

Mise en œuvre manuelle des polyesters stratifiés



Guide pratique de ventilation

SOMMAIRE

	<i>Pages</i>
Domaine d'application	1
1. Généralités	2
1.1. Les matières premières	2
1.2. Un polluant principal : le styrène	3
1.3. L'émission de styrène	3
1.4. Le niveau de risque et l'objectif	4
1.5. Le moulage au contact	4
1.6. La réglementation actuelle	4
2. Méthodologie d'étude du système de ventilation	4
2.1. Organisation générale de l'atelier	4
2.2. Identification des sources de pollution	5
2.3. Rappel de quelques principes généraux de ventilation	5
2.4. Choix d'un système de ventilation	5
3. Conception du système de ventilation	7
3.1. La ventilation par aspiration locale	7
3.2. La ventilation générale	9
3.3. L'introduction de l'air neuf	11
4. Les éléments complémentaires de réalisation de l'installation	12
4.1. Choix des éléments de l'installation	12
4.2. Le chauffage	12
4.3. Le bruit	13
4.4. Les effluents gazeux	13
4.5. Exploitation	13
5. Dossiers techniques	13
Dossier n° 1 : fabrication d'accessoires pour motocyclettes et de petites pièces diverses	14
Dossier n° 2 : fabrication d'éléments cylindriques	15
Dossier n° 3 : fabrication de bateaux	17
Dossier n° 4 : fabrication de bateaux de plaisance	19
Dossier n° 5 : fabrication d'accessoires pour bateaux	20
Dossier n° 6 : fabrication de piscines	21
Dossier n° 7 : éléments de mobilier urbain	22
Bibliographie	24

I.N.R.S.
30, rue Olivier-Noyer
75680 Paris Cedex 14

ED 665

GUIDE PRATIQUE DE VENTILATION

3. Mise en œuvre manuelle des polyesters stratifiés

Le présent document a été établi par un **groupe de travail** constitué sous l'égide de la CNAM et comprenant des spécialistes en ventilation et nuisances chimiques des CRAM et de l'INRS.

Il a été préparé dans le but de servir de **guide** et de **document de référence** à l'usage des personnes et organisations concernées par la **conception**, la **réception**, la **conduite** et le **contrôle** des installations de ventilation dans un atelier de polyesters stratifiés.

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

Son élaboration a été effectuée après consultation des organismes suivants :

- Syndicat général de l'industrie des plastiques armés ;
- Syndicat de l'aéraulique ;
- Centre d'études techniques des industries aérauliques et thermiques.

En ce qui concerne les nuisances chimiques, l'objectif minimal à atteindre est le maintien de la salubrité de l'air dans les locaux de travail. Un bon système de référence consiste à utiliser les valeurs limites pour les concentrations des substances toxiques au niveau des voies respiratoires, que celles-ci soient issues de la réglementation, de normes ou de règles de l'art en la matière.

Les critères de captage proposés constituent des recommandations propres à faciliter l'atteinte de cet objectif sur la base des 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 conduites sur ce thème ou de modifications apportées sur le plan réglementaire.

C'est pourquoi ce guide sera réexaminé régulièrement et au besoin modifié. Le groupe de travail demande à toute personne ou organisme ayant des avis ou critiques à formuler sur ce document de bien vouloir les lui faire connaître (commentaires à adresser à l'INRS, en faisant référence au groupe de travail ventilation n° 3).

Domaine d'application.

Ce guide pratique de ventilation concerne particulièrement les techniques de **moulage au contact** manuel ou par projection simultanée de résine et de fibres de verre coupées, qui sont adoptées pour la fabrication de pièces de formes et de dimensions très variées dans des séries relativement réduites. Les résines polyesters se caractérisent par une grande facilité de mise en œuvre. L'application manuelle de la résine est en général effectuée dans un atelier équipé très simplement. Cependant, il convient de ne pas négliger l'installation de ventilation qui doit occuper une place importante dans les aménagements d'un atelier de stratification. La mise en place du système de ventilation requiert une étude particulière et le présent guide se propose d'apporter des éléments destinés à faciliter cette étude.

Par contre, les techniques de mise en œuvre des polyesters à caractère industriel telles que le moulage sous presse, le moulage en continu à partir de tissus de fibres de verre préimprégnés, la centrifugation, font appel généralement à des solutions très spécifiques de captage en relation avec les types de machines utilisées. Elles ne seront pas évoquées dans le cadre de ce document.

Par ailleurs, dans la mise en œuvre des polyesters stratifiés, la stratification n'est pas la seule opération

susceptible d'émettre des polluants atmosphériques. Ainsi de nombreuses opérations annexes, en particulier la découpe et surtout le polissage, entraînent des émissions importantes de poussières. Lors des opérations de finition, le collage est fréquemment utilisé et donne lieu à des émissions abondantes de vapeurs de solvants. L'assainissement de l'atmosphère de tous ces postes de travail doit être réalisé par des systèmes de ventilation particuliers qui ne seront pas abordés dans ce document qui se limite à **la ventilation de l'atelier de stratification.**

1. GÉNÉRALITÉS

La mise en œuvre des polyesters stratifiés n'est pas une simple transformation d'un matériau existant mais au contraire la fabrication en place d'un produit thermodurcissable à partir des constituants par une véritable réaction chimique exothermique. Une bonne connaissance des produits manipulés et du comportement de la résine en cours d'utilisation est donc nécessaire pour préciser les conditions d'émission du styrène et en déduire les caractéristiques de la ventilation.

1.1. Les matières premières.

Le gel-coat.

Il s'agit d'une résine polyester appliquée sur le moule juste après l'agent de démoulage et qui est destinée à servir de couche de finition. Le gel-coat est généralement livré à l'état concentré. Il est dilué au moment de l'emploi et ajusté en viscosité à l'aide d'un solvant volatil qui est généralement de l'acétone ou de l'acétate d'éthyle. Il se caractérise par un aspect lisse et une très grande résistance mécanique et chimique.

La résine.

Elle est constituée par un polyester insaturé en solution dans un monomère : le styrène le plus fréquemment. Elle résulte de la condensation d'un polyol (mono ou diéthylène glycol, propylène glycol, etc.) et de différents acides tels que l'acide maléique et les acides ortho ou isophtalique.

D'autres monomères sont utilisés dans les polyesters insaturés, par exemple le méthacrylate de méthyle ou l'acétate de vinyle, qui présentent des risques analogues. Le styrène est le plus répandu.

Il existe de nombreuses variétés de résines dont les caractéristiques physico-chimiques et surtout les propriétés mécaniques dépendent de la nature des diacides et des polyols de départ. Par un choix judicieux des composants, on peut introduire à volonté des qualités de souplesse, de résistance chimique ou mécanique, de résistance au feu.

La quantité de styrène présente dans la résine varie entre 30 et 45 %. Il existe actuellement des **résines à faible émission de styrène.** Une étude comparative en milieu industriel a montré que l'utilisation de ces résines améliore nettement la situation par rapport à l'utilisation d'une résine standard.

Cependant, ce procédé à lui tout seul ne suffit pas à assurer la salubrité de l'atelier et une ventilation adéquate reste nécessaire. Quoi qu'il en soit, la préférence sera donnée à ces résines chaque fois que cela est techniquement possible. D'une façon générale, il faut privilégier les procédés de mise en œuvre limitant ou éliminant l'émission de styrène.

L'accélérateur.

Les produits généralement utilisés sont les sels de cobalt (octoate ou naphtéate) ou une amine aromatique tertiaire (N-diméthylaniline, par exemple) faisant l'objet respectivement des tableaux n°s 65 et 15 des maladies professionnelles. L'accélérateur peut être introduit initialement dans la résine. La résine est alors préaccélérée.

Le catalyseur.

Il appartient au groupe des peroxydes. On utilise fréquemment le peroxyde de méthyléthylcétone dilué à 50 % dans le phtalate de butyle. Le mélange est introduit au moment de la mise en œuvre.

Les matériaux de renforcement.

Le plus important est la fibre de verre utilisée sous forme de fils continus ou coupés, de tissus ou de non tissés (mat de verre).

Les charges.

Par l'adjonction de silice colloïdale, les résines acquièrent des propriétés thixotropiques, ce qui facilite leur utilisation sur des moules à parois inclinées ou même verticales.

Les solvants.

Des solvants sont utilisés pour ajuster la viscosité du gel-coat, par exemple l'acétone et l'acétate d'éthyle, ou pour assurer le nettoyage de l'outillage, en particulier le chlorure de méthylène. La nocivité de tous ces produits s'ajoute à celle du styrène. De plus, l'utilisation des hydrocarbures halogénés tels que le chlorure de méthylène peut entraîner l'apparition des maladies professionnelles indemnifiables citées dans le tableau n° 12 des maladies professionnelles.

1.2. Un polluant principal : le styrène.

Au cours de la mise en œuvre des résines polyesters insaturées, les constituants volatils présents dans la résine se dégagent partiellement, notamment le monomère dont le plus courant est le styrène.

Ce produit volatil est à la fois inflammable et toxique. La limite inférieure d'inflammabilité ou d'explosivité du styrène est de 1,1 % en volume dans l'air. Mais les effets toxiques se manifestent à des concentrations beaucoup plus faibles. La prévention des risques d'incendie et d'intoxication impose donc la mise en place d'un système de ventilation. Il existe d'autres monomères et des solvants (acétone, dichlorométhane) qui participent à la pollution de l'atelier. Toutefois, le captage des vapeurs de styrène concourt à la réduction des autres polluants. C'est pourquoi, la concentration en styrène est représentative de la pollution.

Afin de mieux préciser les risques, il convient de rappeler quelques données sur la toxicité du styrène [1].

Le styrène, qui peut pénétrer dans l'organisme par la voie respiratoire et la voie cutanée, agit principalement comme irritant.

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

La toxicité chronique se manifeste par une action sur les muqueuses, en particulier les muqueuses respiratoires, et la peau. Des désordres digestifs liés à une insuffisance hépatique sont souvent observés. Comme pour la toxicité aiguë, les effets sur le système nerveux provoquent les troubles suivants : état de fatigue, céphalées, tendance à la somnolence.

Les données actuellement disponibles concernant l'expérimentation animale et les enquêtes épidémiologiques sont insuffisantes et ne permettent pas de conclure à l'absence ou à l'existence d'un effet cancérogène. Cependant, des études sur les effets mutagènes et tératogènes se poursuivent actuellement.

1.3. L'émission de styrène.

Chaque résine polyester se caractérise par sa réactivité qui est en relation avec le taux d'insaturation initial. On détermine cette réactivité par l'évolution de la température de la résine catalysée en fonction du temps. La température maximale est appelée pic exothermique (fig. 1).

Les mesures expérimentales effectuées chez les fabricants de résine permettent de rendre compte des caractéristiques de l'émission du styrène au cours de la mise en œuvre. Ainsi une résine orthophtalique classique libère environ 0,125 kg/m².h de styrène monomère pour un stratifié standard. Par comparaison, une résine à faible émission de styrène dégage une quantité de styrène de l'ordre de 0,050 kg/m².h.

Il a été démontré que dans la plupart des cas l'émission de styrène devient faible au-delà de 2 heures. Cette valeur peut être retenue comme temps moyen d'évaporation du styrène.

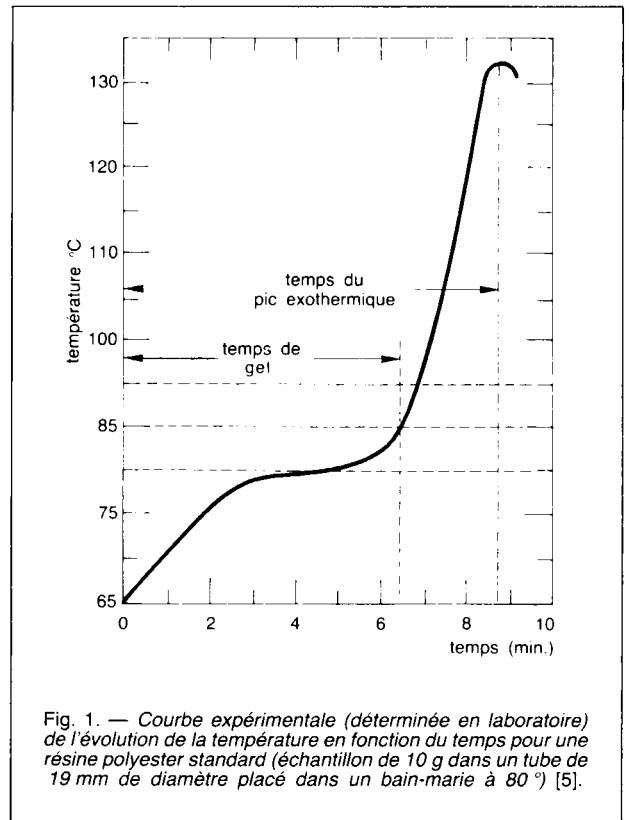


Fig. 1. — Courbe expérimentale (déterminée en laboratoire) de l'évolution de la température en fonction du temps pour une résine polyester standard (échantillon de 10 g dans un tube de 19 mm de diamètre placé dans un bain-marie à 80 °) [5].

L'émission de styrène dépend de nombreux paramètres :

- la teneur initiale en styrène ;
- la nature de la résine : le nombre de doubles liaisons de la résine, détermine sa réactivité donc son exothermicité ;
- la nature du catalyseur : certains systèmes catalytiques conduisent à des durcissements rapides. D'autres allongent le temps de gélification. La cinétique de l'évaporation peut être dans certains cas fortement modifiée ;
- l'épaisseur de résine déposée : pour une surface donnée, plus la masse de résine déposée est grande, plus grandes sont la vitesse d'évaporation et la quantité totale de styrène évaporée ;
- les charges et les matériaux de renforcement : la présence de ces produits diminue la quantité de styrène évaporée en abaissant le pic exothermique ;
- les conditions climatiques : la température ambiante influe beaucoup sur l'émission de styrène. L'évaporation de styrène en période chaude est notamment plus importante. L'hygrométrie agit également sur la réactivité de la résine et modifie l'émission de styrène.

Lors de la fabrication, certains paramètres tels que la nature de la résine, le système catalytique, l'épaisseur de résine déposée, la proportion de matériaux de renforcement sont bien maîtrisés, alors que d'autres tels que la température, l'hygrométrie le sont difficilement. Ces derniers paramètres peuvent entraîner des variations d'émission de styrène non négligeables.

Les renseignements figurant sur la fiche technique de la résine comportent des indications sur la réacti-

tivité de la résine exprimée d'après les trois valeurs suivantes : le temps de gel, le temps de durcissement et le pic exothermique en fonction de différents systèmes catalytiques.

Ces valeurs expérimentales servent à guider l'utilisateur pour le choix de la résine et du système catalytique, mais ne sont pas transposables aux situations industrielles. En particulier, elles sont difficilement exploitables pour évaluer la durée de l'exposition aux vapeurs de styrène ou leur concentration à un poste de travail.

Enfin, pour apprécier les concentrations maximales pouvant être atteintes, il faut tenir compte de l'amplitude locale des températures. Par exemple entre 20 et 35 °C, tous les autres paramètres étant fixés par ailleurs, l'émission de styrène peut être multipliée par un facteur de l'ordre de 1,5.

1.4. Le niveau de risque et l'objectif.

Les mesures effectuées dans les ateliers de stratification révèlent que des taux très élevés de styrène sont fréquemment atteints au niveau des voies respiratoires des opérateurs. On enregistre souvent des valeurs variant de 100 à 300 parties par million (ppm).

Des concentrations supérieures à 1 000 ppm ont même été mesurées.

La valeur limite pour la moyenne des concentrations auxquelles un travailleur est exposé au cours d'un poste de huit heures (VME) est fixée pour le styrène à 50 ppm (partie par million) ou 215 mg/m³.

Elle est susceptible d'être révisée en fonction de nouvelles données toxicologiques ou épidémiologiques.

1.5. Le moulage au contact.

Dans les techniques directes ou au contact, le transformateur part des éléments séparés, résines et

matériaux de renforcement, et les associe lui-même pour les mettre à la forme désirée, généralement à froid. Ces techniques, fréquemment manuelles, font donc intervenir un personnel nombreux.

Les opérations élémentaires sont successivement :

- le gelcoatage ;
- l'application de résine et de fibres de verre ;
- l'ébullage ;
- le séchage.

Le gelcoatage s'effectue par pulvérisation. L'application manuelle de résine se fait au rouleau ou par projection. Le tissu de verre est appliqué sur la résine. Les fibres de verre coupées sont fréquemment appliquées en projection simultanée avec la résine. L'opération d'ébullage complète l'imprégnation des fibres de verre par la résine en chassant l'air occlus.

Il existe des buses effectuant la projection en rideau ou en éventail, permettant de réduire l'évaporation de styrène.

1.6. La réglementation actuelle.

Il n'existe pas de réglementation spécifique se rapportant à la mise en œuvre des polyesters stratifiés. Les principaux textes réglementaires applicables à cette activité sont rappelés dans le document suivant : « Mise en œuvre des polyesters stratifiés » [2].

L'assainissement de l'atmosphère et la prévention des incendies font l'objet des textes suivants issus du Code du travail :

- les articles R. 232-5 à R. 232-5-14 et R. 235-6 à R. 235-10 relatifs à l'aération et l'assainissement (décrets n^{os} 84-1093 et 84-1094 du 7 décembre 1984) ;
- les articles R. 233-14 à R. 233-16 relatifs au classement et au stockage des matières inflammables.

2. MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE DU SYSTÈME DE VENTILATION

L'étude du système de ventilation débute nécessairement par la prise en compte des principes généraux concernant l'organisation de l'atelier de stratification. Il convient ensuite d'identifier toutes les sources de pollution afin de les réduire et de les traiter. Cette démarche conduit alors au choix d'un système de ventilation.

2.1. Organisation générale de l'atelier.

La conception du bâtiment et en particulier ses dimensions et son orientation doivent tenir compte des impératifs de la ventilation.

A l'intérieur du bâtiment, lors de l'implantation et l'aménagement des postes de travail, il faut séparer le plus possible les postes de stratification des autres postes où s'effectuent les opérations annexes :

- les postes de découpe des mats et des tissus de verre ne seront pas situés dans l'atelier de stratification ;
- même pour les grosses pièces, le gelcoatage aura lieu en cabine ;
- le ponçage et les travaux de finition doivent être effectués dans un local séparé et ventilé (utilisation d'outils portatifs avec dispositifs de captage intégrés ou découpe en présence d'eau) ;

- les postes d'utilisation des solvants seront judicieusement répartis dans l'atelier. On s'efforcera d'en limiter le nombre.

Pour réduire les sources de pollution, il est souhaitable de sortir les pièces de l'atelier dès la fin de la stratification et de les stocker dans un local distinct.

Il faut prévoir les aires de circulation et de stockage de manière à ne pas gêner l'efficacité des systèmes de ventilation. En particulier, il convient de ne pas encombrer la zone des extracteurs de ventilation générale.

La conception du système de ventilation doit prendre en compte les cycles de fabrication prévus, ainsi que la définition précise des postes de travail (nombre d'opérateurs, leur zone d'évolution).

Pour l'application de la résine le choix de l'outillage est important, ainsi l'emploi de pistolet de projection à mélange interne est recommandé.

Les récipients seront maintenus fermés en dehors des périodes de transvasement.

Au poste de nettoyage des instruments il faut utiliser des récipients de sécurité.

L'enlèvement des poubelles doit être assuré régulièrement.

2.2. Identification des sources de pollution.

Il faut prendre en compte la dimension et la forme des pièces et localiser les différentes sources de pollution au cours des opérations successives telles que le gelcoatage, l'ébullage, la stratification, le séchage ou polymérisation.

Aucune source secondaire d'émission de polluant ne doit être négligée et chacune d'entre elles doit recevoir une solution spécifique (limitation et/ou captage de l'émission). C'est le cas par exemple d'un poste de fabrication de petites pièces au sein d'un atelier de stratification de grandes pièces. C'est le cas également des fûts de résine et de solvant.

2.3. Rappel de quelques principes généraux de ventilation.

Le système de ventilation doit être en mesure de garantir qu'à tout moment les voies respiratoires des opérateurs se trouvent dans une zone d'air propre. Pour cela, deux techniques de ventilation peuvent être utilisées séparément ou conjointement selon le degré de risque et les contraintes techniques liées à la situation :

- la ventilation par aspiration locale des polluants ;
- la ventilation générale des ateliers par dilution des polluants.

La ventilation par aspiration locale des polluants consiste à capter les polluants au plus

près de leur point d'émission avant qu'ils ne pénètrent dans la zone respiratoire des travailleurs et ne soient disséminés dans toute l'atmosphère de l'atelier. A efficacité égale, elle entraîne la mise en œuvre de débits d'air inférieurs à ceux nécessités par une ventilation générale, et donc une moindre consommation d'énergie et des moyens d'épuration réduits pour le maintien de la qualité de l'air. **Elle doit être retenue en priorité chaque fois que les polluants sont émis en quantités notables et que les sources de pollution sont fixes.**

En fonction des techniques mises en œuvre, on distingue les cabines et les captages localisés tels que les enceintes ventilées, les tables aspirantes, etc. Les performances de ces dispositifs ne sont pas équivalentes et face à une situation industrielle donnée, le choix ne peut pas être laissé au hasard.

Une ventilation générale complémentaire de l'aspiration locale est toujours nécessaire pour éliminer les polluants résiduels non captés à la source et pour assurer un renouvellement minimal de l'air des locaux de travail.

La ventilation générale des ateliers en tant que technique principale d'assainissement de l'atmosphère consiste, grâce à l'apport d'air neuf en quantité suffisante, à diluer les polluants émis de façon à ce que leur niveau de concentration dans l'ambiance se situe en dessous de la valeur admise. Cette technique admet une certaine pollution sur les lieux de travail. Elle ne peut donc être recommandée et ne sera retenue en tant que technique principale d'assainissement que pour les locaux de travail où existent des sources de pollution techniquement non maîtrisables (dissémination importante de petites sources de pollution, déplacement de ces sources par les travailleurs, sources de grandes dimensions difficiles à traiter en captage localisé).

2.4. Choix d'un système de ventilation.

Le choix d'un système de ventilation parmi les différentes solutions offertes par le captage localisé ou la ventilation générale dépend de la forme et de la dimension des pièces. La classification proposée permet de distinguer trois catégories :

- les petites pièces plates ou creuses ;
- les objets plans de grandes dimensions. Il s'agit principalement des panneaux pour l'isolation ou le bâtiment ;
- les grosses pièces creuses. Le représentant le plus caractéristique de cette catégorie est la coque de bateau non ponté.

Dans certains cas, la forme des pièces impose un travail en espace confiné. En effet, dans la plupart des cas l'application de la résine s'effectue à l'extérieur de la pièce mais, si la cavité formée est fortement prononcée, cette application a lieu à l'intérieur du moule et les conditions du poste de travail correspondent à celles d'un espace confiné. C'est le cas par exemple de la stratification en place dans un camion frigorifique, ou de l'assemblage du pont et de la coque d'un bateau de grandes dimensions (cf. guide pratique de ventilation n° 8. Ventilation des espaces confinés).

Pour chacune de ces catégories le tableau I indique les solutions techniques qui peuvent ou non être retenues.

Les solutions techniques **recommandées** sont celles qui doivent être mises en place en priorité : le choix de telles solutions s'imposera notamment lors de la conception des installations nouvelles.

Les solutions techniques **utilisables** correspondent à des solutions susceptibles d'assurer un assainissement satisfaisant, dans la mesure où certaines contraintes qui leur sont associées sont satisfaites. Elles seront réservées aux installations où une impossibilité technique empêcherait la mise en place d'une solution « recommandée » ou lorsque les paramètres de fabrication sont parfaitement définis et reproductibles (fabrication en série). Une telle installation peut être rendue caduque par une modification mineure du

processus industriel ou par suite de l'évolution des critères toxicologiques retenus.

Les solutions techniques **acceptables** ne doivent pas être retenues de manière permanente. Elles ne peuvent être adoptées que pour des situations isolées ou pour des situations à caractère provisoire devant évoluer à court terme.

Les solutions techniques **exclues** sont inutilisables en toutes circonstances. Elles ne permettent pas d'atteindre les objectifs de salubrité souhaitable.

Quand la ventilation générale est exclue, cela signifie qu'elle est à rejeter comme technique principale d'assainissement. Cependant, pour les solutions techniques recommandées, utilisables et acceptables, il convient de remarquer qu'un renouvellement minimal de l'air doit être assuré dans tous les cas.

TABLEAU I
Détermination du type de ventilation

	Ventilation par aspiration locale Extraction des polluants au plus près de la source				Ventilation générale en tant que technique principale d'assainissement de l'air Extraction des polluants après dilution	
	cabine		captage localisé		normale	avec soufflage complémentaire
	cabine ouverte	cabine fermée	aspiration- soufflage	aspiration simple		
petites pièces	recommandée	utilisable (2)	utilisable (3)	recommandée	exclue	exclue
objets plans de grandes dimensions	utilisable (1)	utilisable (2)	recommandée	acceptable (4)	exclue (5)	utilisable
grosses pièces creuses (6)	utilisable (1)	utilisable (2)	utilisable (3)	acceptable (4)	exclue (5)	utilisable

Notes

1) La cabine ouverte ne peut être retenue pour ce type d'objet que si la forme de celui-ci permet d'avoir sur toute la surface d'émission une vitesse d'air suffisante sous réserve que l'opérateur ne se trouve jamais placé entre la pièce et le dispositif d'aspiration (cas d'une pièce de grande largeur).

2) Cette solution peut être recommandée, si le mode opératoire permet de limiter le colmatage des dispositifs d'aspiration situés au sol.

3) Cette technique est d'une mise en œuvre délicate.

4) Le captage localisé par aspiration simple pour les objets plans et les grosses pièces creuses n'est efficace que si le dispositif de captage est parfaitement adapté à la pièce.

5) Pour les objets plans de grandes dimensions et les grosses pièces creuses la ventilation générale ne peut convenir que si les conditions suivantes sont simultanément réunies :

- local suffisamment grand ;
- dilution suffisante par un brassage adapté ;

6) Si les conditions de travail correspondent à celles d'un espace confiné : extraction des polluants pour assainir l'atmosphère et éviter la pollution des postes voisins + protection respiratoire individuelle nécessaire pour l'opérateur.

3. CONCEPTION DU SYSTÈME DE VENTILATION

3.1. La ventilation par aspiration locale.

La cabine ouverte.

Il s'agit d'une cabine ouverte en façade avec un dispositif d'aspiration situé dans la partie arrière. L'entrée de l'air neuf se fait par la face ouverte. La vitesse moyenne de l'air dans cette ouverture (V_0) doit être supérieure à 0,6 m/s si la surface de l'ouverture est inférieure à 4 m² et supérieure à 0,5 m/s si la surface est supérieure à 4 m². Le plan de mesure est l'ouverture frontale (cf. guide pratique de ventilation n° 9. Ventilation des cabines et postes de peinture).

Si S est la surface de l'ouverture, le débit est exprimé par la relation :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = S \cdot V_0$$

Dans ce type d'installation, il faut veiller à ce que les opérateurs ne se trouvent pas sur le trajet de l'air pollué, en plaçant la pièce sur un support tournant ou basculant.

Lorsque la cabine est de taille importante par rapport au local ou lorsque le nombre de cabines est important, le système d'introduction d'air neuf doit être particulièrement étudié (cf. 3.3).

Captage localisé par aspiration simple.

L'air pollué est évacué par un dispositif tel que enceinte ventilée, table aspirante, hotte, bouche ou fente.

Le dispositif de captage adopté dépendra de la forme de l'objet et des particularités de l'atelier.

— Enceinte ventilée.

Elle est semblable à une cabine ouverte de petites dimensions placée à hauteur d'homme, l'opérateur étant toujours à l'extérieur (fig. 2).

La vitesse moyenne de l'air dans l'ouverture doit être égale ou supérieure à 0,6 m/s (cf. cabine ouverte).

Le débit est $Q \text{ (m}^3\text{/s)} = S \cdot V_0$.

— Table aspirante.

Dans le cas d'une table avec dossierer aspirant, représentée à la figure 3, le débit doit être calculé par la formule suivante [11] :

$$Q = \lambda \cdot X \cdot L \cdot V_C$$

X est la distance entre le point d'émission le plus éloigné et le dispositif de captage.

λ , coefficient sans dimension, est égal à 2,4 si la table est munie d'écrans latéraux et 2,8 dans le cas contraire.

V_C est la vitesse de captage, c'est-à-dire la vitesse d'air minimale mesurée au point le plus éloigné du dispositif de captage pour contrer la vitesse d'émission initiale de polluant ainsi que les courants d'air parasites. Elle ne doit jamais être inférieure à 0,3 m/s dans une atmosphère calme.

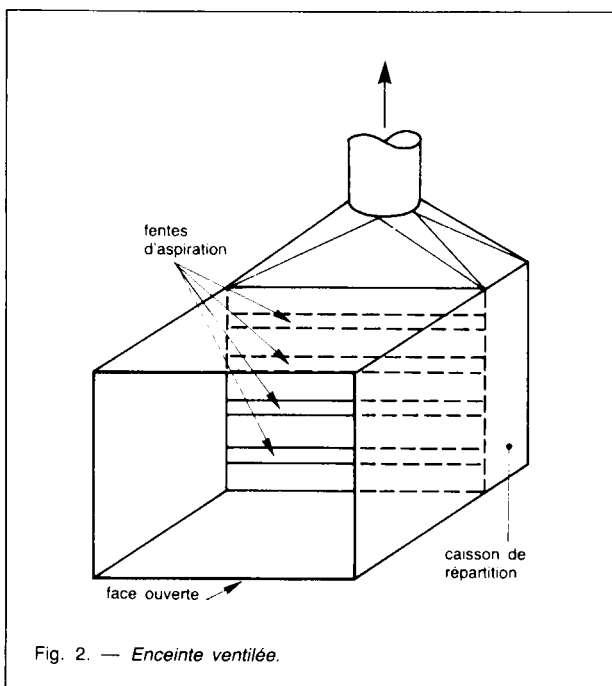


Fig. 2. — Enceinte ventilée.

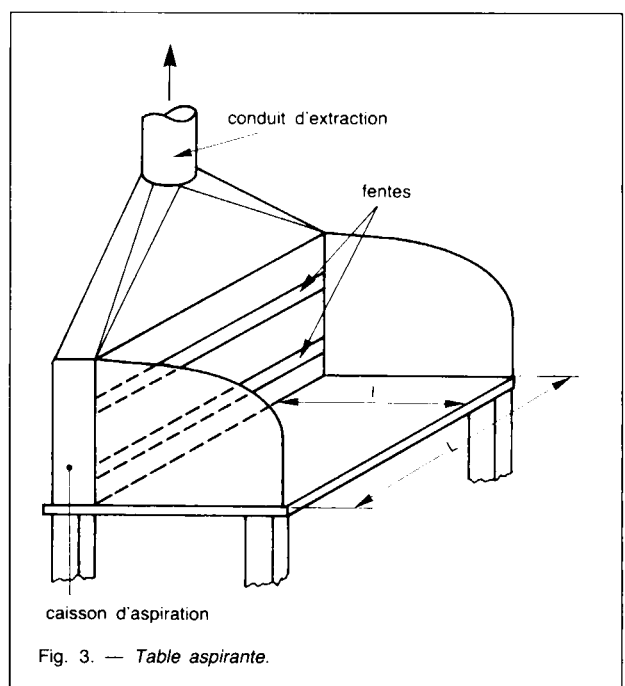


Fig. 3. — Table aspirante.

La cabine fermée.

Il s'agit d'une enceinte fermée sur les quatre faces latérales et le plafond. La ventilation verticale permet à l'opérateur d'être placé dans un courant d'air neuf (fig. 2).

Pour la réalisation de ces cabines il convient de se reporter au guide pratique de ventilation n° 9 « Ventilation des cabines de peinture » qui précise notamment la forme du caisson de soufflage et de la fosse de reprise ainsi que le choix de la vitesse de l'air.

Au sujet des mesures de la vitesse d'air, il donne les indications suivantes :

Les mesures sont effectuées en cabine vide, à 0,90 m du sol de la cabine, pas à moins de 0,50 m des parois de la cabine. Pour situer l'emplacement des points de mesurage, un quadrillage est établi à partir du centre géométrique du sol de la cabine, sans dépasser 1,50 m entre chaque point.

Aucun des points de mesurage ne doit donner un résultat inférieur à 0,30 m/s.

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

Les grilles situées au sol dans une cabine fermée peuvent s'encrasser rapidement, un entretien fréquent est alors nécessaire.

On peut être amené à utiliser une ventilation horizontale ou oblique pour tenir compte de certaines particularités liées à la forme, à la dimension des pièces et à leur disposition dans la cabine (fig. 4). Le projet pourra être envisagé après consultation du service prévention de la Caisse régionale d'assurance maladie dont relève l'entreprise intéressée.

— Bouches et fentes d'aspiration.

Dans certains cas, il peut être envisagé d'implanter à proximité du poste de travail une buse équipée ou non d'écrans. Des formules empiriques, citées dans le tableau II permettent de calculer le débit d'air à mettre en œuvre pour assurer une certaine vitesse de captage en fonction de la forme de la bouche, de son implantation, de ses dimensions et de la distance entre la bouche et la source de pollution.

En appelant respectivement L et h la longueur et la largeur de la buse d'aspiration :

si $\frac{L}{h} \leq 5$, il s'agit d'une bouche d'aspiration

si $\frac{L}{h} > 5$, il s'agit d'une fente d'aspiration.

Captage localisé par aspiration-soufflage.

Lorsque les objets plans ne peuvent être ventilés par une aspiration simple comprenant une ou plusieurs aspirations latérales, il peut être fait appel au système d'aspiration-soufflage. C'est le cas en particulier des pièces dont la largeur dépasse 1,20 m.

L'air pollué est poussé par un ou plusieurs jets d'air inducteurs vers des dispositifs d'aspiration (fig. 5).

Pour que ce captage fonctionne correctement, il faut :

- que l'aspiration reprenne en totalité l'air de soufflage et l'air induit par les jets ;
- qu'il n'y ait pas d'obstacle interposé entre le jet et l'aspiration.

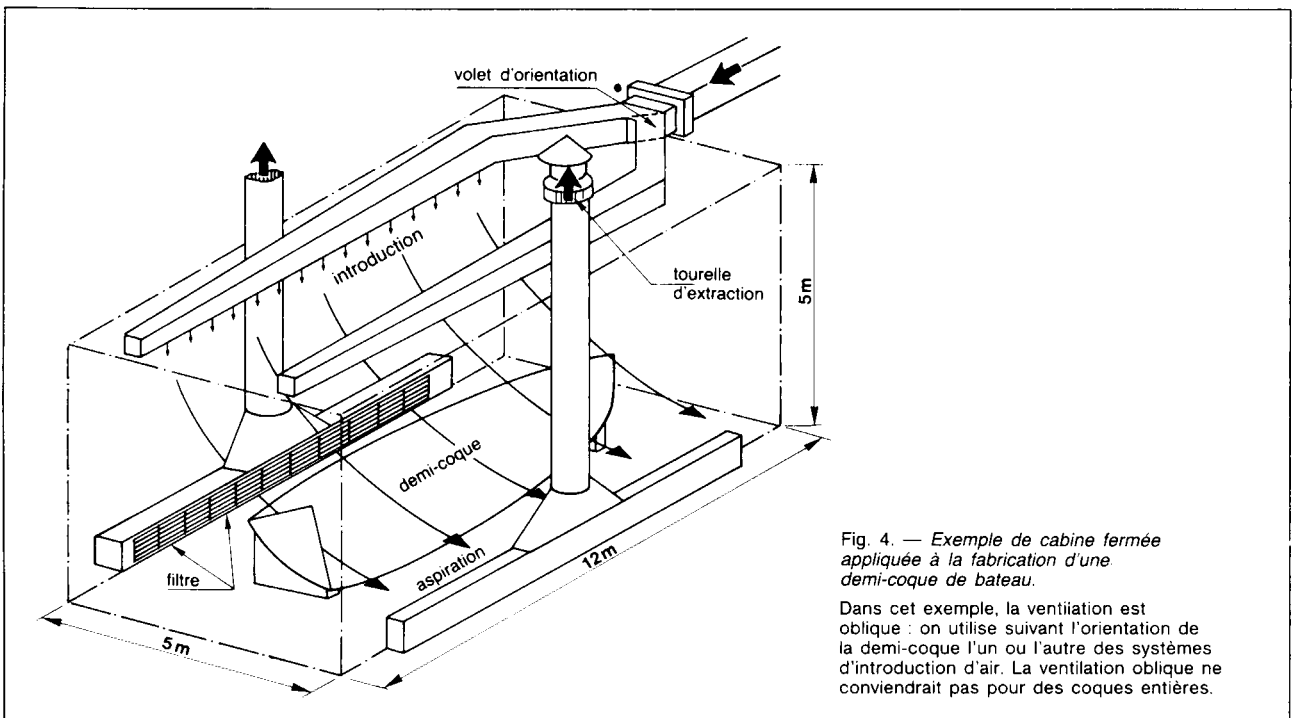
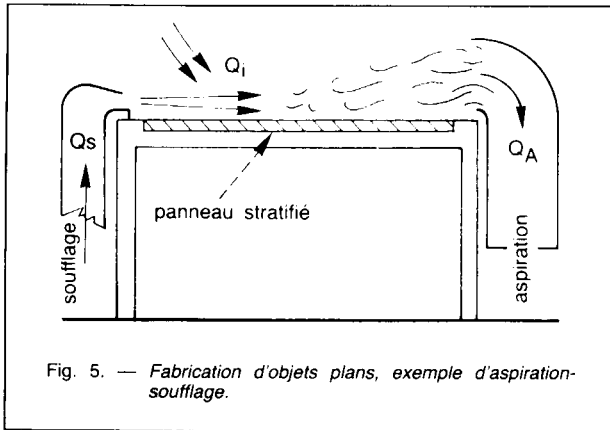


Fig. 4. — Exemple de cabine fermée appliquée à la fabrication d'une demi-coque de bateau.

Dans cet exemple, la ventilation est oblique : on utilise suivant l'orientation de la demi-coque l'un ou l'autre des systèmes d'introduction d'air. La ventilation oblique ne conviendrait pas pour des coques entières.



Si Q_s représente le débit de l'air de soufflage,
 Q_i représente le débit d'air induit,
 Q_A représente le débit d'air à l'aspiration.

Ces débits sont liés par l'expression suivante :

$$Q_A = Q_i + Q_s$$

Le dimensionnement d'un système d'aspiration-soufflage se fait sur la base des données suivantes :

- a) Le débit d'aspiration Q_A est choisi égal à la moitié du débit d'un dispositif d'aspiration unilatérale.
- b) Le débit du jet de soufflage sera prévu pour atteindre $0,025 \text{ m}^3/\text{s}$ par mètre carré de l'objet ($90 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) sans toutefois pouvoir dépasser cette valeur.

Comme la plupart des déficiences des systèmes d'aspiration-soufflage proviennent d'une mauvaise adaptation du débit du jet au débit de l'aspiration, il est indispensable de prévoir un système de réglage du débit d'air et de l'orientation du jet. Une fois le réglage effectué à la mise en route de l'installation, le système de réglage doit être bloqué et la pression statique correspondante notée pour servir de référence. Le calcul et la réalisation de ce type d'installation doivent être confiés à des spécialistes.

- c) La largeur de la fente de soufflage sera telle que la vitesse au niveau de la fente soit voisine de 10 m/s . La vitesse dans le caisson de distribution ne devra pas dépasser la moitié de la vitesse au niveau de la fente.
- d) La hauteur du dispositif de reprise d'air doit être égale à environ le quart de la largeur de la table.

Ces règles générales s'appliquent pour des largeurs n'excédant pas quelques mètres (2 ou 3 par exemple). Au-delà, des études sur maquette peuvent être nécessaires.

TABLEAU II
 Relations entre le débit d'aspiration et la vitesse de captage

L = longueur de la bouche ou de la fente (m)
 h = largeur de la bouche ou de la fente (m)
 A = section de la bouche ou de la fente (m^2)
 X = distance entre la bouche ou la fente et le point d'émission le plus éloigné (m)
 V_c = vitesse de l'air à la distance X (m/s)

	Bouche isolée sans collerette $Q = (10 X^2 + A) V_c$
	Bouche isolée avec collerette $Q = 0,75 (10 X^2 + A) V_c$
	Bouche sans collerette reposant sur un plan $Q = (5X^2 + A) V_c$
	Bouche avec collerette reposant sur un plan $Q = 0,75 (5X^2 + A) V_c$ Pour X assez grand $Q = 3,14 X^2 V_c$
	Fente isolée sans collerette $Q = 3,7 L X V_c$
	Fente isolée avec collerette $Q = 2,8 L X V_c$
	Fente sans collerette appuyée sur un plan $Q = 2,8 L X V_c$

3.2. La ventilation générale.

Comme cela a été indiqué précédemment (cf. § 2.3), l'utilisation de la ventilation générale seule, en tant que technique principale d'assainissement de l'air d'un atelier de stratification, ne doit être envisagée que dans le cas où le recours à la ventilation par aspiration locale est techniquement impossible.

Une installation de ventilation générale comprend des dispositifs d'introduction et d'extraction d'air qui peuvent être soit mécaniques, soit statiques (ventilation naturelle) (fig. 6). La combinaison de ces techniques peut permettre le contrôle des débits d'air ainsi que des caractéristiques de l'air neuf (température, hygrométrie, etc.).

L'étude d'une ventilation générale dépend de nombreux facteurs qu'il est souvent difficile d'évaluer simplement. Aussi, la conception d'une installation de ventilation générale reste-t-elle, dans l'état actuel des connaissances, une opération délicate qui fait appel à une large part d'empirisme et d'intuition.

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

En conséquence, la mise en place d'un soufflage complémentaire qui assure un brassage favorisant la dilution rapide du polluant et son éloignement de la zone respiratoire des opérateurs est souvent nécessaire (fig. 7).

Le soufflage complémentaire pour le brassage peut être réalisé :

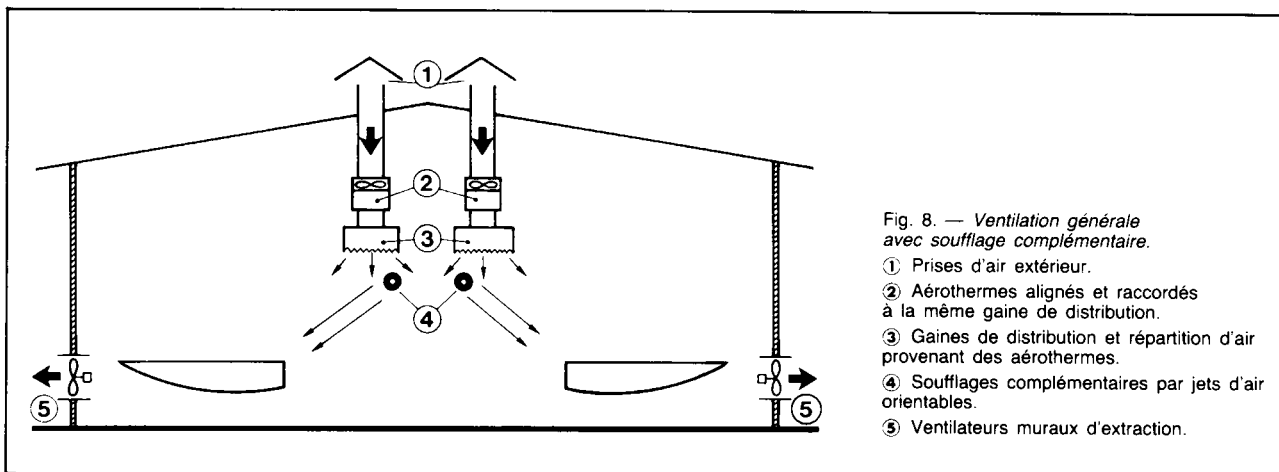
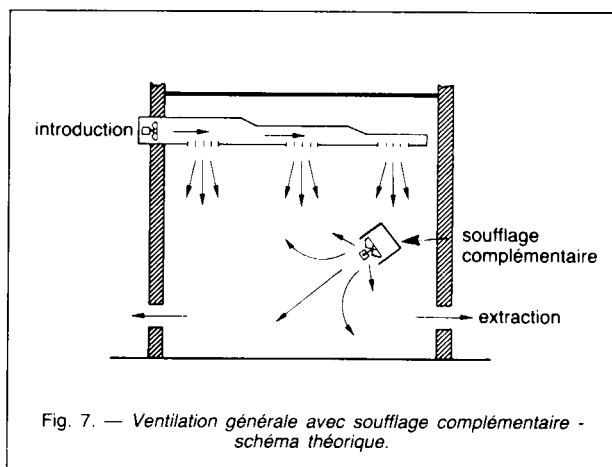
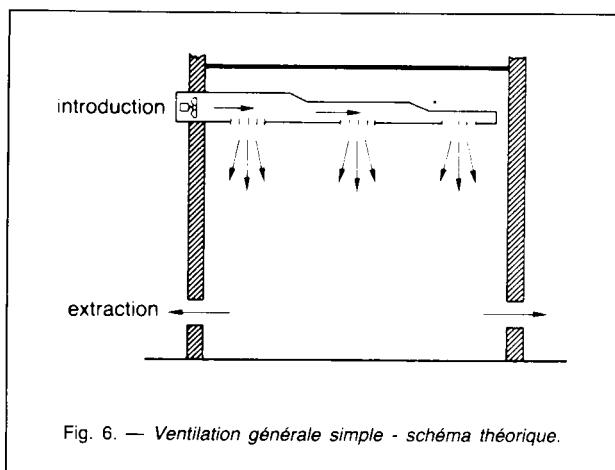
- soit par des ventilateurs mobiles situés à proximité de chaque poste de travail ;

- soit par un réseau de buses de soufflage. En général, ce réseau comprend un ensemble de canalisations situées sous le plafond et munies de buses orientables. Il est indépendant du circuit d'introduction d'air neuf.

Il convient de remarquer que l'adoption d'appareils mobiles de ventilation présente un inconvénient important car de nombreux facteurs influencent leur fonctionnement (hauteur, inclinaison, débit) et il est difficile de garantir en toutes circonstances leur efficacité. Il est donc préférable d'adopter un dispositif de soufflage complémentaire fixe muni de buses à orientation réglable (fig. 8).

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

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



Dans la pratique, pour une résine standard (40 % de styrène) utilisée à 20 °C, le poids de styrène émis au cours de la mise en œuvre atteint 10 à 15 % de la quantité initialement présente [6, 7], ce qui correspond à 5 % en moyenne de poids de la résine.

Si l'application est effectuée régulièrement au cours de la journée de travail, l'émission peut être considérée comme répartie sur une durée de huit heures.

Si l'application n'occupe qu'une partie de la journée, il faut évaluer la durée de l'émission de styrène en considérant que cette émission se poursuit pendant la phase de durcissement. La durée moyenne de la réaction de polymérisation est évaluée à deux heures (§ 1.3.).

La connaissance de la quantité de styrène émise et de la durée moyenne d'émission renseigne sur le niveau moyen de pollution d'un atelier.

L'émission maximale sera déduite de la consommation prévue de résine. Pour un atelier existant, dans lequel il n'est pas possible de mettre en œuvre une ventilation par aspiration locale, on peut déterminer l'émission maximale horaire à partir de la plus forte concentration de styrène mesurée dans l'atelier.

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

$$Q_v = \frac{10^6 \cdot Q_p}{VME}$$

Q_v est le débit théorique à mettre en œuvre si l'introduction d'air permettait une dilution instantanée du styrène émis et conduisait à une concentration homogène en tous les points de l'atelier. Ceci est rarement réalisable, et en général, compte tenu des dimensions des ateliers de stratification, des zones mortes, des pics de pollution, il faut faire intervenir un facteur de correction k ; la relation s'écrit alors :

$$Q_v = k \cdot \frac{10^6 \cdot Q_p}{VME}$$

D'une façon générale, l'ACGIH [8] recommande pour k une valeur comprise entre 3 et 10 dans le cas de l'assainissement d'un atelier par une ventilation générale seule.

Dans les ateliers de stratification, compte tenu des difficultés d'évaluation de l'émission maximale au moment des calculs théoriques, il est conseillé aux concepteurs de choisir des valeurs élevées de la fourchette pour le facteur K . Dans des ateliers de très grande dimension équipée d'une introduction d'air bien répartie et d'un soufflage complémentaire efficace, il a été possible de descendre vers les valeurs basses du facteur K .

Exemples de calcul de l'émission de styrène

Exemple n° 1 : Fabrication régulièrement répartie sur une journée de huit heures.

Consommation journalière de résine standard : 1 000 kg.

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

L'émission atteint 50 kg.

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

Exemple n° 2 : Fabrication irrégulière.

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

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

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

Exemple n° 3 : Évaluation suivant la surface déposée.

L'émission moyenne de styrène par unité de surface est estimée à 0,125 $kg/m^2 \cdot h$ pour une résine standard.

On évalue la surface totale de résine déposée par heure en multipliant la surface développée de l'objet par le nombre de couches déposées, soit par exemple 10 m^2/h .

La quantité de styrène émise par heure est donc $0,125 \times 10 = 1,250$ kg.

Exemple de calcul du débit d'air neuf

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

D'après la relation ci-dessus, le débit d'air à mettre en œuvre est :

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

avec $K = 5$,

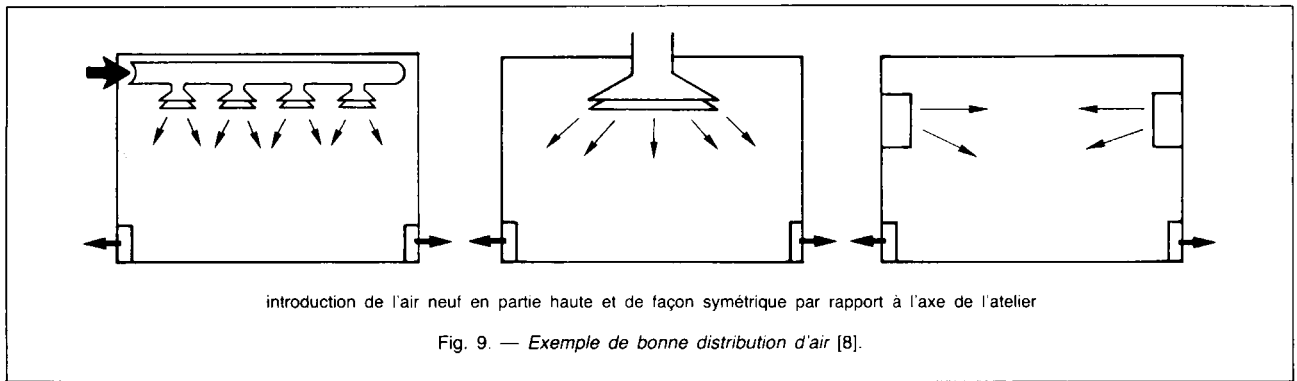
$$Q_v = 50\,000 \text{ m}^3/h.$$

3.3. L'introduction de l'air neuf.

La répartition.

L'introduction mécanique d'air neuf permet de contrôler :

- le débit d'air introduit ;
- ses caractéristiques (température, hygrométrie) ;
- sa répartition dans le local (en permettant d'éliminer les zones de fluides morts, les courants d'air, les écoulements privilégiés) ;
- la dilution des polluants.



L'implantation des dispositifs d'air neuf doit généralement assurer un écoulement régulier de l'air des zones propres vers les zones polluées puis vers le dispositif d'extraction (fig. 9).

En raison de l'importance des débits mis en jeu, il est souvent nécessaire de disposer d'introductions d'air réparties en différents points de l'atelier.

Le chauffage.

Le maintien d'une température suffisante doit être assuré non seulement pour garantir les conditions normales de confort nécessaires au personnel, mais aussi pour permettre la polymérisation. Cette tempé-

rature minimale généralement adoptée est au voisinage de 17 °C, mais elle dépend de la nature de la résine et du système catalytique. Il faut donc réchauffer l'air neuf introduit si cela est nécessaire, mais sans modifier les autres caractéristiques de la ventilation ; en particulier, **il ne faut pas diminuer le débit de l'air neuf dans le but de maintenir la température**. Dans l'état actuel de la technologie, le recyclage partiel de l'atmosphère du local est dans la pratique difficilement réalisable et ne peut être retenu que dans la mesure où il satisfait aux recommandations du présent guide et à celles du guide pratique de ventilation n° 1 « L'assainissement de l'air des locaux de travail ». Étant donné le débit d'air souvent important mis en jeu, il est souhaitable d'envisager la récupération de l'énergie, par exemple au moyen d'échangeurs thermiques.

4. LES ÉLÉMENTS COMPLÉMENTAIRES DE RÉALISATION DE L'INSTALLATION

4.1. Choix des éléments de l'installation.

Le débit d'air étant déterminé, il est possible d'en déduire la puissance des ventilateurs et la dimension des gaines. On précisera le positionnement des différents matériels tels que les ventilateurs, les buses de soufflage, les introductions d'air, les dispositifs de captage, les gaines, de manière à leur donner une efficacité maximale sans encombrer les postes de travail. Le choix du matériel sera effectué en tenant compte des caractéristiques spécifiques de la fabrication dans l'atelier étudié. On évitera, en particulier, les gaines trop fragiles qui risquent de se détériorer rapidement et de compromettre le fonctionnement du système de ventilation.

4.2. Le chauffage.

La régulation de température doit être effectuée sans modifier les performances de la ventilation. Si la récupération d'énergie est envisagée sur les circuits

d'air extrait, le système mis en place ne doit pas perturber l'extraction.

La puissance calorifique nécessaire au chauffage de l'air neuf introduit s'exprime par la relation suivante :

$$P = Q_v \cdot C_p (t_i - t_e)$$

P = puissance calorifique en kW
 Q_v = débit d'air introduit en m³/s
 C_p = chaleur spécifique volumique de l'air
 = 1,2 kJ/m³ · °C
 t_i = température intérieure de l'atelier en °C
 t_e = température extérieure en °C

Exemple de calcul de la puissance calorifique : la température minimale de l'atelier est fixée à 18 °C et la température extérieure peut descendre à - 5 °C. Le débit d'air introduit est 30 m³/s :

$$P = 30 \cdot 1,2 (18 + 5)$$

$$P = 828 \text{ kW}$$

4.3. Le bruit.

On cherchera à réduire le niveau sonore global à 80 dB (A), le spectre sonore étant situé en dessous de la courbe NR 75 (cf. norme française S 30-010), par :

- l'éloignement des sources de bruit ;
- le choix des ventilateurs appropriés ;
- l'élimination des vibrations des tôles dans les cabines et les conduites ;
- l'installation de silencieux dans les gaines.

4.4. Les effluents gazeux.

Il faut veiller particulièrement à ce que les prises d'air neuf ne se trouvent pas à proximité des points de rejets de l'air extrait.

4.5. Exploitation.

Contrôle des performances de l'installation.

Le contrôle de la ventilation doit être effectué à la réception de l'installation de manière à comparer les paramètres caractéristiques relevés avec ceux qui ont servi de base à l'étude. Dans la ventilation par aspiration locale, on effectuera des mesures de vitesse d'air

et de pression statique en différents points. On complètera ces contrôles par des mesures de concentration de styrène.

Les performances trouvées serviront de base de référence pour les vérifications périodiques qui doivent être effectuées ultérieurement. Les points de mesures et les dispositifs de prises de pression seront prévus dès la conception de l'installation.

Il faut également procéder à l'examen régulier des différents éléments de ventilation dans le but de vérifier l'état des ventilateurs et des gaines et de déceler les causes de dysfonctionnement (par exemple l'encrassement des bouches d'extraction)

Le contrôle des installations de ventilation fait l'objet d'un chapitre particulier dans le guide pratique de ventilation n° 0. « Principes généraux de ventilation » [9] et il convient de s'y reporter.

Les modifications.

Les modifications intervenant en cours d'exploitation peuvent concerner l'objet à fabriquer, la qualité des résines utilisées, la configuration de l'atelier. En conséquence, l'installation de ventilation risque de ne plus être adaptée à la nouvelle quantité de styrène émise ou à la forme et aux dimensions des pièces. Si une modification de cette installation est nécessaire, il faudra veiller à ce que l'efficacité soit conservée dans l'ensemble de l'installation.

5. DOSSIERS TECHNIQUES

Ces dossiers correspondent à des réalisations industrielles actuelles. Les solutions techniques adoptées pour la ventilation n'ont pas de valeur exemplaire : le choix du système de ventilation n'est pas nécessairement le meilleur et les caractéristiques de l'installation n'ont pas toujours été optimisées.

Toutes les résines mises en œuvre dans ces ateliers sont des résines standard.

Les mesures chimiques ont été effectuées à partir de prélèvements d'atmosphère à l'aide de préleveurs individuels munis d'un tube à charbon actif. Le débit d'air prélevé est de l'ordre de 0,5 à 0,7 l/min. La durée du prélèvement varie entre 20 minutes et 1 h 30. Le styrène est ensuite désorbé au laboratoire puis dosé par chromatographie en phase gazeuse.

DOSSIER TECHNIQUE N° 1

Fabrication d'accessoires pour motocyclettes et de petites pièces diverses

Ventilation : cabine ouverte

L'installation.

C'est une cabine ouverte classique à rideau d'eau de 2 m de haut et 5 m de large, qui a été modifiée en l'aménageant en deux cabines contiguës :

- l'une destinée au gelcoatage,
- l'autre destinée à la projection simultanée résine polyester-fibre de verre.

La ventilation est assurée par un ventilateur de 18 000 m³/h.

L'introduction d'air dans l'atelier est assurée par deux aérothermes permettant de contrôler le débit et la température de l'air neuf.

La consommation de résine pour une journée de travail de 8 heures est de 200 kg.

Dimensions de l'atelier : 25 × 15 m, hauteur moyenne = 5 m.

Dimensions des cabines :

- gelcoatage, 2,5 × 2 m, hauteur : 2 m ;
- projection, 2,5 × 3,2 m, hauteur : 2 m.

La ventilation.

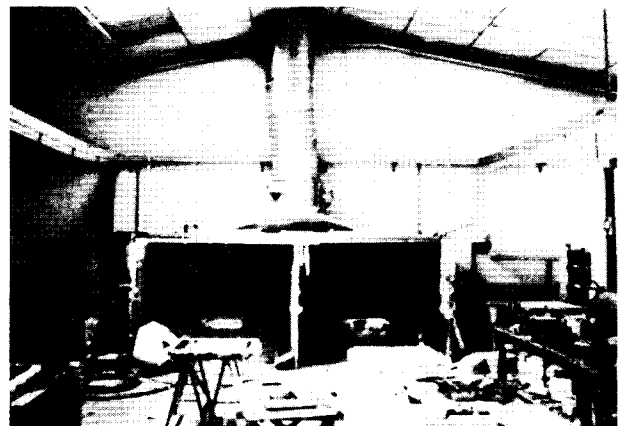
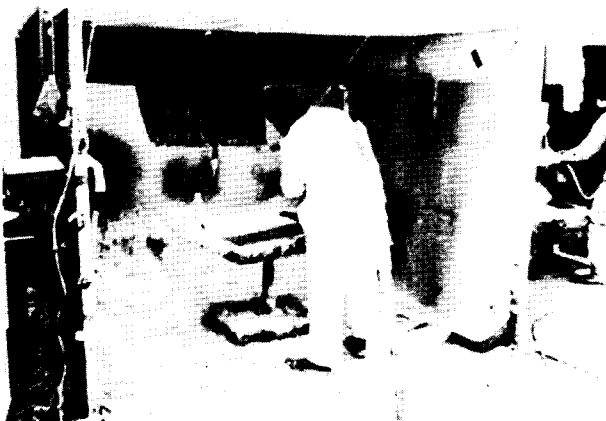
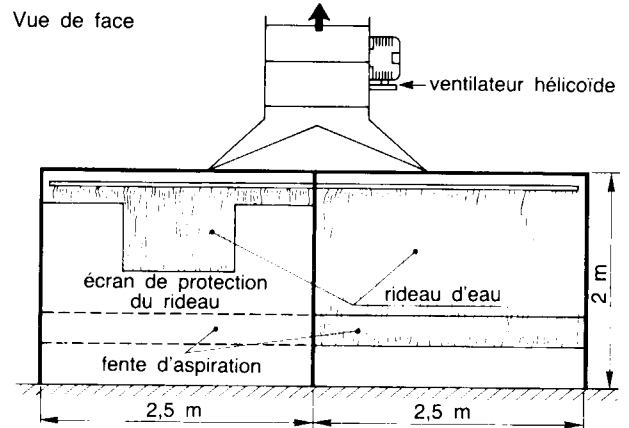
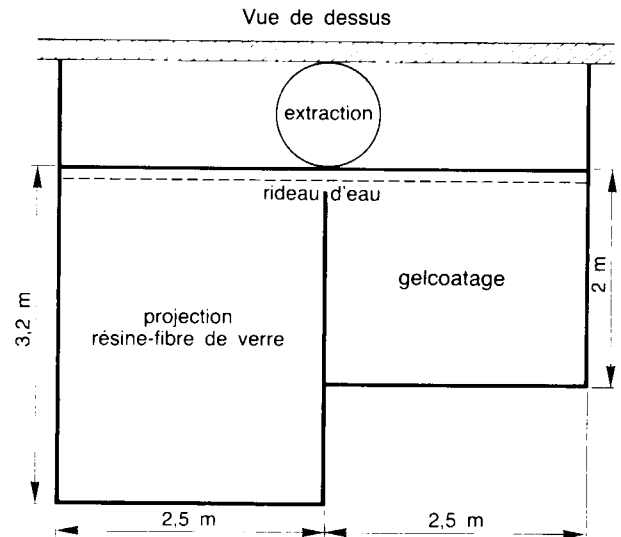
- 1 ventilateur hélicoïde, débit : 18 000 m³/heure.
- Aspiration basse à travers un rideau d'eau.

Résultats.

- Concentration moyenne en styrène :
gelcoat et projection de résine (dans la cabine) : 7,5 p.p.m.
ébullage (à l'extérieur de la cabine) : 5 p.p.m.
- Mesures de ventilation :
Vitesse d'air sur les deux postes, au niveau des voies respiratoires : 0,6 m/s.
Vitesse d'air calculée théorique : 0,5 m/s.
- Bruit :
Mesure au sonomètre au niveau de l'oreille de l'opérateur (sans pulvérisation) : 82 dB(A).

Commentaire.

Installation correcte, compte tenu de la faible consommation de résine et des critères de ventilation. Nécessité néanmoins de nettoyages fréquents.



DOSSIER TECHNIQUE N° 2

Fabrication d'éléments cylindriques Ventilation générale

L'installation.

Cette installation sert à la fabrication d'éléments cylindriques de grand diamètre et de 12 m de longueur en polyester stratifié. Les éléments peuvent être utilisés pour les conduites d'eau ou d'autres fluides et également pour la fabrication de la partie cylindrique d'un réservoir.

L'assainissement de l'air de cet atelier est assuré par une ventilation générale avec introduction et extraction mécanique de l'air.

La technique de fabrication est l'enroulement filamentaire. Le poste de travail est constitué par une passerelle mobile qui se déplace suivant l'axe de la conduite. L'opérateur qui se trouve sur cette passerelle est chargé de contrôler le déroulement. La consommation journalière de résine est de 600 kg.

Dimensions de l'installation :

Largeur : 9 m.
Hauteur entre soufflage et sol : 4,60 m.

Dimensions du cylindre :

Longueur : 12 m.
Diamètre : 2,4 m.
Surface : 90,4 m².

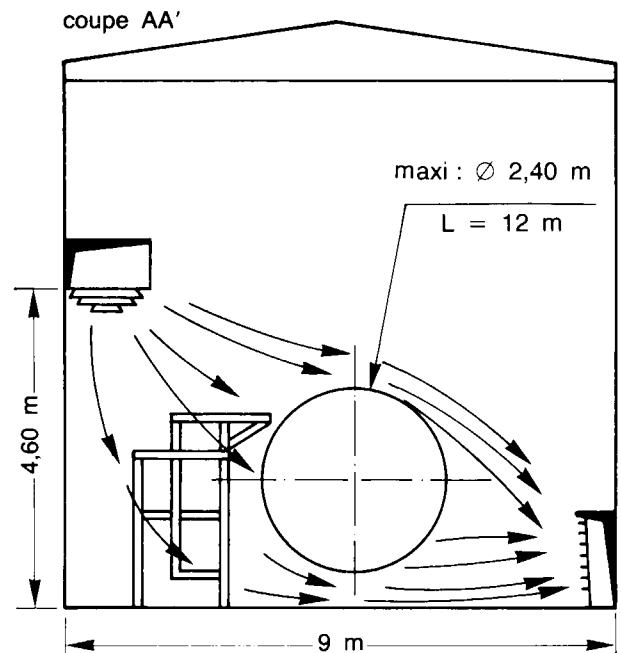
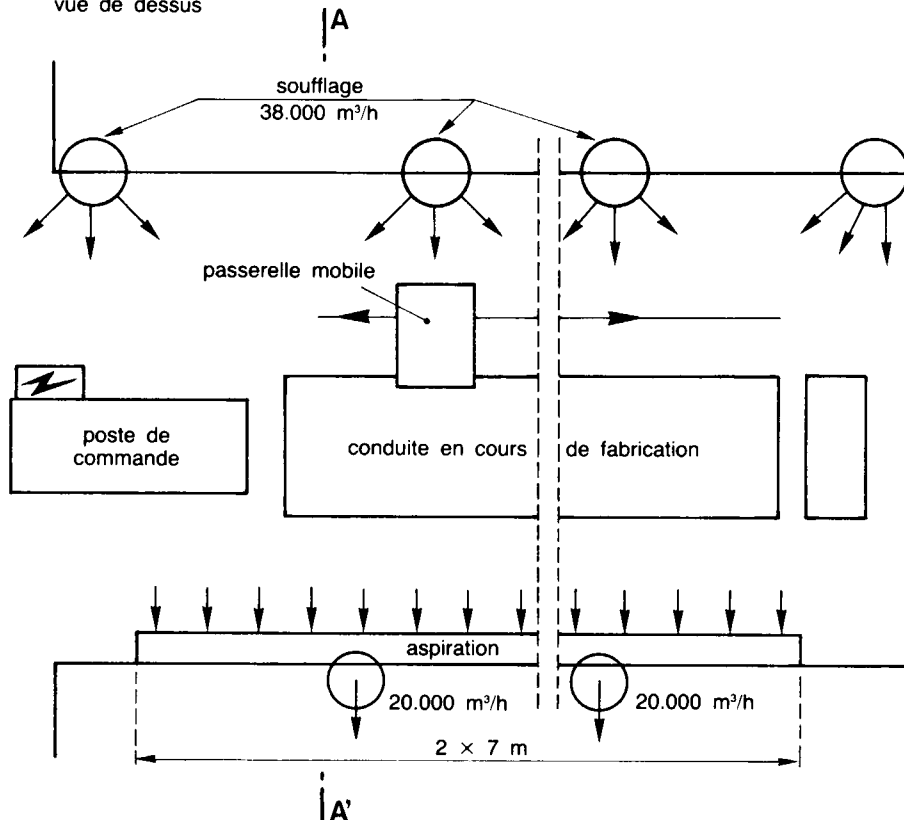


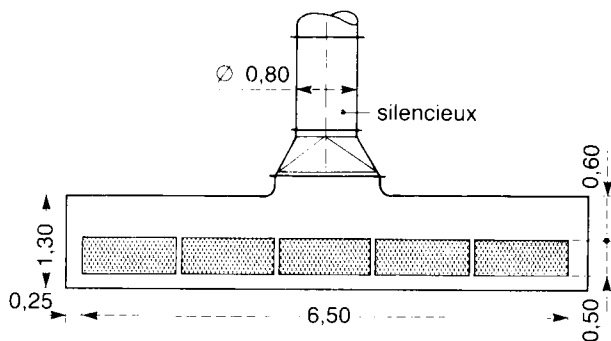
schéma général d'implantation
vue de dessus



La ventilation.

Extraction :

Le système d'extraction comprend 2 caissons situés au ras du sol à l'opposé du soufflage. Chaque caisson mesure 1,3 m x 7 m et comporte une ouverture de 0,5 x 6,5 = 3,25 m². Chacun d'eux est relié par l'intermédiaire d'une gaine de 0,8 m de diamètre à un extracteur d'un débit de 20 000 m³/h.



La vitesse d'air théorique au niveau de l'ouverture d'un caisson est de 1,7 m/s.

L'ouverture des caissons est garnie d'une grille.

Remarque : chaque gaine d'extraction est munie d'un silencieux.

Introduction :

Le système d'introduction d'air comporte un ventilateur de 38 000 m³/h répartissant l'air dans une gaine

située à 4,6 m du sol à l'opposé du caisson d'extraction. L'air est introduit dans le local par 5 diffuseurs répartis sur cette gaine.

Résultats.

- Concentration de styrène en p.p.m.

	Application de gelcoat	Enroulement de la fibre de verre
Poste de travail :		
conduite de la machine sur passerelle	22	9
ambiance générale de l'atelier	12	50
		2

- Mesures de ventilation :
 Vitesse d'air à la grille d'aspiration = 1,6 à 2,10 m/s.
 Vitesse d'air au cours de la fabrication :
 à 1,6 m du sol : 0,4 à 0,7 m/s,
 à 0,5 m du sol : 0,8 à 1,2 m/s.

Commentaire.

L'opérateur doit se trouver sur la passerelle de façon à être placé constamment sur le passage de l'air neuf, avant la source de pollution.



DOSSIER TECHNIQUE N° 3

Fabrication de bateaux

Ventilation générale avec soufflage complémentaire

L'installation.

Dans un atelier de moulage de 26 000 m³, une cinquantaine de personnes fabriquent en série les coques et ponts pour divers types de bateaux. Après vérification de l'état de surface et application d'une cire de démoulage, le moule est dirigé vers une cabine afin de recevoir une couche de « gelcoat » par pulvérisation. La résine et la fibre de verre sont ensuite déposées par couches successives. Les pièces dé-moulées sont envoyées aux ateliers de fabrication.

Les opérations de gelcoatage et d'ébarbage sont réalisées dans des cabines ventilées implantées à chaque extrémité du bâtiment, les isolant ainsi du reste de l'atelier. Par contre, la stratification n'a pas lieu dans une cabine spécifique mais à différents postes répartis dans l'atelier.

La ventilation.

L'installation de ventilation est du type ventilation générale avec extraction et introduction mécanique de l'air.

Elle se compose de :

- 22 ventilateurs d'extraction de 4 500 m³/h chacun (théorique), soit 99 000 m³/h, implantés autour du bâtiment à environ 1 m du sol;
- 12 tourelles d'introduction d'air (ou de recyclage) de 9 000 m³/h chaque (théorique), soit 108 000 m³/h, implantées en toiture; en été, ces tourelles permettent d'introduire de l'air neuf et en hiver de réchauffer l'air, soit pris à l'extérieur lorsque la température extérieure n'est pas trop basse, soit pris à l'intérieur de l'atelier (recyclage à 100 %) lorsque la température extérieure est jugée trop basse (économie d'énergie);
- 180 buses de soufflage alimentées par de l'air pris dans l'atelier sous la toiture et redistribué par deux réseaux de gaines. Le débit d'air mis en jeu par chaque réseau est de 8 500 m³/h (théorique), soit un débit moyen par buse d'environ 90 à 100 m³/h.

Il faut noter que l'installation de ventilation générale est symétrique par rapport à l'allée centrale de l'atelier.

Résultats.

- Concentration en styrène (p.p.m.).

	Configuration 1 ventilation arrêtée	Configuration 2 ventilation en marche (introduction + extraction + soufflage)	Configuration 3 ventilation en marche mais sans soufflage
Postes de travail :			
Opérateur 1	226	46	217
2	162	51	115
3	173	50	168
4	141	31	191
Témoin 8	37	13	8
Ambiance :			
Point de mesure... 1	94	17	28
2	233	37	86
3	132	81	59

Commentaire.

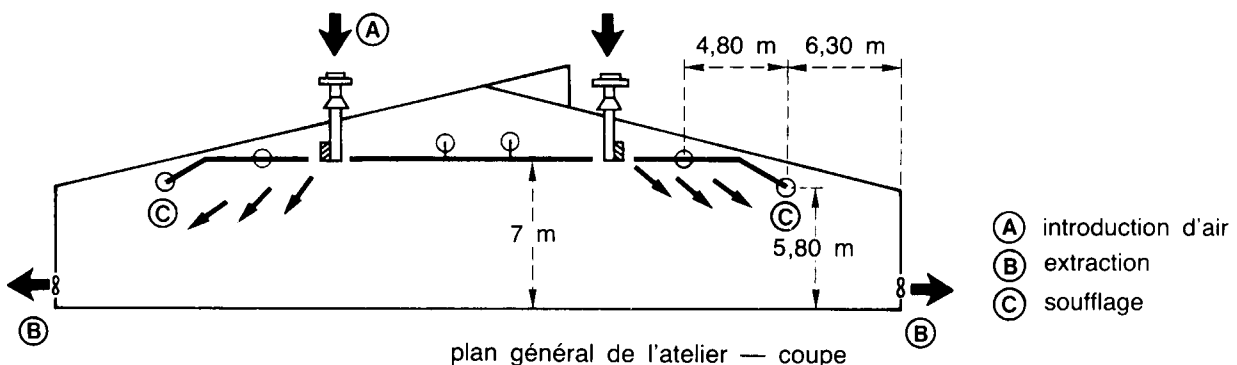
1° En l'absence totale de ventilation, la concentration de styrène dans l'air est très élevée (configuration 1).

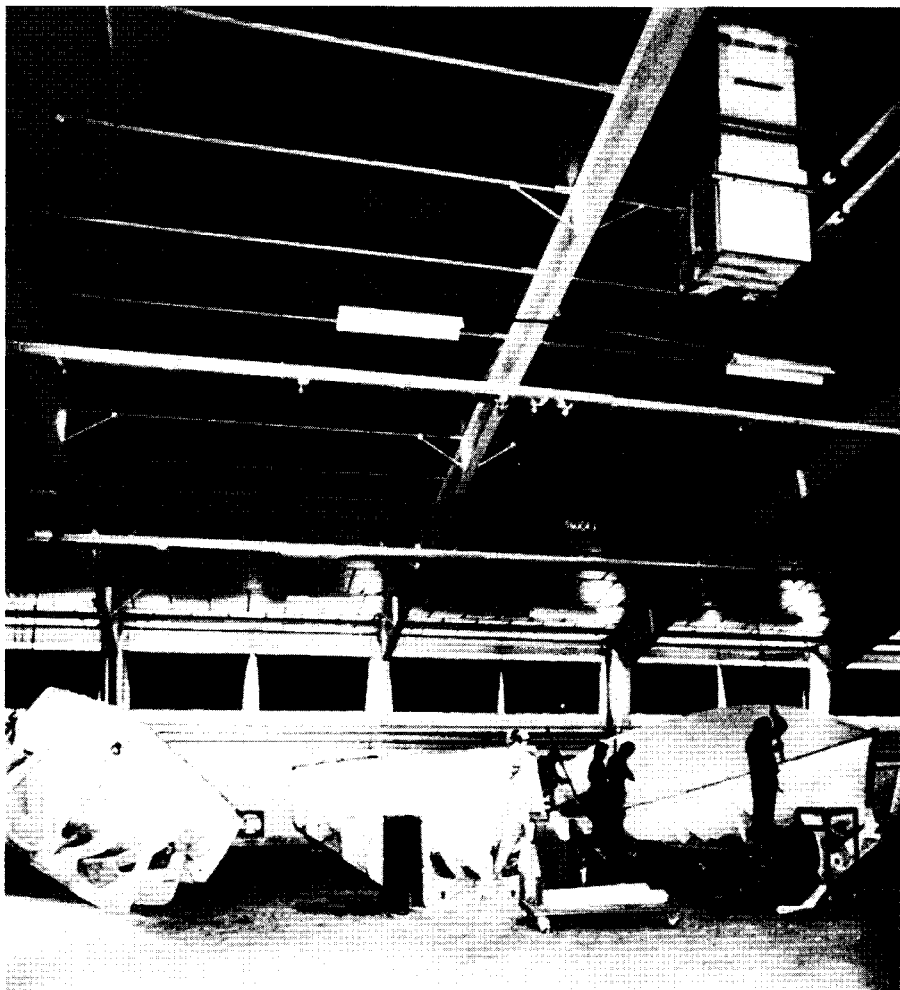
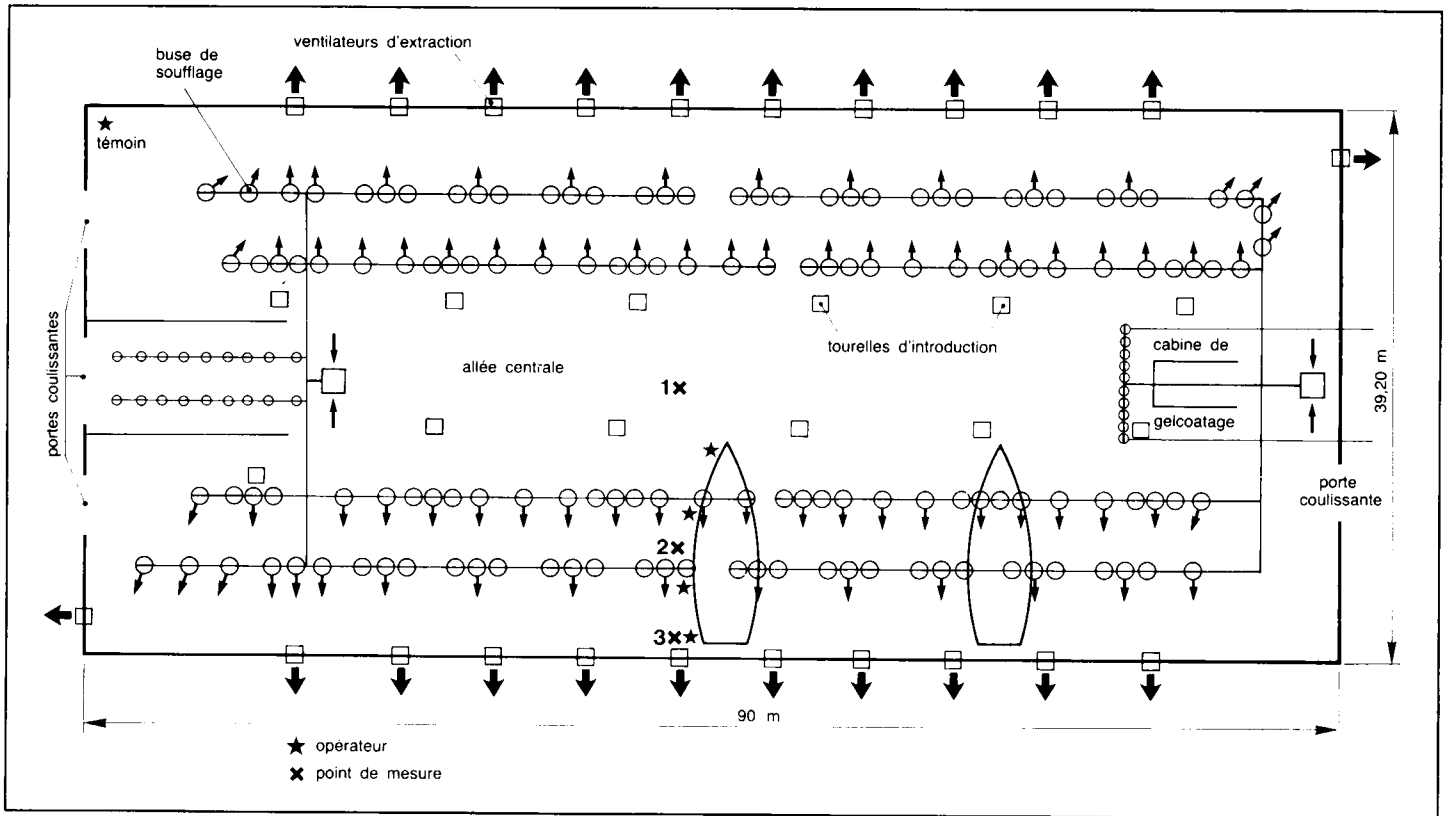
2° L'extraction et l'introduction d'air neuf seuls ne suffisent pas à assainir l'atmosphère (configuration 3). A plus forte raison, si au lieu d'introduire de l'air neuf on recycle l'air prélevé dans l'atelier, les niveaux de pollution deviennent importants.

3° Le système complet comprenant l'introduction d'air neuf, l'extraction et le soufflage complémentaire permet d'obtenir une concentration de styrène dans l'air inférieure à 50 p.p.m. (configuration 2).

Cette installation permet de maintenir généralement la concentration de styrène dans l'air en dessous de 50 p.p.m. **à condition qu'elle fonctionne avec introduction d'air neuf et non en recyclage, et avec le dispositif de soufflage.**

L'implantation des introductions et des extractions d'air, ainsi que le soufflage, de façon symétrique par rapport aux axes de l'atelier, est l'une des raisons du bon fonctionnement de l'installation.





DOSSIER TECHNIQUE N° 4

Fabrication de bateaux de plaisance Ventilation : cabine ouverte

L'installation.

La cabine sert au gelcoatage et à la projection simultanée de résine et de fibres de verre pour la fabrication de coques de bateaux. L'extraction est assurée par un ventilateur de 20 000 m³/h.

Dimensions de l'installation :

Largeur : 4,8 m.
Longueur : 6 m.
Hauteur : 4 m.
Volume d'air traité : 115,2 m³.

Dimensions de la pièce en fabrication :

longueur = 6,72 m.

La ventilation.

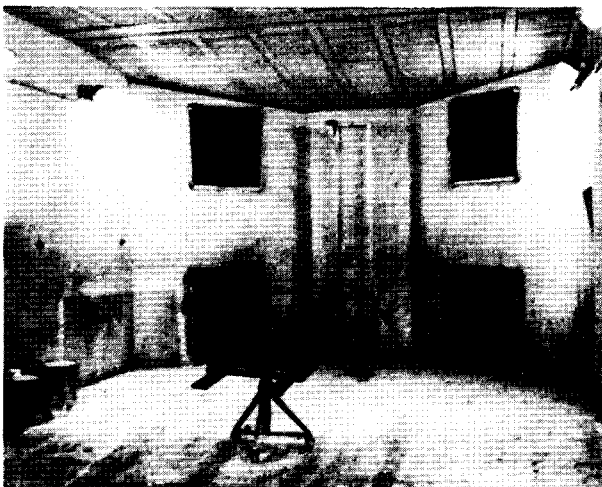
- 1 extracteur de type hélicoïde, débit 20 000 m³/h;
- 4 grilles d'extraction, dimensions 1 × 1 m, surface totale 4 m².

Résultats.

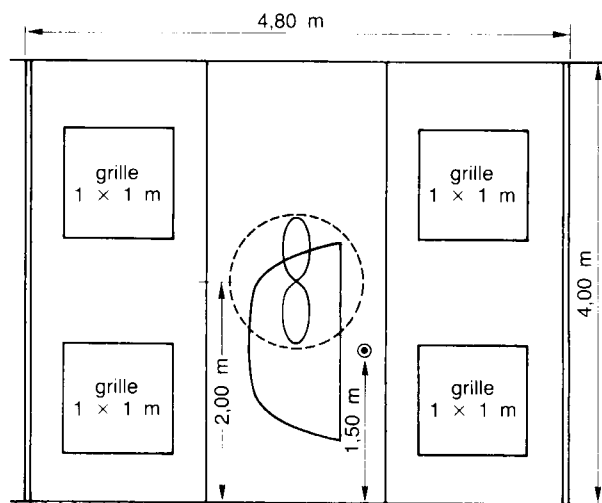
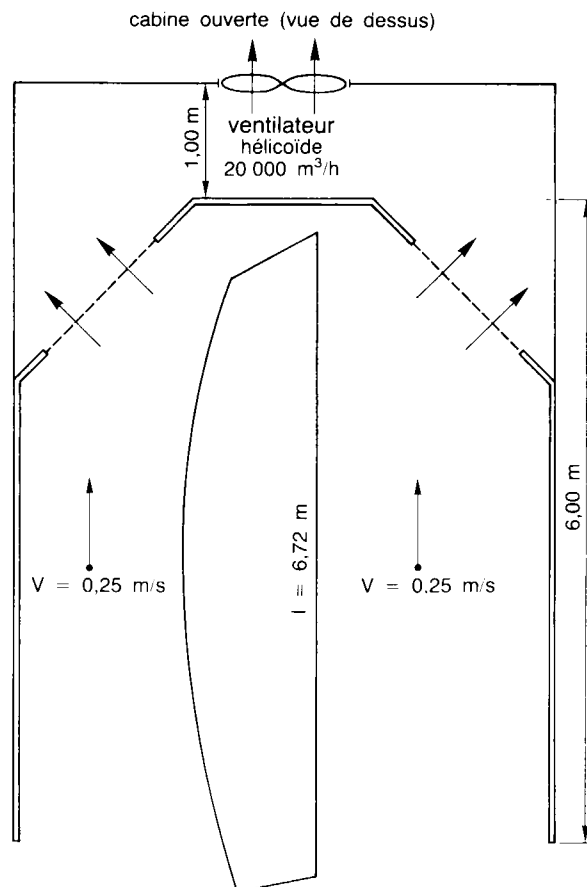
- Concentration de styrène (p.p.m.)
1° pendant la projection et l'ébullage : 75;
2° pendant l'ébullage sans projection : 80.
- Mesures de ventilation :
Vitesse d'air à la grille d'aspiration (calculée) : 1,4 m/s
Vitesse d'air à l'entrée de la cabine (calculée) : 0,28 m/s
Vitesse d'air mesurée aux postes de travail : 0,25 m/s au niveau des voies respiratoires.

Commentaire.

Les résultats médiocres de cette installation peuvent être attribués à une vitesse d'air faible. Pour que cette cabine soit utilisable, il convient d'augmenter la vitesse de façon à obtenir au moins 0,5 m/s afin de ramener la concentration de styrène en dessous de 50 p.p.m.



Cette installation impose un nettoyage fréquent des grilles d'aspiration pour éviter le colmatage.



vue de face

⊙ point de prélèvement

DOSSIER TECHNIQUE N° 5

Fabrication d'accessoires pour bateaux

Catégorie : petites pièces
Ventilation : cabine ouverte

L'installation.

Cette cabine ouverte, située dans un vaste atelier servant à l'aménagement des coques et de ponts de bateaux, est utilisée pour la stratification de petites pièces qui compléteront l'équipement de ces bateaux.

L'application de résine et de fibres est faite par projection simultanée. L'objet est placé sur une table pivotante située à 1,5 m du filtre, ce qui permet à l'opérateur de se trouver constamment dans le flux d'air neuf.

Dimensions de la cabine : longueur = 3,60 m, largeur = 3,00 m, hauteur = 2,50 m

La ventilation.

Ventilateur hélicoïde, débit 13 000 m³/h, diamètre 0,70 m.

Un filtre papier à chicane est disposé sur toute la largeur de la cabine au niveau de l'extraction.

La vitesse moyenne théorique de l'air à l'entrée de la cabine est de 0,48 m/s.

Résultats.

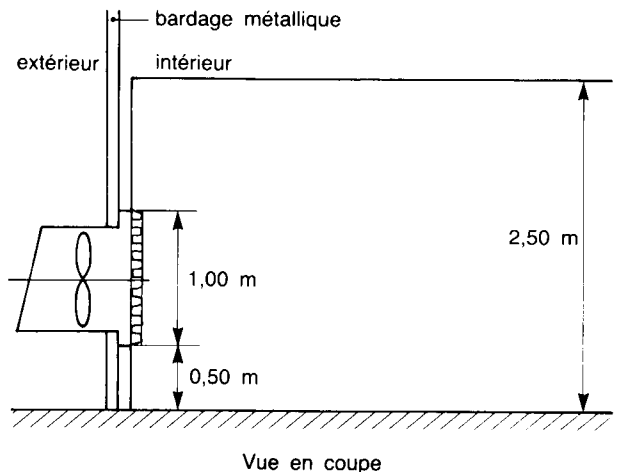
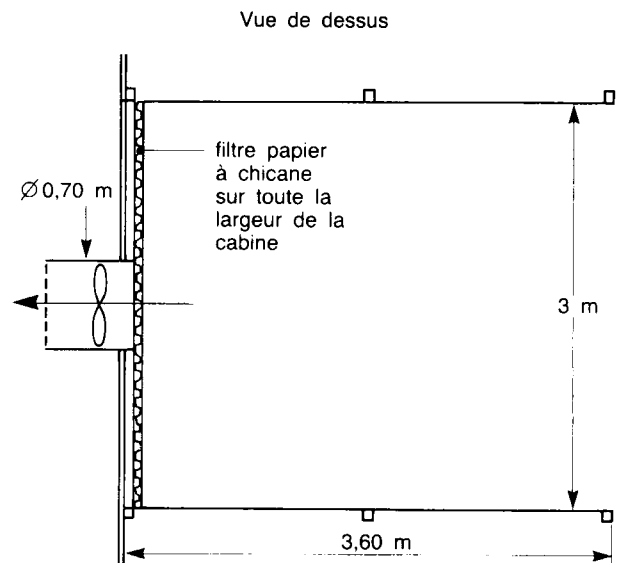
- Concentration en styrène :
- pulvérisation : 42,5 p.p.m.
- ébullage : 10 p.p.m.

Commentaire.

La vitesse d'air théorique correspond à la limite de la vitesse souhaitée. Pour assurer le bon fonctionnement de cette cabine, il est nécessaire de changer les filtres en papier très fréquemment. Un autre média filtrant à mailles serait probablement mieux adapté. Le colmatage des filtres doit être vérifié à chaque mise en route par la mesure de la pression différentielle en aval et en amont des filtres.

Cette cabine ne comporte pas de caisson entre les filtres et le ventilateur. Cette absence de caisson nuit considérablement à :

- la répartition des vitesses d'air dans la cabine ;
- la durée de vie du filtre dont le colmatage rapide provient du fait qu'il n'est utilisé que sur une faible partie de sa surface.



DOSSIER TECHNIQUE N° 6

Fabrication de piscines

Catégorie : objets plans de grandes dimensions Ventilation générale

La stratification s'effectue à l'extérieur d'un moule, sur chacune des faces successivement. La fabrication est assimilable à celle d'un ensemble d'objets plans dont l'un est horizontal et les quatre autres verticaux.

L'installation.

Dimensions de l'atelier : longueur = 22,5 m, largeur = 20 m, hauteur = 7 m, volume = 1 125 m³.

Dimensions des moules :

- moule n° 1 : 10,5 × 4,5 m, hauteur 2 à 3 m,
- moule n° 2 : 6 × 6 m, hauteur 2 à 3 m.

La ventilation.

L'air de l'atelier est extrait par six bouches d'aspiration réparties dans l'atelier, situées au sol et reliées entre elles par un réseau de canalisations en sous-sol en direction d'un ventilateur.

La dimension des bouches d'extraction au sol est de 0,50 × 0,20 m soit 0,10 m². Le ventilateur débite 22 000 m³/h. La vitesse de l'air dans les bouches est de 10 m/s.

L'introduction naturelle d'air neuf s'effectue à travers des ouvertures situées au plafond. Le réchauffage de l'air neuf n'est pas prévu en raison des conditions climatiques favorables.

Résultats.

Concentration en styrène :
Poste de travail sur moule n° 1.
Projection sur les parois verticales : 22,5 p.p.m.
Ébullage : 28 p.p.m.

Pour huit heures de travail, la consommation horaire de résine est de 25 kg/h. L'émission moyenne de styrène est donc de 1,25 kg/h. D'après la formule du § 5.1.2.,

$$Q_v = k \cdot \frac{10^6 \cdot Q_p}{VL}$$

$$\text{D'où } k = \frac{Q_v}{10^6 \cdot Q_p} \cdot VL$$

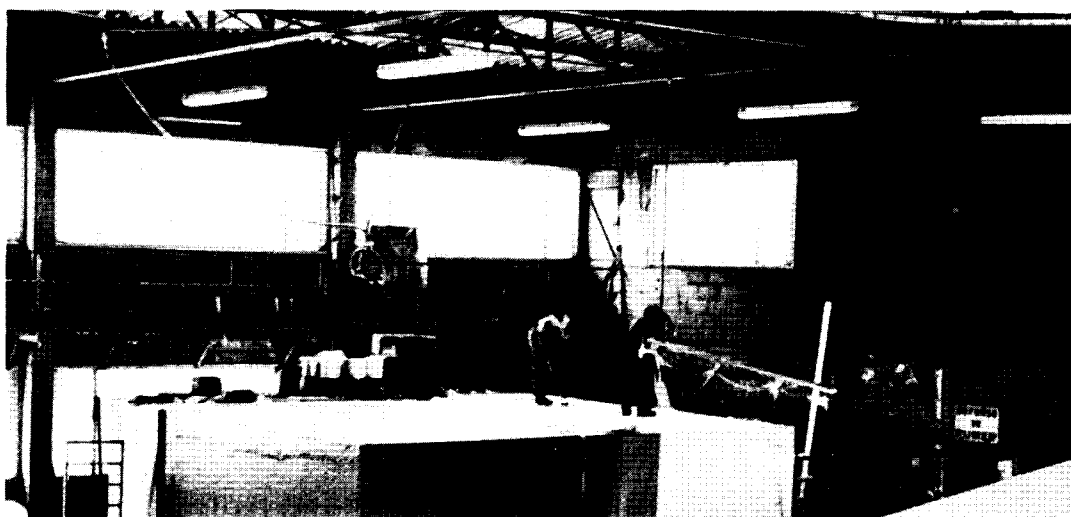
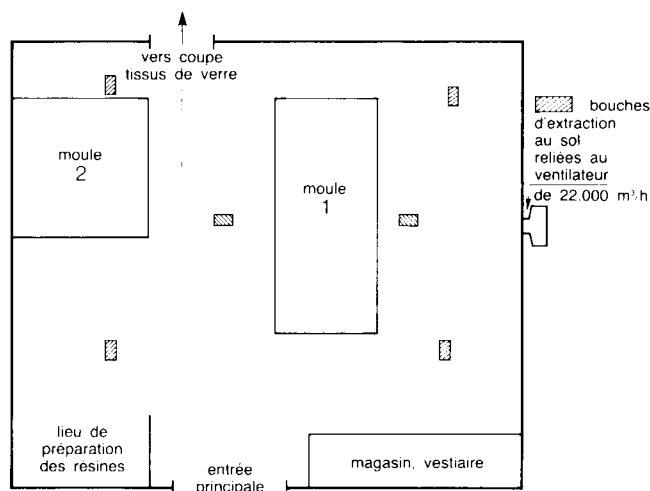
$$Q_v = 22\,000 \text{ m}^3/\text{h}; VL = 215 \text{ mg}/\text{m}^3; Q_p = 1,25 \text{ kg}/\text{h}$$

$$k = \frac{22\,000}{10^6 \cdot 1,25} \cdot 215 \approx 4$$

Dans cet exemple, le coefficient k est égal à 4.

Commentaire.

Bien que, d'après le tableau II du présent guide, la ventilation générale normale soit exclue pour les objets plans de grandes dimensions, ce type de ventilation peut se justifier par les conditions particulières de mise en œuvre caractérisées par la faible consommation journalière de résine (200 kg le jour du prélèvement) et les vastes dimensions de l'atelier.



DOSSIER TECHNIQUE N° 7

Éléments de mobilier urbain

Catégorie : pièces planes de grandes dimensions

L'installation.

Le poste de travail est constitué d'un moule de grande longueur mobile (montée sur roulettes) et placé sous un dispositif de ventilation suspendu. Celui-ci est constitué d'une part d'un caisson d'extraction descendant au plus proche de la pièce et d'autre part de deux caissons de soufflage situés de chaque côté du caisson d'extraction. Ces dispositifs de soufflage vertical descendant véhiculent à faible vitesse de l'air neuf réchauffé l'hiver. Ils permettent de minimiser le débit d'extraction en rabattant les filets d'air vers le bas, c'est-à-dire vers la pièce.

A ce poste de travail, plusieurs opérateurs réalisent par moulage au contact des pièces presque planes de dimensions 4,20 × 2 m environ. Il est possible d'une part de tourner tout autour de la pièce, d'autre part d'introduire facilement par une extrémité les moules et de les évacuer en sens inverse vers l'étuve de polymérisation voisine.

Des luminaires intégrés apportent l'éclairage nécessaire à l'exécution de ce travail.

La ventilation.

- Une extraction, débit 15 000 m³/h.
- Deux ventilateurs de soufflage de 7 500 m³/h chacun.

Le débit global soufflé étant approximativement équivalent au débit extrait, chaque dispositif est indépendant de la ventilation générale et sans influence sur celle-ci.

Résultats.

C : Concentrations moyennes près des voies respiratoires des opérateurs.

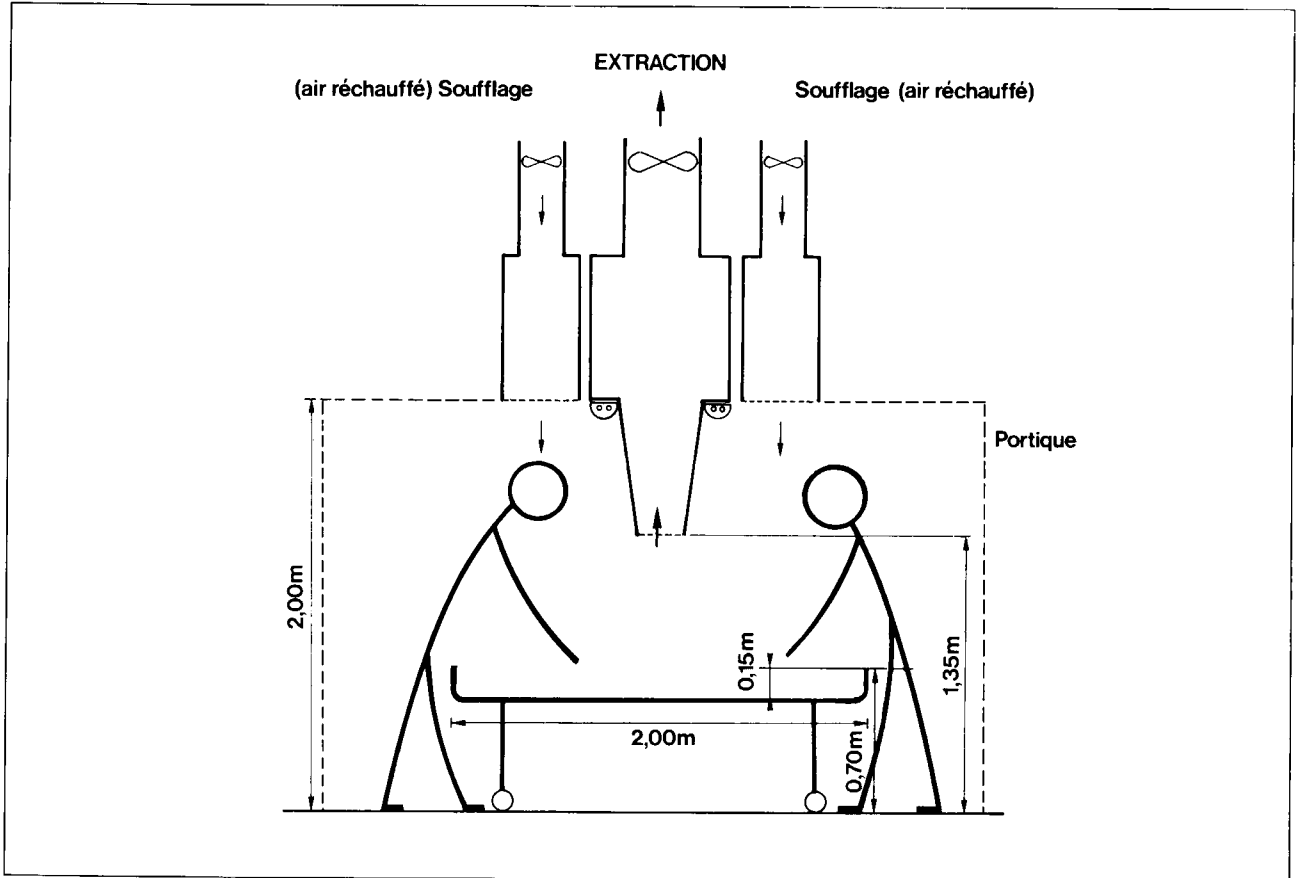
V : Vitesse horizontale de l'air au niveau de la tête des opérateurs.

	Styrène C (ppm)	V (m/s)
Postes non équipés . .	234	
Postes équipés	16	0,30 à 0,60

Commentaires.

Les essais réalisés pour la mise au point de cette installation ont montré qu'il existe un seuil d'efficacité correspondant à une vitesse d'air horizontale minimale de 0,30 m/s aux points les plus défavorisés, à la verticale des bords de la pièce. Les débits mis en œuvre doivent être suffisants pour maintenir les vitesses d'air au-dessus de ce seuil afin d'assurer la salubrité du poste de travail.

Les caractéristiques aérauliques de cette installation sont adaptées aux dimensions du moule. Toute modification de ces dimensions impose la réévaluation des dispositifs de ventilation.



BIBLIOGRAPHIE

- [1] Recueil des fiches toxicologiques. Édition INRS ED 613, 1988 (à paraître).
- [2] Mise en œuvre des polyesters stratifiés. *Cahiers de notes documentaires*, 1981, 102, ND 1305.
- [3] Circulaire ministérielle du 19 juillet 1982, publiée dans *Travail et Sécurité*, octobre 1982.
- [4] KIRK-OTHMER. — Encyclopedia of chemical technology. John Wiley and Sons, New York, 1969, vol. 20, pp. 791-839.
- [5] ROSSAVAINEN A. — Styrene use and occupational exposure in the plastics industry. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, vol. 4, supplément 2, pp. 7-13, 1978.
- [6] KALLIOKOSKI P. — Industries des plastiques renforcés. Problèmes posés par le milieu du travail (en finnois). *Vantaa* (Finlande), 1975, 130 p. Trad. INRS du chap. 5 : modèle mathématique de la concentration du styrène dans l'air.
- [7] Industrial Ventilation, a Manual of Recommended Practice. Lansing (Michigan), American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1980.
- [8] CRANDALL M.S. — Extent of exposure to styrene in the reinforced plastic boat making industry. Cincinnati, NIOSH, mars 1982, 79 p.
- [9] Guide pratique de ventilation n° 0. Principes généraux de ventilation. Édition INRS ED 695, 1987.
- [10] HAGOPIAN J.H., BASTRESS E.K. — Recommended industrial ventilation guidelines. Cincinnati (Ohio), DHEW publication n° (NIOSH) 76-162, 1976.
- [11] Risques toxicologiques liés à l'exposition industrielle au styrène. *Cahiers de notes documentaires*, 1986, 125, ND 1604.

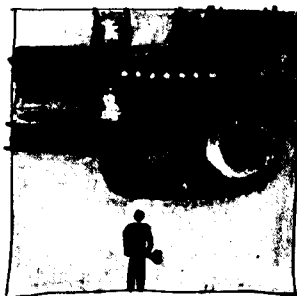
Guide for ventilation practice

3 : Manual fabricating processes in laminated polyester workshops

A document drawn up by a working group comprising specialists from Social Security risk prevention departments and the INRS in collaboration with the relevant trade associations. It is intended to serve as a guide and reference work for those engaged in the design and monitoring of ventilation systems in laminated polyester workshops.

Contents :

- Hazard involved and aim of the study ;*
 - Technological process and raw materials used ;*
 - Designing the ventilation system (choice of configuration and dimensions) ;*
 - Methodology of ventilation system study ;*
 - Data for designing and monitoring the system (calculation of air flow, selection of components, heating, etc.).*
- « Technical files », based on real industrial situations, are provided as examples.*
-



Guides pratiques de ventilation

0. Principes généraux	ED 695
1. Assainissement de l'air	ED 657
2. Traitement de surface	ED 651
3. Polyesters stratifiés	ED 665
4. Décochage en fonderie	ED 662
5. Encollage de petits objets (chaussures)	ED 672
6. Brouillards d'huiles entières	ED 680
7. Soudage à l'arc	ED 668
8. Espaces confinés	ED 703
9.1. Cabines d'application par pulvérisation...	ED 839
10. Peinture des matériels de grandes dimensions	ED 713
11. Sérigraphie	ED 711
12. Deuxième transformation du bois	ED 750
13. Fabrication des accumulateurs au plomb	ED 746
14. Décapage, dessablage... au jet libre en cabine	ED 768
15. Réparation des radiateurs automobiles	ED 752
16. Prothèses dentaires	ED 760
17. Matériaux pulvérulents	ED 767
18. Sorbonnes de laboratoire	ED 795
19. Dépollution des eaux résiduaires	ED 820

