale contribue à augmenter le captage des émissions de pièces ayant une hauteur d'environ 30 cm puisqu'à cette hauteur l'aspiration de la table est insuffisante pour entraîner les polluants vers le bas. Le débit d'extraction de cette hotte est de  $185 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ .

L'introduction verticale d'air neuf ( $1,16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ) par le diffuseur d'alimentation (figure 2) localisé au-dessus du mouleur a pour effet d'atténuer la diffusion de l'air pollué vers la zone respiratoire. L'ascension des polluants est provoquée, d'une part, par le régime aéraulique turbulent causé par le travailleur obstruant l'écoulement de l'air et, d'autre part, par l'effet de convection engendrée par la chaleur produite par la réaction exothermique du procédé et celle dégagée par le travailleur.<sup>(9,15,16,17,18)</sup> Des essais préliminaires réalisés à l'aide d'une source fumigène ont démontré que la surface de diffusion est optimale lorsqu'elle n'occupe que 50% de la surface disponible. De fait, lorsque l'air est soufflé à travers la totalité de la surface disponible, un écoulement d'air turbulent plus intense se forme dans le sillage du travailleur diminuant ainsi l'élimination des polluants. En période hivernale, l'air neuf est chauffé par une unité de chauffage avec brûleur en veine d'air (chauffage à feu direct).

De plus, une armoire de polymérisation (figure 2) localisée à proximité de la table de travail a été construite pour empêcher la dispersion du styrène dans le milieu de travail lorsque le laminage des pièces est complété. L'armoire est raccordée au système d'évacuation du dispositif de captage et est maintenue en légère dépression pour éviter la migration des polluants dans l'atelier.

Les mesures anémométriques ont été réalisées à l'aide d'un thermo-anémomètre de marque TSI (modèle 8357). La moyenne des vitesses de captage mesurées à une hauteur de 190 mm au-dessus de la table est de l'ordre 0,45 m/s. La vitesse moyenne au niveau des fentes de la hotte est de l'ordre de 4,25 m/s. Le rapport d'équilibrage effectué suite aux essais préliminaires indique les débits normalisés suivants :

Tableau 1 : Débits du dispositif de captage

| RAPPORT D'ÉQUILIBRAGE |            |         |              |            |
|-----------------------|------------|---------|--------------|------------|
|                       | ÉVACUATION |         | ALIMENTATION |            |
|                       | TABLE      | ARMOIRE | PLÉNUM       | DÉRIVATION |
| DÉBIT (L/s)           | 905        | 412     | 695          | 516        |
| TOTAL (L/s)           | 1317       |         | 1211         |            |

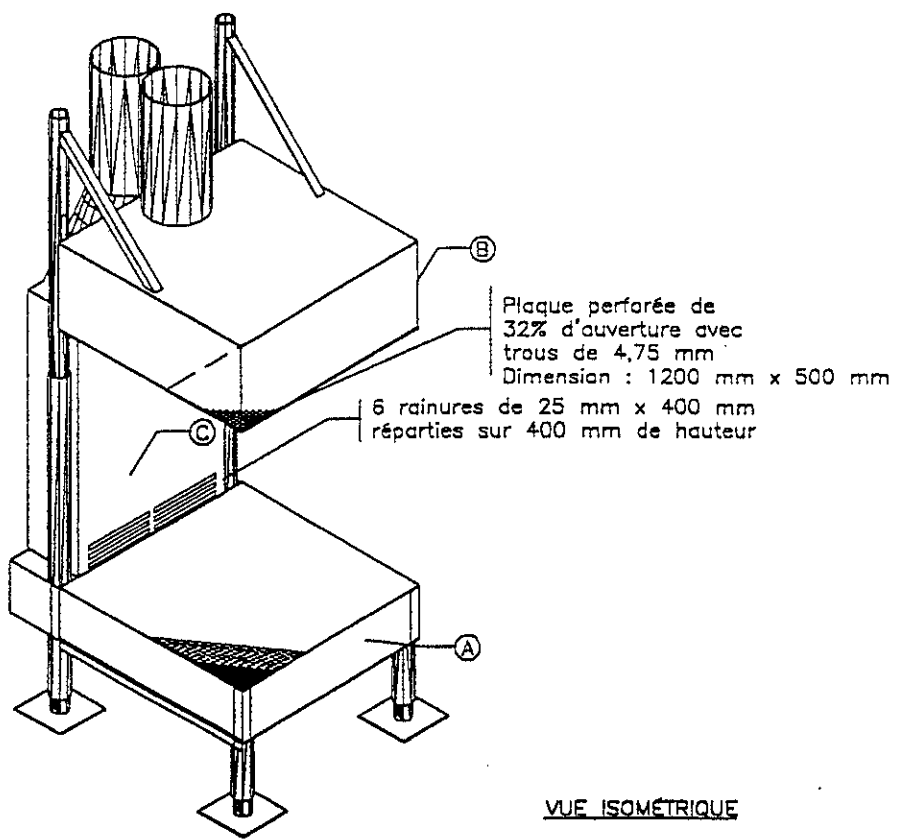
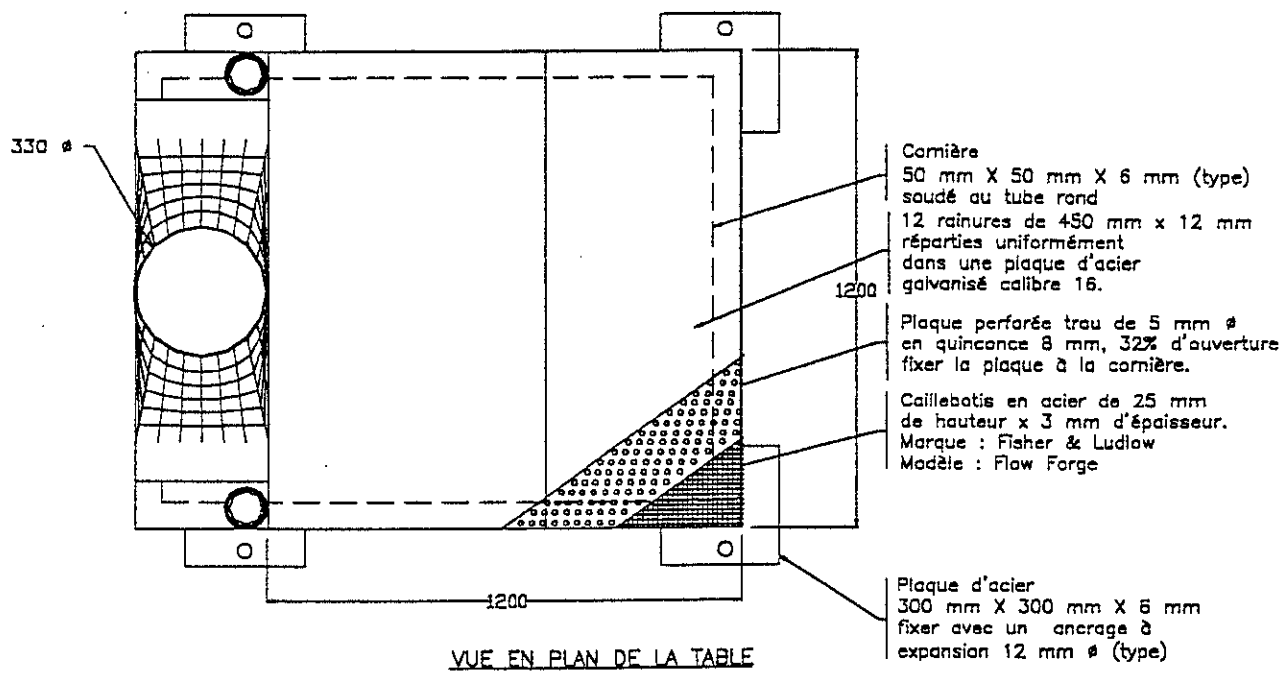
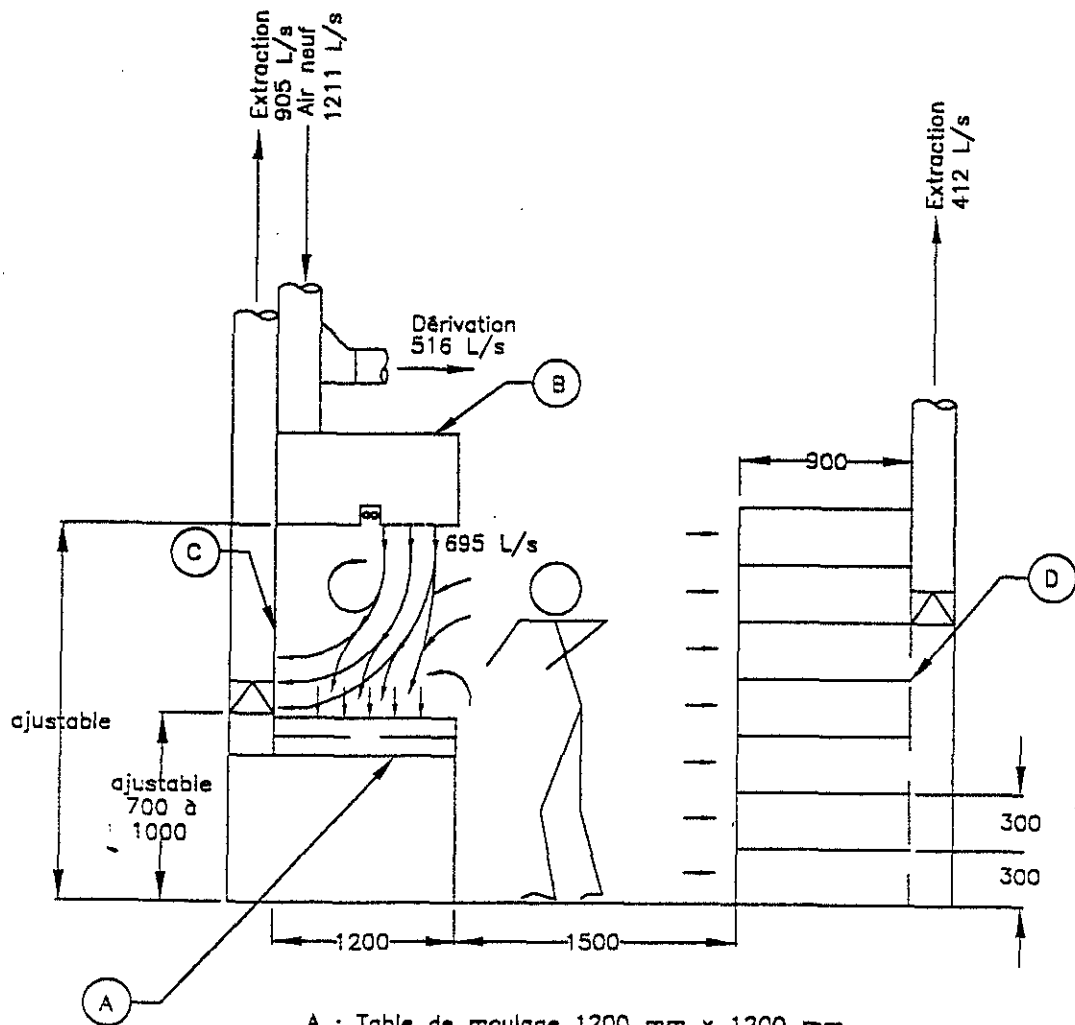


Figure 1 : Dispositif de captage

- A : Table de moulage 1200 mm x 1200 mm  
Hauteur ajustable - ventilée à débit ajustable
- B : Plafond d'air neuf avec éclairage - hauteur ajustable  
Air neuf chauffé à température minimale contrôlée - débit ajustable
- C : Hotte latérale, ventilée à débit ajustable



A : Table de moulage 1200 mm x 1200 mm  
Hauteur ajustable - ventilée à débit ajustable

B : Plafond d'air neuf avec  
éclairage - hauteur ajustable  
Air neuf chauffé à température  
minimale contrôlée - débit ajustable

C : Hotte latérale, ventilée à débit ajustable

D : Armoire de polymérisation ventilée

Figure 2 :

## CONCEPT GÉNÉRAL

#### 4.0 DESCRIPTION GÉNÉRALE DU PROCÉDÉ DE MOULAGE

De façon générale la mise en oeuvre manuelle d'objet en plastique renforcé implique l'accomplissement successif des étapes suivantes (figure 3) <sup>(1,8)</sup> :

- l'application d'un agent de démoulage sur la surface du moule;
- l'application d'un enduit gélifié (gel coat) à base de styrène ou autre solvant réactif;
- l'application manuelle de la résine à base de styrène ou autre solvant réactif sur un tissu de renforcement;
- l'ébullage de la pièce afin de favoriser l'imprégnation de la résine dans le renfort et assurer l'élimination des bulles d'air emprisonnées;
- le séchage et la polymérisation;
- le démoulage et les travaux de finition (ponçage, ébarbage et polissage).

Le styrène est le solvant réactif le plus fréquemment utilisé. La réaction de polymérisation est de type exothermique au cours de laquelle le styrène qui ne réagit pas est libéré dans l'air. L'émission du solvant dépend de nombreux paramètres, notamment, le contenu en styrène dans la résine, la nature de la résine, la nature du catalyseur, l'épaisseur de résine appliquée, les charges, les matériaux de renforcement, les conditions environnementales et la méthode d'application. <sup>(1,2,6,9,19,20,21)</sup>

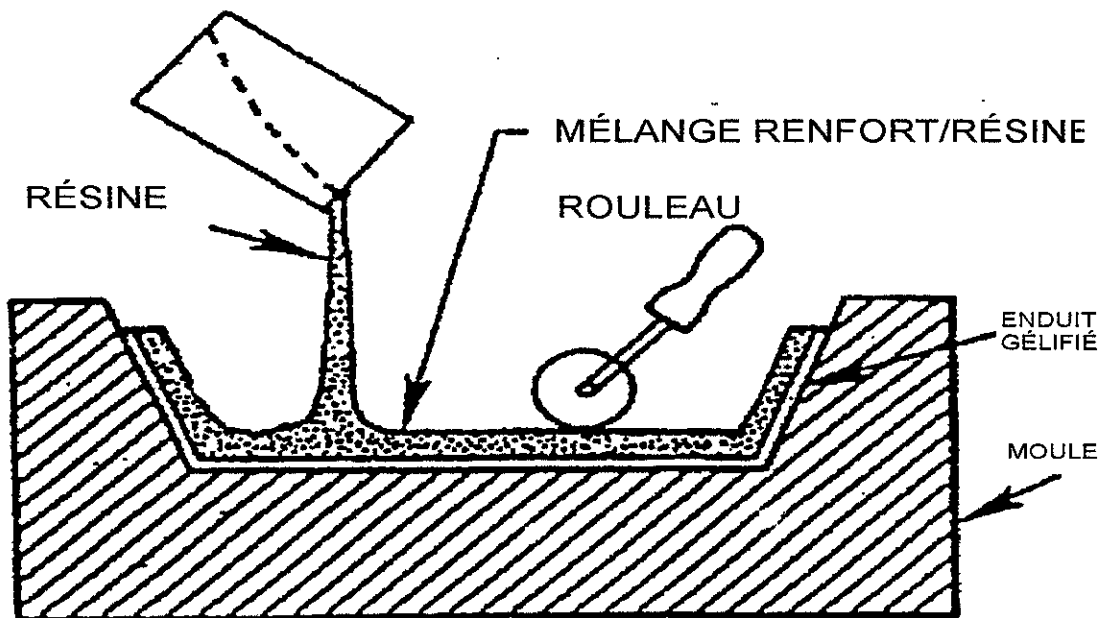


Figure 3 : Procédé de moulage au contact manuel

## 5.0 DESCRIPTION DU PROCÉDÉ DE MOULAGE LORS DES ESSAIS

L'évaluation de l'efficacité de captage du dispositif a été réalisée dans une usine fabriquant des avions de type ultra-léger dont la majorité des composantes sont en fibres de verre. Le rendement du dispositif de captage a été évalué en utilisant un procédé de moulage conventionnel de mise en oeuvre manuelle par contact. Deux moules de formats différents ont été employés. Les dimensions sont de 0,5 m × 0,46 m × 0,005 m pour le moule A et de 0,84 m × 0,69 m × 0,2 m pour le moule B.

Dans chacun des moules précités, des pièces de tissu de renfort ont été déposées, imprégnées de résine et ébullées à l'aide d'un rouleau. La résine utilisée lors des essais était une résine polyester (Progress LR15135) dont le contenu en styrène était de l'ordre d'environ 39 % à laquelle un catalyseur a été ajouté (MEK Peroxide Hi Point 90). Le tissu de renforcement utilisé était de type mat ayant une densité surfacique de 450 gr/m<sup>2</sup>. Les pièces de tissu avaient une superficie approximative de 0,165 m<sup>2</sup> (0,41m × 0,41m) pour le moule A et de 0,81 m<sup>2</sup> (0,76 × 1,01 m) pour le moule B. Le rapport d'imprégnation (rapport massique: résine / renforcement) était approximativement de 1,86.

Des essais préliminaires ont été réalisés pour établir le nombre de couches devant être superposées pour obtenir, en zone respiratoire, une concentration moyenne en styrène supérieure à 50 ppm. Ces essais effectués sans ventilation ont permis de déterminer que pour les moules A et B le nombre de couches s'élevait respectivement à 6 et à 4. Quant à la durée de moulage approximative de chacune des couches, elle était de 4 minutes pour le moule A et de 8 minutes pour le moule B.

## 6.0 MESURE DE L'EXPOSITION

Un analyseur multigaz calibré (Brüel & Kjaer, modèle 1302) a été utilisé pour le prélèvement en continu et la détermination par spectroscopie photoacoustique des concentrations de styrène et d'acétone. La sonde de prélèvement était située dans la zone respiratoire du travailleur. L'étalonnage de l'appareil a été réalisé à partir d'un mélange de styrène liquide (4,2 µl) évaporé dans un volume d'air (18 litres) et d'un mélange d'acétone (2,7 µl) également évaporé dans un volume d'air <sup>(22)</sup>. Les corrections pour interférences croisées pouvant être engendrées par les autres produits utilisés lors de la fabrication ont été appliquées. Les échantillons étaient prélevés approximativement à toutes les 70 secondes. Pour les pièces fabriquées avec le moule A, le nombre de prélèvements effectués pour le styrène et l'acétone a varié de 12 à 29 selon la pièce, alors que pour le moule B ce nombre a varié de 25 à 36. Les niveaux d'exposition de courtes durées (15 minutes) ont été évalués conformément à la méthode prescrite par le guide d'échantillonnage de l'IRSST <sup>(23)</sup>.

Les essais ont été réalisés alors que le travailleur était placé perpendiculairement à la hotte d'aspiration. Le rendement de la table a été évalué en mode aspiration/alimentation et en mode aspiration seulement. Les autres dispositifs de ventilation de l'atelier n'étaient pas en opération lors des essais.

Par ailleurs, une évaluation à l'aide d'un gaz traceur a été effectuée pour déterminer si l'introduction d'air neuf par le diffuseur d'alimentation est susceptible de protéger le travailleur relativement à des sources d'émission qui pourraient être situées à proximité de la table. Considérant qu'en mode

aspiration seule l'air évacué par le dispositif provient principalement du voisinage de la table, il est possible, que dans un environnement contaminé, une partie de cet air se déplace vers la zone respiratoire, exposant le travailleur aux polluants présents et diminuant ainsi l'efficacité de la table.<sup>(10)</sup>

Dans le but de simuler la contamination du milieu ambiant, un gaz traceur ( $\text{SF}_6$  à 100%) a été injecté à une distance de 4,3 m du dispositif de captage (figure 1, annexe). Le traceur a été injecté à une hauteur de 1,4 m par un tube perforé à un débit de 0,84 Lpm.

Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'échantillonneurs automatisés à trois endroits ( $E_1, E_2, E_3$ ) au-dessus de la table. Les capteurs étaient situés à une hauteur de 1,4 m du sol. Les concentrations ont été déterminées par un analyseur multigaz (Brüel & Kjaer, modèle 1302) calibré à l'aide d'un gaz de référence. Deux (2) séries de prélèvements ont été effectuées, chacune d'une durée de 50 minutes, la première avec le dispositif en mode aspiration seulement, la deuxième en mode aspiration/alimentation.

## 7.0 RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 7.1 Moule A

Les concentrations de styrène et d'acétone mesurées en zone respiratoire du travailleur opérant sans ventilation sont présentées aux graphiques de la figure 2 de l'annexe. Les concentrations moyennes de styrène et d'acétone sont rapportées au tableau 2. On note qu'en l'absence de ventilation, lors du laminage de sept (7) des huit (8) pièces produites, les concentrations moyennes de styrène sont supérieures à la norme d'exposition de 50 ppm (8 heures).

La concentration moyenne pour l'ensemble des pièces laminées se situe à 77 ppm pour le styrène et à 34 ppm pour l'acétone. La moyenne des concentrations maximales est de 150 ppm pour le styrène et de 89 ppm pour l'acétone.

Les courbes d'exposition au styrène et à l'acétone obtenues avec ventilation sont représentées aux graphiques des figures 3 et 4 de l'annexe. Les concentrations moyennes calculées sont rapportées au tableau 2. La concentration moyenne pour l'ensemble des pièces laminées en mode alimentation/aspiration se situe à 4 ppm pour le styrène et à 8 ppm pour l'acétone. La moyenne des concentrations maximales est de 5 ppm pour le styrène et de 29 ppm pour l'acétone. En pourcentage, la réduction des concentrations moyennes est de l'ordre de 95 % pour le styrène et de 76 % pour l'acétone alors que les diminutions des concentrations moyennes maximales sont respectivement de 97 % pour le styrène et de 67 % pour l'acétone.

En mode aspiration seulement, la concentration moyenne se situe à 7 ppm pour le styrène et à 10 ppm pour l'acétone. La moyenne des concentrations maximales est de 13 ppm pour le styrène et de 48 ppm pour l'acétone. Les pourcentages de réduction par rapport aux conditions d'exposition sans ventilation sont pour les concentrations moyennes, de 91 % pour le styrène et de 71 % pour l'acétone. Quant aux concentrations maximales, les réductions sont de 91 % et 46 %.

En comparant les données obtenues en modes aspiration/alimentation et aspiration seule, on observe que l'introduction d'air neuf par le plénum a contribué à réduire la concentration moyenne du styrène de 43 % et celle de l'acétone de 20 %. Dans le cas des concentrations maximales, on note que la réduction de la moyenne des valeurs maximales est de 80 % pour le styrène et de 40 % pour l'acétone.

Tableau 2 : Influence de différents modes de ventilation sur les concentrations de styrène et d'acétone lors de la fabrication de pièces avec le moule A.

| PIÈCES             | SANS VENTILATION                           |                | ASPIRATION ET ALIMENTATION                 |                | ASPIRATION SEULEMENT                       |                |
|--------------------|--|----------------|--|----------------|--|----------------|
|                    | CONCENTRATIONS MOYENNES (ppm) <sup>1</sup> |                | CONCENTRATIONS MOYENNES (ppm) <sup>1</sup> |                | CONCENTRATIONS MOYENNES (ppm) <sup>1</sup> |                |
|                    | STYRÈNE                                    | ACÉTONE        | STYRÈNE                                    | ACÉTONE        | STYRÈNE                                    | ACÉTONE        |
| 1                  | 59 (180) <sup>2</sup>                      | 20 (98)        | 5 (6)                                      | 9 (18)         | 9 (27)                                     | 15 (116)       |
| 2                  | 76 (95)                                    | 60 (147)       | 3 (4)                                      | 7 (11)         | 7 (10)                                     | 9 (44)         |
| 3                  | 102 (262)                                  | 23 (54)        | 3 (4)                                      | 6 (7)          | 6 (7)                                      | 7 (18)         |
| 4                  | 47 (97)                                    | 21 (48)        | 3 (4)                                      | 11 (78)        | 6 (6)                                      | 7 (14)         |
| 5                  | 82 (126)                                   | 25 (31)        | ----                                       | ----           | ----                                       | ----           |
| 6                  | 86 (146)                                   | 27 (35)        | ----                                       | ----           | ----                                       | ----           |
| 7                  | 75 (144)                                   | 64 (256)       | ----                                       | ----           | ----                                       | ----           |
| 8                  | 88 (152)                                   | 34 (40)        | ----                                       | ----           | ----                                       | ----           |
| <b>MOYENNE</b>     | <b>77 (150)</b>                            | <b>34 (89)</b> | <b>4 (5)</b>                               | <b>8 (29)</b>  | <b>7 (12)</b>                              | <b>10 (48)</b> |
| <b>RÉDUCTION %</b> |  |                | <b>95 (97)</b>                             | <b>76 (67)</b> | <b>91 (91)</b>                             | <b>71 (46)</b> |

<sup>1</sup> Valeurs calculées à partir de 12 à 29 mesures effectuées sur chacune des pièces pour chacun des contaminants.

<sup>2</sup> La valeur entre parenthèses représente la valeur maximale obtenue pour chacune des pièces.

## 7.2 Moule B

Les concentrations de styrène et d'acétone sont représentées aux graphiques de la figure 5 de l'annexe. Les concentrations moyennes de styrène et d'acétone mesurées dans la zone respiratoire du travailleur opérant sans dispositif de ventilation sont indiquées au tableau 3. On note qu'en l'absence de ventilation, les concentrations moyennes de styrène observées lors du laminage de chaque pièce sont supérieures à la norme d'exposition de 50 ppm (8 heures).

La concentration moyenne pour l'ensemble des pièces laminées se situait à 126 ppm pour le styrène

et à 29 ppm pour l'acétone alors que les moyennes des valeurs crêtes sont de 542 ppm pour le styrène et de 200 ppm pour l'acétone.

Les courbes d'exposition au styrène et à l'acétone obtenues avec ventilation sont représentées aux graphiques de la figure 5 de l'annexe. Le fonctionnement du dispositif de ventilation en mode aspiration/alimentation a permis de réduire les concentrations moyennes de styrène à 5 ppm et celles d'acétone à 9 ppm. Quant aux valeurs de crête, on observe des moyennes de 15 ppm et de 70 ppm. Ces résultats représentent des réductions de concentrations moyennes de l'ordre de 96 % et 69 % pour le styrène et l'acétone respectivement.

En mode aspiration seule, la concentration moyenne se situait à 7 ppm pour le styrène et à 18 ppm pour l'acétone ce qui représente des réductions de concentrations de 94 % et 38 % comparativement aux valeurs obtenues sans ventilation. On note de plus, une réduction de la moyenne des valeurs maximales de 96 % et de 47 %.

Par ailleurs, l'analyse des concentrations moyennes obtenues en modes aspiration/alimentation et aspiration seule démontre que l'introduction d'air neuf a contribué à réduire la concentration moyenne du styrène de 29 % et celle de l'acétone de 50 %. Dans le cas des concentrations maximales, on note que la réduction de la moyenne des valeurs maximales est de 35 % pour le styrène et également de 35 % pour l'acétone.

Tableau 3 : Influence de différents modes de ventilation sur les concentrations de styrène et d'acétone lors de la fabrication de pièces avec le moule B.

| PIÈCES             | SANS VENTILATION                           |                 | ASPIRATION ET ALIMENTATION                 |                | ASPIRATION SEULEMENT                       |                 |
|--------------------|--|-----------------|--|----------------|--|-----------------|
|                    | CONCENTRATIONS MOYENNES (ppm) <sup>1</sup> |                 | CONCENTRATIONS MOYENNES (ppm) <sup>1</sup> |                | CONCENTRATIONS MOYENNES (ppm) <sup>1</sup> |                 |
|                    | STYRÈNE                                    | ACÉTONE         | STYRÈNE                                    | ACÉTONE        | STYRÈNE                                    | ACÉTONE         |
| 1                  | 106 (433) <sup>2</sup>                     | 24 (282)        | 6 (14)                                     | 10 (82)        | 7 (23)                                     | 18 (107)        |
| 2                  | 146 (651)                                  | 34 (118)        | 4 (15)                                     | 8 (59)         | ----                                       | ----            |
| <b>MOYENNE</b>     | <b>126 (542)</b>                           | <b>29 (200)</b> | <b>5 (15)</b>                              | <b>9 (70)</b>  | <b>7 (23)</b>                              | <b>18 (107)</b> |
| <b>RÉDUCTION %</b> |  |                 | <b>96 (97)</b>                             | <b>69 (65)</b> | <b>94 (96)</b>                             | <b>38 (47)</b>  |

<sup>1</sup> : Valeurs calculées à partir de 25 à 36 mesures effectuées sur chacune des pièces pour chacune des contaminants.

<sup>2</sup> : La valeur entre parenthèses représente la valeur maximale obtenue pour chacune des pièces.

On remarque de plus, pour les moules A et B que de façon générale les diminutions des concentrations d'acétone sont plus basses que celles observées pour le styrène. Les conditions d'utilisation semblent expliquer ce résultat. De fait, l'acétone étant utilisée pour le nettoyage des

pièces, beaucoup de manipulations sont effectuées par le travailleur à l'extérieur du plan de travail ventilé. À cet endroit, la table aspirante n'a plus d'influence sur le captage des vapeurs du contaminant.

Dans l'ensemble, les résultats démontrent que le dispositif de ventilation étudié a permis de réduire de façon appréciable les concentrations moyennes et les valeurs maximales de styrène et d'acétone. L'utilisation du diffuseur d'alimentation contribue à augmenter l'efficacité de captage du dispositif. Les résultats obtenus confirment les données d'études traitant de l'influence du sillage<sup>(10,24,25,26)</sup> sur le degré d'exposition d'un travailleur; ces études démontrent que l'introduction verticale d'air neuf réduit la concentration des polluants dans la zone respiratoire.

Les résultats de l'évaluation des valeurs d'exposition de courte durée mesurées sur quinze (15) minutes selon la méthode IRSST<sup>(23)</sup> sont présentés au tableau 4. Les mesures démontrent qu'en absence de ventilation, la norme de 100 ppm pour une telle période d'exposition a été atteinte dans 60 % (3 sur 5) des échantillons. Pour les autres échantillons, les concentrations atteignaient plus de 93 % de la norme. Lorsque le dispositif aspiration/alimentation était en opération, les concentrations étaient inférieures à 4 % de la norme.

Tableau 4 : Valeurs d'exposition de courte durée

| TABLEAU COMPARATIF                             |                  |                           |
|--|------------------|---------------------------|
| CONCENTRATIONS DE STYRÈNE SUR 15 MINUTES (ppm) |                  |                           |
| SÉQUENCE                                       | SANS VENTILATION | ASPIRATION / ALIMENTATION |
| 1  | 124              |                           |
| 2  | 96               |                           |
| 3  | 93               |                           |
| 4  | 122              |                           |
| 5  | 216              |                           |
| 6  |                  | 4                         |
| 7  |                  | 4                         |
| 8  |                  | < 27 µg                   |
| 9  |                  | < 27 µg                   |
| 10   |                  | 4                         |

### 7.3 Impact de l'utilisation du plénum d'alimentation

Les résultats précédents indiquent des efficacités élevées de captage avec et sans la mise en opération du plénum d'alimentation en air neuf. On note dans les deux séries de tests une légère augmentation de l'efficacité de captage lorsque le dispositif d'alimentation en air neuf est en opération. Les essais

ont été réalisés dans un atelier dans lequel il n'y avait aucune autre source de contamination en styrène. Cette condition expérimentale ne permet pas d'évaluer si la présence du plénum d'air neuf accroît le niveau de protection du travailleur en milieu contaminé. En mode aspiration seulement, tout l'air aspiré provient du voisinage de la table et si cet air est contaminé le travailleur est donc exposé à la concentration ambiante.

La figure 6 de l'annexe présente la variation temporelle des concentrations aux différents points d'échantillonnage en mode aspiration pour les 50 premières minutes et en mode aspiration/alimentation pour les 50 minutes subséquentes. L'analyse des résultats (tableau 5) indique des diminutions de l'exposition moyenne de l'ordre de 20 % pour E<sub>1</sub>, 50 % pour E<sub>2</sub> et 22 % pour E<sub>3</sub>. Les résultats semblent démontrer que l'écoulement d'air provenant du plénum favoriserait l'induction d'air contaminé situé au périmètre de la table aspirante et ne contribuerait que partiellement à la formation d'une cellule d'air non contaminé. Comparativement aux données obtenues en mode aspiration/alimentation, on observe une plus grande uniformité des concentrations moyennes entre les points d'échantillonnage. La variabilité du niveau de dilution en mode aspiration/alimentation peut être attribuée aux turbulences générées par l'écoulement d'air du diffuseur.

Tableau 5 : Diminution de l'exposition lors des tests par traçage en fonction des conditions de ventilation

| TABLEAU COMPARATIF |                               |                               |            |
|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|
| ÉCHANTILLONNEURS   | ASPIRATION                    | ASPIRATION ET ALIMENTATION    | DIFFÉRENCE |
|                    | CONCENTRATIONS MOYENNES (PPM) | CONCENTRATIONS MOYENNES (PPM) | %          |
| E <sub>1</sub>     | 6                             | 5                             | 20         |
| E <sub>2</sub>     | 6                             | 3                             | 50         |
| E <sub>3</sub>     | 6                             | 5                             | 22         |

## 8.0 CONCLUSION

L'évaluation du dispositif dans un atelier de fabrication d'objets en polyester stratifié a permis de démontrer la capacité de la table ventilée à réduire de façon appréciable les concentrations de styrène et d'acétone lors du moulage de pièces de deux grandeurs.

L'introduction verticale d'air neuf améliore le rendement du dispositif et contribue partiellement à limiter l'exposition du travailleur aux polluants provenant du voisinage de la table.

## RÉFÉRENCES

- 1.0 CSST: Programme d'intervention visant à assainir les milieux fabriquant des objets en plastique renforcé - manuel de formation. Janvier, (1996).
- 2.0 Lazure L.: Le contrôle des émissions de styrène dans les industries de matériaux composites. Actes du 19e congrès de l'Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail (AQHSST). Jonquière, mai, (1997).
- 3.0 The Composites Institute of the Society of Plastic Industries: Styrene Emission Profile - Information Sheet. New-York, N-Y, (1992).
- 4.0 Gouvernement du Québec: Règlement sur la qualité du milieu de travail, S-2.1, r.15. Québec, (1996).
- 5.0 Andersson I.: Controlling the Occupational Exposure of Hand-Lay Up Workers to Styrene by the Choice of Ventilation, Polyester and Work Practices. Arbetslivsinstitutet, Solna, Suède, p. 3, (1995).
- 6.0 GPRMC et CEFIC: Résines polyesters insaturés. guide d'utilisation. Groupement Européen des Plastiques Renforcés/Matériaux Composites et le Groupe sectoriel des polyesters insaturés du Conseil européen de l'industrie chimique. GPRMC, Bruxelles, Belgique, p. 4, (1993).
- 7.0 ACGIH: 1999 TLVs and BEIs. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents, Biological Exposure Indices. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH, p. 63, (1999).
- 8.0 INRS: Guide pratique de ventilation no 3 - mise en oeuvre manuelle des polyesters stratifiés. ED 665, Institut national de recherche en sécurité, Paris, France, (1994).
- 9.0 Niemelä R. et autres: Dilution Ventilation to Control Styrene Exposure in the Reinforced Plastics Industry. Proceedings of the Ventilation 91 - 3<sup>rd</sup> International Symposium on Ventilation for Contaminant Control, Hughes R.T., Goodfellow, H.D. et Rajhans G.S., Editors, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH, pp. 241-244, (1993).
- 10.0 Andersson I-M.: Evaluation of a Local Ventilation Unit for Controlling Styrene Exposure. Proceedings of the Ventilation 91 - 3<sup>rd</sup> International Symposium on Ventilation for Contaminant Control, Hughes R.T., Goodfellow, H.D. et Rajhans G.S., Editors, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH, pp. 241-244, (1993).
- 11.0 Flynn, M.R., Shelton, W.K.: Factors Affecting the Design of a Local Exhaust Ventilation for the Control of Contaminants from Hand-Held Sources. Appl. Occup. Env. Hyg. 5:707-714 (1990).

- 12.0 ACGIH: Industrial Ventilation. A Manual of Recommended Practice. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 23<sup>rd</sup> Ed. ACGIH, Cincinnati, OH, (1998).
- 13.0 Burgess W. A., Ellenbecker M.J., et Treitman R.D.: Ventilation for Control of the Work Environment. John Wiley & Sons, New-York, N-Y, 476 p., (1989).
- 14.0 Bahner, M. et autres: An assesment of Styrene Emission Control Technologies for the FRP and Boat Building Industries. Research Triangle Institute, Research Triangle Park, NC, 14 p., (1996).
- 15.0 Andersson I.-M. et autres: Contaminant Dispersion Near a Worker in a Uniform Velocity Field. Proceedings of the Ventilation 97 - 5<sup>th</sup> International Symposium on Ventilation for Contaminant Control, Goodfellow, H.D. et Tähti, E., Editors, (1997).
- 16.0 Johnson A.E., Fletcher B. and Saunders C.J.: Air Movement Around a Worker in a Low-Speed Flow Field. Ann. Occup. Hyg., 40:57-64 (1996).
- 17.0 Säämänen A. J., Kulmala K., et Enbom S.A.: Control of Exposure Caused by a Contaminant Source in the Near Wake Region. Appl Occup. Environ. Hyg. 13:-725 (1998).
- 18.0 Kim T. et Flynn M.: Airflow Pattern Around a Worker in a Uniform Freestream. Am. Ind. Assoc. J. 52:287-296 (1991).
- 19.0 Kalliokoski P., Koistinen T., et Jääskeläine M.: Prevention of Styren Hazards - Hygienic Approaches . Industrial Hazards of Plastics and Synthetic Elastomers, Alan R. Liss Inc., (1984).
- 20.0 Milleville B.A. et Gregory J. S.: Peroxide Initiator Effect on Stryrene Emission. 48th Annual Conference, Composites Institutes, The Society of Plastics Industry Inc., February (1993).
- 21.0 Lacovara R. et al: Phase 1 - Baseline Study, Hand Lay-Up, Gel Coating, Spray - Up Including Optimization Study. Composites Fabricators Association, McClean, VA, September, (1996).
- 22.0 Brüel & Kjaer: Instructions Vol. 1, Fonctionnement et maintenance du moniteur multigaz type 1302. Danemark.
- 23.0 IRSST. Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail. Publication T-06, septembre, (1994).
- 24.0 Säämänen, A.: Local Supply and Exhaust Air - Effect of Different Combinations on Worker's Exposure. Proceedings of the Ventilation 97 - 5<sup>th</sup> International Symposium on Ventilation for Contaminant Control, Goodfellow, H.D. et Tähti, E., Editors, (1997).
- 25.0 Kulmala, I. et autres: The Effect of Contaminant Source Location on Worker Exposure in the Near-Wake Region. Ann. Occ. Hyg. 40:511-523 (1996).

- 26.0 Flynn, M.R. et Ljungqvist, B.: A Review of Wake Effects on Worker Exposure. Ann. Occup. Hyg. 39:211-221 (1995).

Annexe

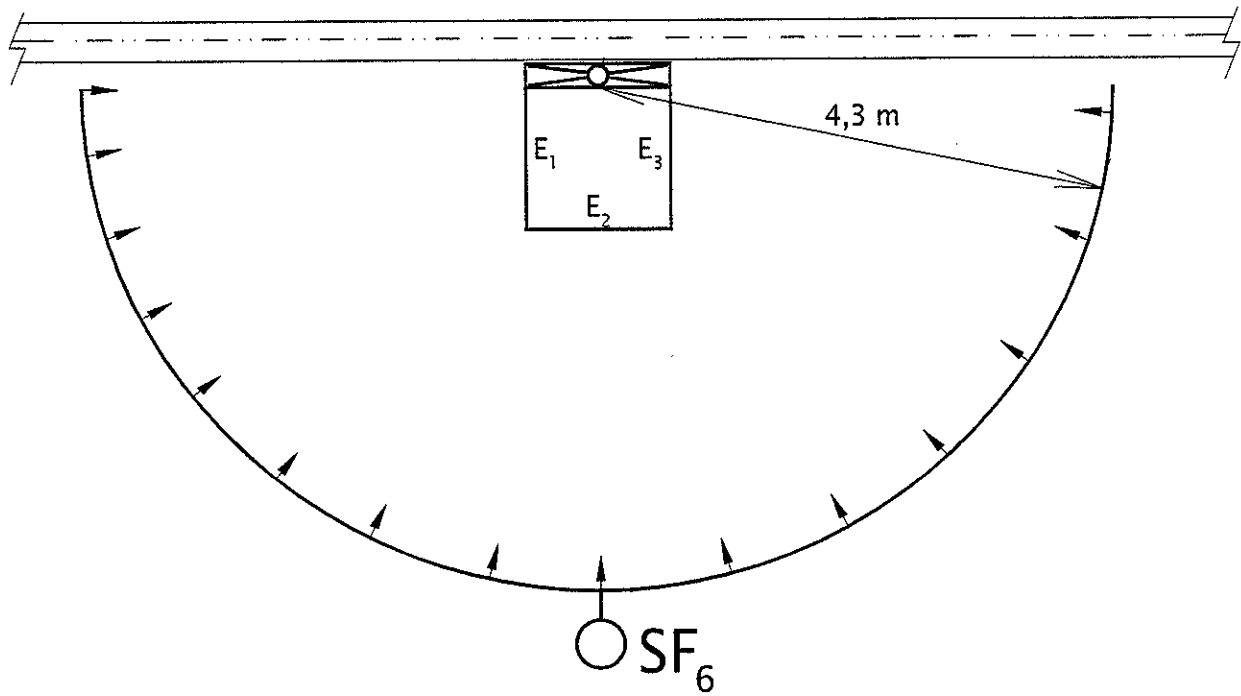


Figure 1 : Test par traçage

**MOULAGE DE PETITES PIÈCES**  
Sans ventilation

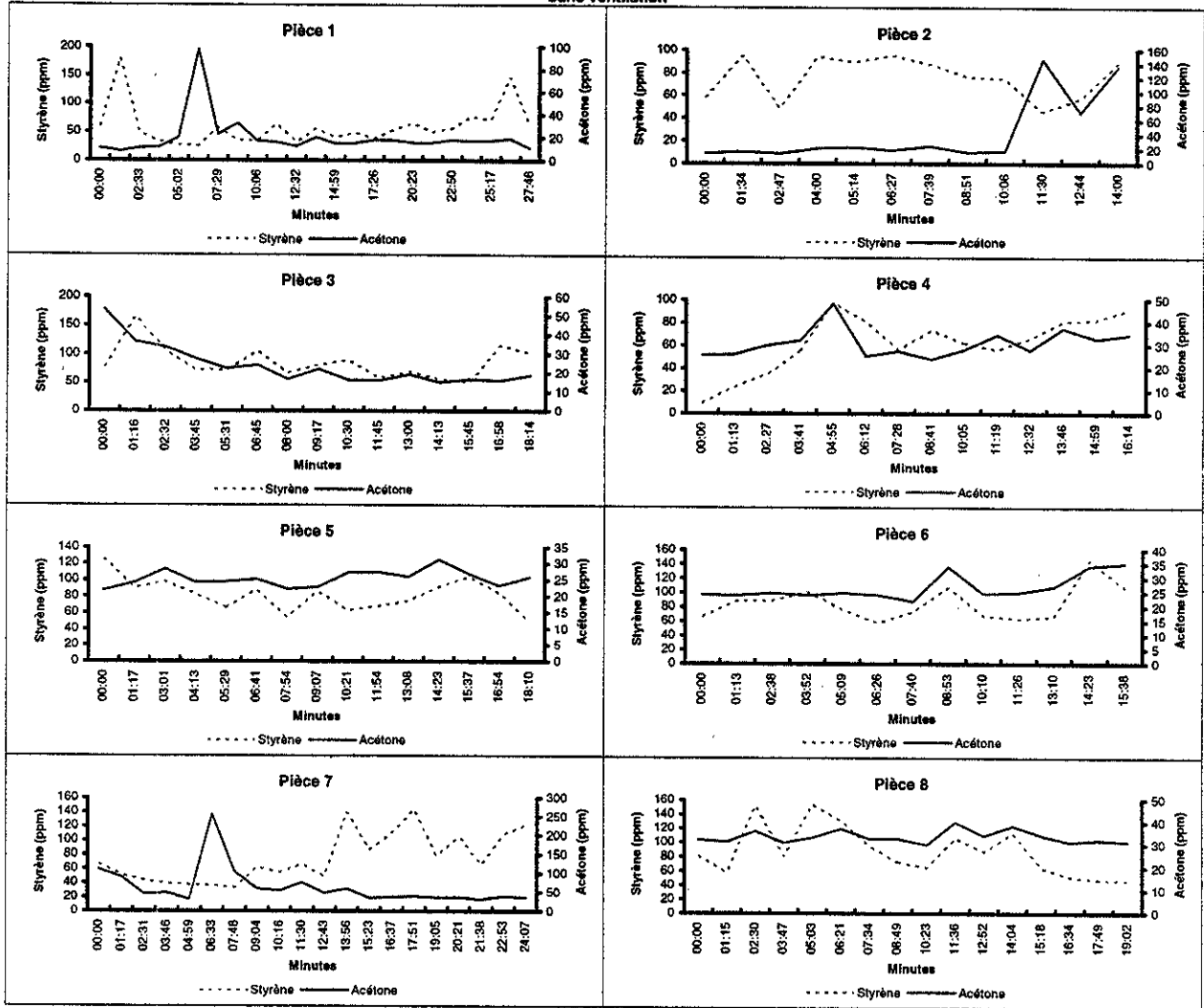


Figure 2 : Dynamique d'exposition au styrène et à l'acétone sans ventilation

**MOULAGE DE PETITES PIÈCES**  
Aspiration / Alimentation

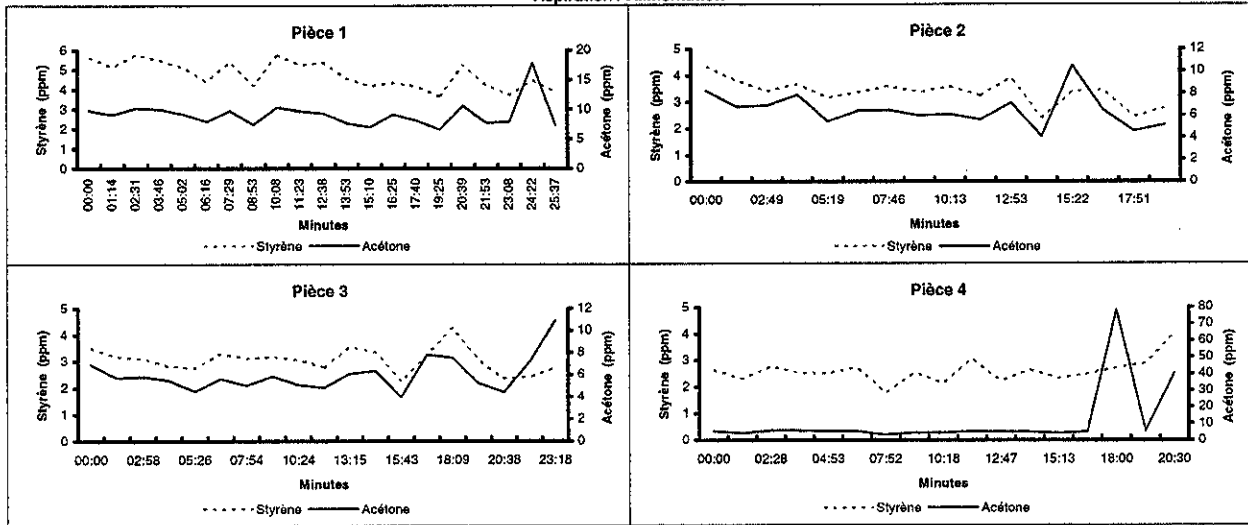


Figure 3 : Dynamique d'exposition au styrène et à l'acétone en mode aspiration/alimentation

**MOULAGE DE PETITES PIÈCES**  
Aspiration seulement

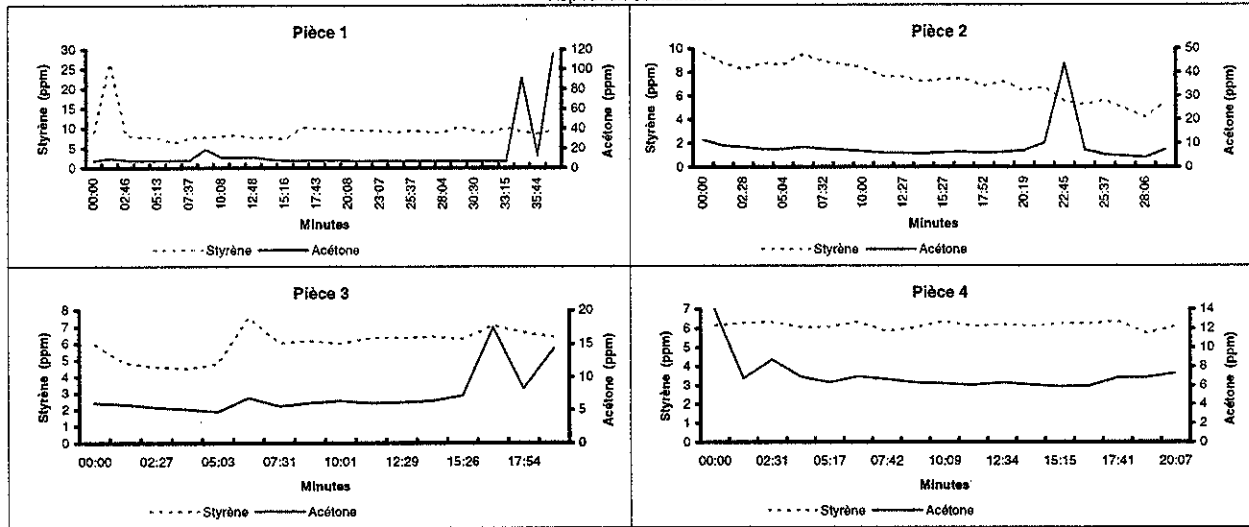
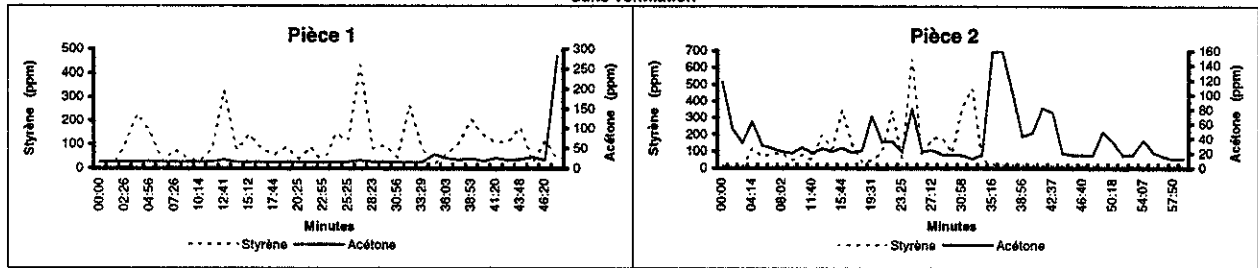


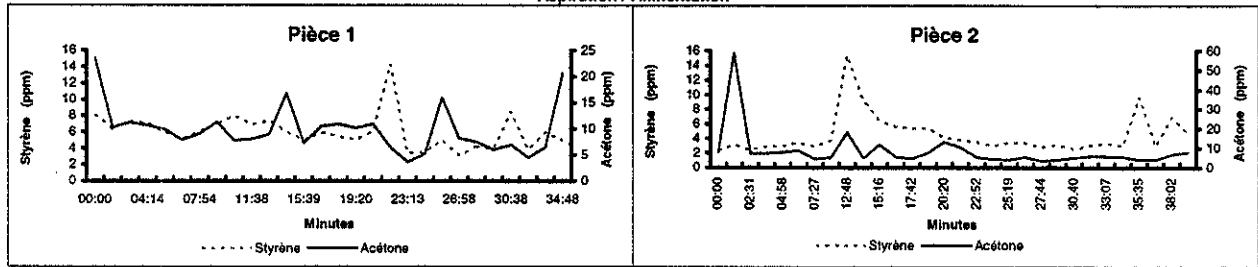
Figure 4 : Dynamique d'exposition au styrène et à l'acétone en mode aspiration seulement

### MOULAGE DE GRANDES PIÈCES

Sans ventilation



Aspiration / Alimentation



Aspiration seulement

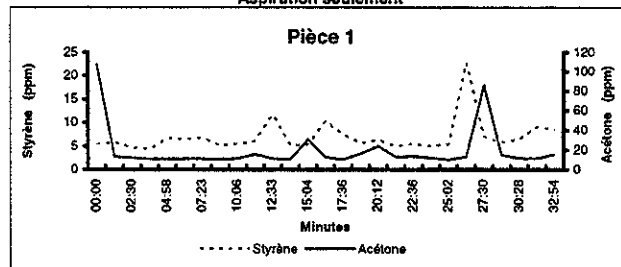


Figure 5 : Dynamique d'exposition au styrène et à l'acétone en fonction des conditions de ventilation

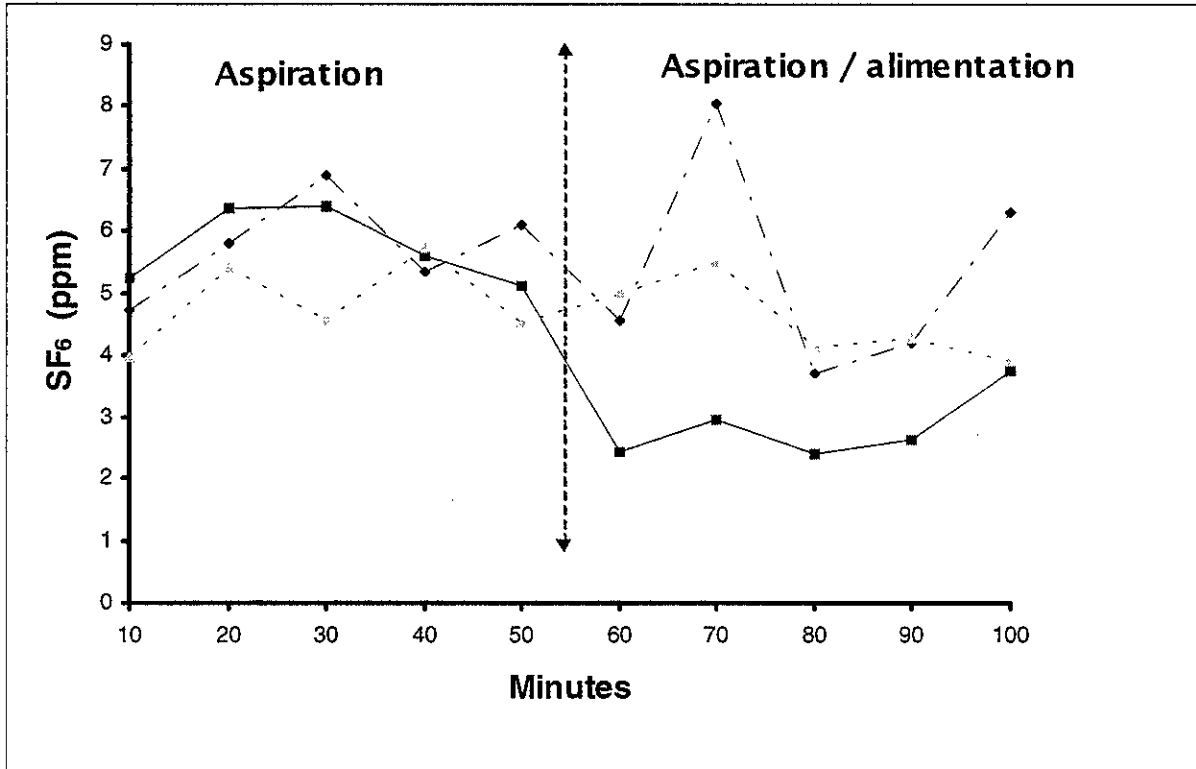


Figure 6 : Évolution de la concentration de SF<sub>6</sub> en fonction de la ventilation