

**Critères de performance
des cabines de peinture
munies de ventilation
verticale**

**ETUDES ET
RECHERCHES**

Nicole Goyer

Mai 1993

R-068

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 présentés 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) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

**Critères de performance
des cabines de peinture
munies de ventilation
verticale**

Nicole Goyer
Programme soutien analytique, IRSST

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

RAPPORT

Remerciements

Cette étude n'aurait pu être réalisée sans la collaboration de plusieurs intervenants.

Je tiens à remercier les propriétaires, les gérants de carrosserie et les peintres qui nous ont ouvert leur porte et qui ont collaboré de façon si efficace.

Je tiens à remercier l'Association sectorielle paritaire - Services automobiles et particulièrement Monsieur Jean-Yves Vincent pour leur intérêt dans le dossier et leur aide au démarrage du projet.

Équipe de recherche

La collaboration de plusieurs personnes à l'IRSST a été essentielle à la réalisation de ce projet.

L'équipe d'intervention sur le terrain était composée de messieurs Yves Beudet, Claude Létourneau et Rodrigue Gravel et madame Brigitte Roberge du Programme Soutien analytique.

Les analyses en laboratoire ont été faites par mesdames Lucile Richard, Lucie Locas, Lucie Renée sous la responsabilité de monsieur Jacques Lesage, du Programme Hygiène et toxicologie.

Madame Esther Cloutier a apporté son aide au niveau du traitement statistique des résultats.

Le document a été révisé et commenté par messieurs Louis Lazure et Jacques Lesage.

Je remercie tous ces participants pour leur compétence et leur efficacité.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	i
Équipe de recherche	i
Résumé	iv
1. Introduction	1
2. Méthodologie	1
2.1 Choix des cabines	1
2.2 Choix des caractéristiques étudiées	2
3. Résultats	3
3.1 Configuration des cabines	3
3.2 Mesures de ventilation	10
3.2.1 Alimentation - Évacuation	10
3.2.2 Cabine	12
3.2.3 Zone respiratoire	15
3.3 Mesures d'isocyanates	16
3.3.1 Composition des peintures	16
3.3.2 Répartition dans la cabine	18
3.3.3 Concentrations en zone respiratoire	20
3.3.4 Temps de séjour	20
4. Étude des paramètres	23
4.1 Paramètres influençant les concentrations de polluants	23
4.2 Paramètres de configuration influençant la ventilation	27
5. Conclusions	29
Références bibliographiques	31
Annexe 1 : Variations de vitesses dans les cabines	33

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Cabine de peinture à ventilation verticale	5
Figure 2 :	Configurations d'évacuation	8
Figure 3 :	Plans d'une cabine de peinture	13
Figure 4 :	Variations de vitesses dans les cabines	14
Figure 5 :	Concentrations d'isocyanates monomères en zone respiratoire.	21
Figure 6 :	Concentrations d'isocyanates oligomères en zone respiratoire.	22

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Dimensions des cabines	6
Tableau 2 :	Dimensions des systèmes d'alimentation	7
Tableau 3 :	Dimensions des systèmes d'évacuation	9
Tableau 4 :	Débits de ventilation	10
Tableau 5 :	Vitesses aux filtres d'alimentation et d'évacuation	11
Tableau 6 :	Vitesses moyennes dans les cabines	12
Tableau 7 :	Vitesses en zone respiratoire du peintre	15
Tableau 8 :	Composition des peintures	16
Tableau 9 :	Facteurs de pondération pour les peintures utilisées	17
Tableau 10 :	Concentrations d'hexaméthylène diisocyanate monomère en air ambiant	18
Tableau 11 :	Concentrations d'hexaméthylène diisocyanate oligomère en air ambiant	19
Tableau 12 :	Coefficients de corrélation : concentrations et paramètres de ventilation - Ensemble des cabines	23
Tableau 13 :	Coefficients de corrélation : concentrations et paramètres de ventilation - Cabines à faible turbulence	24
Tableau 14 :	Coefficients de corrélation : concentrations et paramètres de ventilation - Cabines à forte turbulence	25
Tableau 15 :	Coefficients de corrélation : concentrations de monomères et ventilation d'évacuation	26
Tableau 16 :	Coefficients de corrélation : turbulence à l'entrée des filtres et caractéristiques de l'alimentation.	27

Résumé

L'utilisation d'un système à ventilation verticale a déjà été reconnue comme solution efficace de contrôle de l'exposition des travailleurs dans des cabines à peinture fermées. Cependant, une première étude réalisée à l'IRSST a démontré que l'efficacité de cette ventilation était variable. La présente étude vise donc à étudier la performance de la ventilation verticale dans les cabines à peinture en identifiant les paramètres qui influencent les concentrations de polluants présents dans l'atmosphère de travail lors des applications de peinture et à proposer des critères de fonctionnement et d'aménagement des cabines qui assureront une protection adéquate des travailleurs.

Une étude terrain a été menée dans quinze ateliers de réparation de carrosserie automobile possédant des cabines munies de ventilation verticale. Cinq ensembles de caractéristiques ont été étudiés soit la configuration de la cabine, les paramètres de ventilation, les paramètres d'application de la peinture, les conditions environnementales et la mesure de la pollution.

Les concentrations d'isocyanates mesurées dans ces 15 cabines ont montré que l'exposition des travailleurs à ces contaminants pouvait être importante pendant la période d'application de la peinture. Les concentrations d'isocyanates monomériques en zone respiratoire ont varié entre $< 0,001$ et $0,057 \text{ mg/m}^3$ et celles d'oligomères étaient beaucoup plus élevées allant jusqu'à $2,55 \text{ mg/m}^3$, démontrant de nouveau la variation dans l'efficacité de la ventilation verticale à les éliminer. Afin de déterminer les paramètres qui influencent cette performance, une première série de corrélations a été faite entre les concentrations retrouvées d'isocyanates et les mesures de ventilation. Ces paramètres déterminants ont ensuite été mis en relation avec les facteurs de configuration des cabines.

Les études de corrélation ont montré que, pour les isocyanates oligomériques donc pour les polluants sous forme d'aérosols, le nombre de changements d'air par minute est le paramètre de ventilation le plus pertinent pour qualifier la ventilation globale et qu'au niveau des paramètres spécifiques, la vitesse d'air et la turbulence sont les paramètres influents. Pour les isocyanates monomériques donc pour les polluants sous forme gazeuse, la ventilation d'extraction et notamment la turbulence est le paramètre à considérer. Ces données tendent à démontrer que la performance d'une cabine est reliée à la verticalité du flux d'air et que les critères les plus représentatifs de la ventilation sont la vitesse, sa direction et l'homogénéité de sa répartition.

Pour favoriser au maximum la verticalité du flux d'air et l'efficacité de la ventilation, les valeurs suivantes sont proposées : turbulence $< 20 \%$; vitesse dans la cabine : $0,30 \text{ m/sec}$ et vitesse en zone respiratoire : $0,35 \text{ m/sec}$.

Parmi les moyens permettant d'atteindre les valeurs proposées, se retrouvent les modifications de différents éléments de configuration de la cabine tels qu'une augmentation de la surface filtrante au niveau de l'entrée d'air, la localisation au centre de la jonction entre la gaine d'entrée d'air et le plénum et l'augmentation de ses dimensions, l'utilisation de grilles

parallèles au niveau de la sortie d'air, celles-ci étant dimensionnées et localisées de telle façon qu'elles dépassent de chaque côté du véhicule et l'augmentation de la profondeur de la fosse d'évacuation. D'autres recommandations concernant les techniques de travail et l'entretien de la cabine ont été ressorties : l'utilisation d'une peinture contenant le moins possible d'isocyanates, la localisation adéquate du véhicule à peindre par rapport aux grilles d'extraction, le remplacement régulier des filtres d'entrée et les filtres de sortie et l'entretien régulier des composantes des systèmes de ventilation.

L'ensemble de ces recommandations favorisera l'utilisation adéquate et performante d'une cabine de peinture à ventilation verticale tout en assurant au peintre une protection maximale contre les polluants.

1. Introduction

Les activités de peinture de véhicules automobiles s'effectuent habituellement dans des cabines fermées et ventilées. Les peintures et vernis qui y sont appliqués présentent des risques d'intoxication, d'incendie et d'explosion. Ces deux derniers risques sont bien contrôlés par les exigences actuelles de ventilation (1). Cependant cette ventilation n'assure pas automatiquement une protection adéquate pour la santé des travailleurs. Et puisque les effets sur la santé des principaux polluants générés lors des applications de peinture sont de mieux en mieux connus et que l'importance des expositions est de mieux en mieux documentée (2-15), la performance de cette ventilation devient donc un paramètre à contrôler de façon efficace.

L'utilisation d'un système à ventilation verticale a déjà été reconnue comme solution efficace de contrôle de l'exposition des travailleurs dans des cabines à peinture fermées (12,16,17). Cependant, une première étude réalisée à l'IRSST a démontré que l'efficacité de cette ventilation était variable (12). Plusieurs caractéristiques influençant l'efficacité de ventilation sont mentionnées dans la littérature: débit d'alimentation, vitesse d'air dans la cabine, vitesse de capture des polluants, turbulence, localisation et superficie des grilles d'évacuation et configuration de la cabine. L'importance relative de ces facteurs ou leur interdépendance n'a cependant pas été analysée. Une seule valeur optimum de performance est spécifiée, soit celle de la vitesse autour du véhicule (18).

La présente étude vise donc à étudier la performance de la ventilation verticale dans les cabines à peinture en identifiant les paramètres qui influencent les concentrations de polluants présents dans l'atmosphère de travail lors des applications de peinture et à proposer des critères de fonctionnement et de configuration des cabines qui assureront une protection adéquate des travailleurs.

2. Méthodologie

La méthodologie utilisée consiste en une étude-terrain. Elle a été menée dans des ateliers de réparation de carrosserie automobile possédant des cabines à peinture munies de système à ventilation verticale.

2.1 Choix des cabines

Deux paramètres de sélection des cabines avaient été retenus au départ suite aux informations recueillies dans la littérature (14,16,17) et suite à une première étude (12), soit la vitesse de l'air dans la cabine et la configuration des grilles d'extraction. Les cabines évaluées ont permis de couvrir une gamme de vitesses inférieures, égales et supérieures à celle proposée (18) ainsi que la plupart des types de configuration d'extraction retrouvés dans les cabines au Québec. Ce choix devait également permettre d'évaluer d'autres variables reliées à la géométrie de la cabine, à la distribution de l'air et aux conditions environnementales.

Quinze cabines regroupant six distributeurs et neuf modèles différents ont été évaluées.

Cinq ensembles de caractéristiques ont été étudiés soit la configuration de la cabine, les paramètres de ventilation, les paramètres d'application de la peinture, les conditions environnementales et la mesure de la pollution.

L'étude de la configuration incluait la mesure des dimensions de la cabine, des filtres d'entrée, des filtres d'extraction, de la profondeur de la fosse d'évacuation et le calcul du rapport de volumes véhicule:cabine.

L'étude de la ventilation comportait deux séries de mesures. La première série consistait à mesurer à l'aide d'un anémomètre, les vitesses d'air aux filtres d'entrée et aux grilles de sortie afin de calculer les débits d'alimentation et d'évacuation à l'aide de l'équation suivante :

$$Q = A \times V \quad \text{où} \quad \begin{array}{l} Q = \text{débit en m}^3/\text{sec (mètre cube par seconde)} \\ A = \text{surface en m}^2 \text{ (mètre carré)} \\ V = \text{vitesse en m/sec (mètre par seconde)} \end{array}$$

Tous les filtres à l'extraction étaient neufs et ceux à l'entrée étaient propres. Les filtres à l'entrée étaient faits de fibres à densité progressive en polyester et polypropylène; ceux à l'extraction étaient en fibres de verre.

La deuxième série a porté sur la mesure des vitesses d'air en 16 points répartis également dans la cabine et ce, à 3 hauteurs différentes, 0,3, 0,9 et 1,8 mètres. Ces tests ont été répétés en présence d'un petit et d'un grand véhicule. Dans ces deux cas, une série de lectures a également été prise dans une zone représentant la zone respiratoire du peintre soit à 0,9 mètre de hauteur et à 0,5 mètre du véhicule. Les lectures étaient prises par des sondes anémométriques de type omnidirectionnel de marque TSI reliées à un ordinateur et la mesure enregistrée correspondait à la moyenne d'un balayage de 999 mesures sur une période de 14 minutes. Ces mesures de vitesses ont permis le calcul de la turbulence c'est-à-dire le pourcentage de variation de vitesse (écart-type) par rapport à une vitesse moyenne calculée dans un plan donné ou pour l'ensemble de la cabine.

Les conditions environnementales de température et d'humidité relative ont été enregistrées à l'aide d'un psychromètre automatique.

Les paramètres reliés aux conditions d'application de la peinture concernaient le type, la composition et la quantité de peinture appliquée et le nombre d'applications. La pression du pistolet a été de 45 psi (310 Kpa) dans tous les cas. Les peintures appliquées étaient soit des émaux soit des acryliques uréthanes utilisant un durcisseur à base d'isocyanates ajouté au vernis ou à la peinture juste avant l'application. La proportion d'isocyanates dans le durcisseur étant variable, une analyse de composition a été faite dans chacun des cas. La quantité totale de peinture utilisée a aussi été notée.

Les isocyanates utilisés dans les peintures uréthanes ont été retenus comme traceurs de pollution. Ces contaminants se retrouvent sous formes de particules et de gaz dans

Les isocyanates utilisés dans les peintures uréthanes ont été retenus comme traceurs de pollution. Ces contaminants se retrouvent sous formes de particules et de gaz dans l'environnement de travail et leur comportement serait représentatif de tous les polluants qui peuvent être émis par les différents types de peinture. Les isocyanates ont été recueillis sur des filtres doubles insérés dans des cassettes et reliés à des pompes fonctionnant à 1 litre/minute (19). Le premier filtre en téflon retenait les isocyanates particulés alors que le second en fibre de verre imprégné de N-méthylaminométhyl-9 anthracène captait les isocyanates gazeux. Cinq échantillons ont été pris à chacune des applications de peinture. Quatre étaient à des postes fixes situés aux quatre coins de la cabine à une distance d'environ 1 mètre du véhicule, entre 0,5 et 1 mètre du mur et à une hauteur de 1 mètre. Ces prélèvements avaient pour but de visualiser le déplacement des isocyanates dans la cabine. Le cinquième a été fait en zone respiratoire du peintre afin d'en évaluer l'exposition potentielle si celui-ci ne portait aucune protection respiratoire. Les périodes d'échantillonnage englobaient le temps de pulvérisation et les temps d'arrêt pour le remplissage du godet. L'application d'une couche de peinture durait entre 7 et 15 minutes. Les autres applications pouvaient être données l'une à la suite de l'autre ou après un délai de 10 à 15 minutes. A cause de ces différences, la stratégie de prélèvement n'a pu être rigoureusement identique dans tous les cas. Une série de prélèvements a aussi été faite cinq minutes après la dernière application et pour une période de quinze minutes afin de déterminer le temps de séjour des isocyanates dans la cabine. Les prélèvements ont été faits lors de l'application de peinture sur un petit véhicule seulement.

L'échantillonnage et l'analyse des isocyanates ont été faits selon les méthodes IRSST #224 et #234 (19).

3. Résultats

Une première série de résultats rapporte les valeurs des paramètres mesurés directement sur le terrain soit la description des cabines, les mesures de ventilation et les concentrations d'isocyanates mesurées. Ces résultats ont ensuite été traités, à la section 4, de façon à identifier les facteurs influençant la performance des cabines et par conséquent, les concentrations de polluants.

3.1 Configuration des cabines

La configuration type d'une cabine de peinture est schématisée à la figure 1 alors que les données spécifiques aux cabines évaluées sont présentées aux tableaux 1, 2 et 3. Le premier tableau rapporte les dimensions spécifiques de chacune des cabines. Le calcul du rapport des volumes de la cabine et du véhicule a été fait en utilisant les dimensions du petit véhicule. Les volumes des cabines ont varié de 64 à 85 mètres³ conduisant à des rapports de volume cabine:véhicule de 8,0 à 10,6. Les longueurs de pans ont varié entre 0,30 et 0,86 mètre. Sauf pour trois modèles de cabines, les angles de pans étaient de 45°; pour ces trois modèles, ils étaient respectivement de 55°, 65° et 76°.

Le tableau 2 décrit les configurations de l'alimentation. L'air entrant horizontalement par le côté de la cabine dans un plénum puis, verticalement, passait à travers un caisson filtrant sauf pour la cabine 5 où l'alimentation se faisait directement sur le dessus et la cabine # 9 alimentée par l'arrière. Le plénum était de mêmes dimensions que le plafond alors que la superficie des filtres d'entrée a varié de 37 à 85 % de celle du plafond. Les autres caractéristiques importantes concernaient la localisation de la jonction entre la gaine d'entrée et le plénum et les dimensions de cette jonction.

Au niveau de la configuration de l'évacuation, deux types ont été rencontrés, la grille centrale de largeur et longueur variables, et les grilles doubles parallèles également de dispositions et dimensions variables. Les différents types de sortie d'air sont représentés à la figure 2 et la disposition des grilles est rapportée dans le tableau 3 sous forme de rapport proportionnel largeur de plancher : largeur de grille : largeur de plancher dans le cas d'une seule grille centrale ou largeur de plancher : largeur de grille : largeur de plancher : largeur de grille : largeur de plancher dans le cas des grilles doubles parallèles. En plus des grilles, la fosse d'évacuation a été étudiée quant à sa profondeur et à la localisation de la sortie d'air.

Figure 1 : Cabine de peinture à ventilation verticale

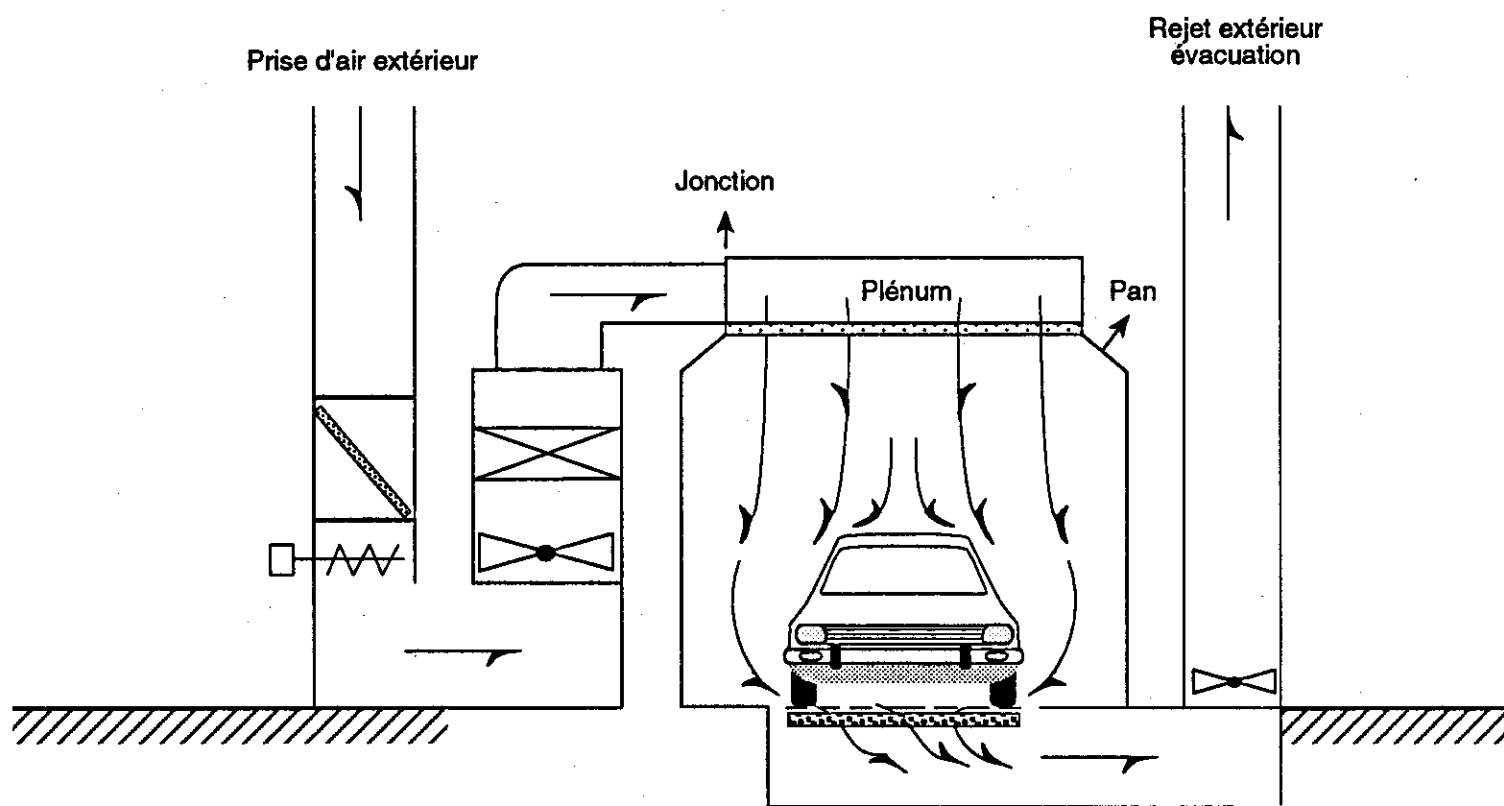


Tableau 1 : Dimensions des cabines

Cabine #	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Volume (m ³)	Rapport V _c : V _v	Longueur de pan (m)	Angle de pan (°)
1	7,10	4,00	2,54	72	9,0	0,30	55
2	7,24	3,96	2,69	77	9,6	0,44	45
3	7,28	3,92	2,80	80	10,0	0,57	76
4	7,15	4,12	2,69	79	9,9	0,51	45
5	7,60	3,96	2,74	82	10,2	0,61	45
6	7,50	3,96	2,80	83	10,3	0,42	45
7	7,50	3,96	2,80	83	10,3	0,42	45
8	7,30	4,25	2,74	85	10,6	0,86	45
9	7,22	3,94	2,63	75	9,3	0,44	45
10	7,28	3,92	2,80	80	10,0	0,57	76
11	7,22	3,94	2,63	75	9,3	0,44	45
12	7,50	3,96	2,80	83	10,3	0,48	45
13	7,50	3,96	2,80	83	10,3	0,42	45
14	7,02	3,98	2,29	64	8,0	0,51	65
15	7,50	3,96	2,80	83	10,3	0,48	45

V_c : volume de la cabine

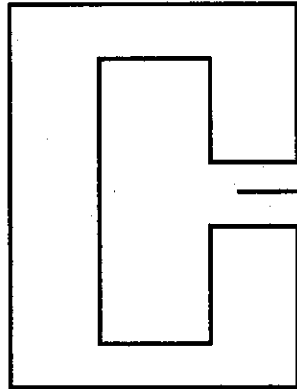
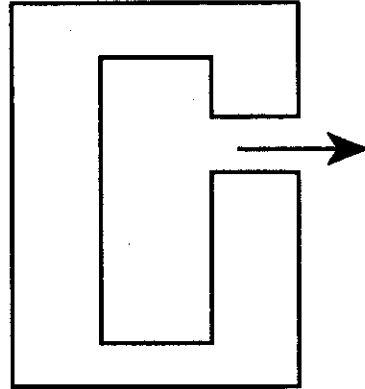
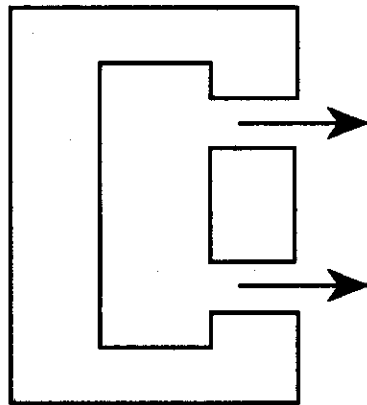
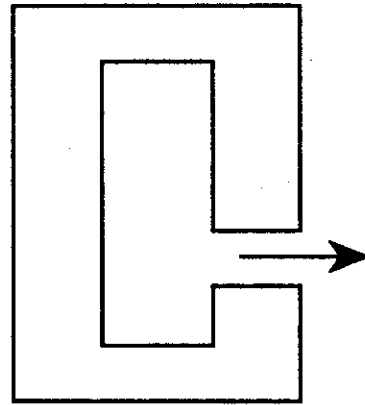
V_v : volume du véhicule

Tableau 2 : Dimensions des systèmes d'alimentation

Cabine #	Plénum			Filtres	
	% Superficie de plafond	Localisation de jonction	Dimensions de jonction L x H (m)	Superficie (m ²)	% Superficie de plafond
1	100	Côté, arrière	2,51 x 0,33	21,1	85
2	100	Coté, arrière	2,05 x 0,37	17,0	71
3	100	Côté, arrière	2,80 x 0,56	18,6	70
4	100	Côté, centre	1,50 x 0,28	8,9	37
5	100	Dessus, centre	Défecteur de 38 cm de rayon	17,9	79
6	100	Côté, centre	1,43 x 0,43	20,2	80
7	100	Côté, centre	1,43 x 0,43	20,2	80
8	100	Côté, avant	2,44 x 0,47	12,8	57
9	100	Arrière	2,00 x 0,34	15,1	63
10	100	Côté, arrière	2,80 x 0,56	18,6	70
11	100	Côté, arrière	2,45 x 0,35	19,2	80
12	100	Côté, centre	1,94 x 0,42	18,3	78
13	100	Côté, centre	1,37 x 0,43	20,6	82
14	100	Côté, centre	2,70 x 0,40	14,2	65
15	100	Côté, centre	0,65 x 0,43	18,3	78

Figure 2 : Configurations d'évacuation

GRILLES CENTRALES :

Sortie unilatérale centrée
U-CSortie unilatérale arrière
U-ASortie unilatérale double
arrière et centrée
U-D / A-CSortie unilatérale avant
U-V

GRILLES PARALLÈLES :

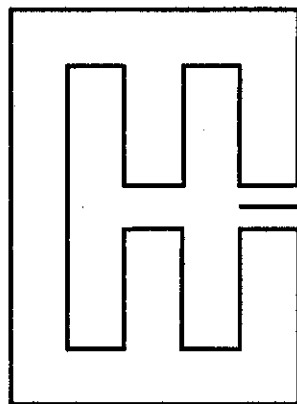
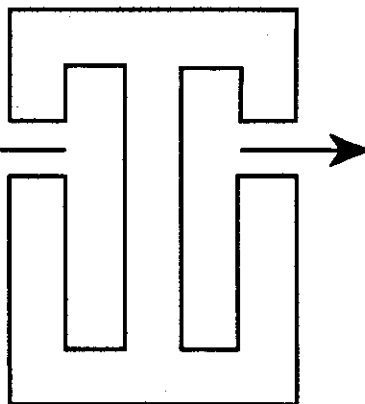
Sortie unilatérale centrée
U-CSortie bilatérale arrière
B-A

Tableau 3 : Dimensions des systèmes d'évacuation

Cabine #	Grilles				Fosse	
	Type ^a	Disposition (Largeur)	Pourcentage de plancher (%)		Profondeur (cm)	Type de sortie ^b
			Longueur	Superficie		
1	C	2 : 1 : 2	93	18	35	U-C
2	C	2 : 1 : 2	71	14	87	U-C
3	C	1 : 2 : 1	83	42	40	U-A
4	C	2 : 1 : 2	76	15	87	U-A
5	C	1,5 : 1 : 1,5	59	15	38	U-C
6	P	1 : 1 : 1 : 1 : 1	73	29	93	U-C
7	P	1 : 1 : 1 : 1 : 1	95	38	24	U-C
8	C	1,5 : 1 : 1,5	85	21	73	U-A
9	P	1 : 1 : 1,4 : 1 : 1	71	26	83	B-A
10	C	1 : 2 : 1	83	42	30	U-A
11	C	2 : 1 : 2	70	14	75	U-C
12	C	1,5 : 1 : 1,5	70	17	85	U-A
13	C	1,5 : 1 : 1,5	70	17	85	U-A
14	C	1,5 : 1 : 1,5	72	18	72	U-V
15	C	1,5 : 1 : 1,5	78	20	107	UD-AC

^a C = grille centrale; P = grilles parallèles

^b U = unilatérale; B = bilatérale; A = arrière; V = avant; C = centrée; D = double

3.2 Mesures de ventilation

3.2.1 Alimentation - Évacuation

Les débits de ventilation calculés à partir des mesures de vitesses au niveau des filtres d'entrée et des grilles d'extraction pour une température de 25°C sont donnés au tableau 4. Les cabines évaluées présentaient une gamme de débits, de 4,4 à 9,3 m³/sec, conduisant à des nombres de changements d'air à la minute variant de 3,2 à 7,4. La cabine # 4 a donné une faible pression négative.

Tableau 4 : Débits de ventilation

Cabine #	Alimentation (m ³ /sec)	Évacuation (m ³ /sec)	Surpression ¹ (%)	Changements d'air (nombre/minute)
1	6,3	6,0*	5	5,2
2	7,0	6,1	13	5,4
3	6,5	6,3	3	4,9
4	4,5	4,7	- 4	3,4
5	5,2	5,1	2	3,8
6	7,5	7,0	6	5,4
7	5,4	**	**	3,9
8	5,5	4,6	16	3,9
9	5,7	5,3	7	4,6
10	8,3	6,7	19	6,2
11	9,3	8,0	14	7,4
12	6,2	6,1	2	4,5
13	6,3	5,3	16	4,5
14	5,3	5,2	2	5,0
15	4,4	3,8	14	3,2

¹ Surpression (%) = (débit d'alimentation-débit d'évacuation) x 100 / débit d'alimentation

* Il n'y avait pas de ventilateur d'extraction.

** La configuration irrégulière des grilles d'extraction n'a pas permis la mesure précise du débit.

Les vitesses d'air mesurées à l'entrée et à la sortie ainsi que la turbulence résultant de leurs variations sont rapportées au tableau 5. Autant à l'alimentation qu'à l'évacuation, les vitesses étaient très différentes d'une cabine à l'autre; la turbulence était très élevée dans certaines cabines.

Tableau 5 : Vitesses aux filtres d'alimentation et d'évacuation

Cabine #	Alimentation		Évacuation	
	Moyenne (m/sec)	Turbulence (%)	Moyenne (m/sec)	Turbulence (%)
1	0,31	24	1,32*	12*
2	0,42	16	1,95	31
3	0,34	26	0,60	47
4	0,51	24	1,05	53
5	0,29	45	1,15	105
6	0,36	19	0,85	25
7	0,27	26	0,87	23
8	0,43	23	0,78	46
9	0,38	13	0,72	25
10	0,45	27	0,60	40
11	0,49	18	2,14	26
12	0,34	17	1,14	23
13	0,31	23	0,98	34
14	0,38	27	0,96	27
15	0,24	21	0,64	20

* Pas de ventilateur d'extraction

3.2.2 Cabine

Le tableau 6 donne pour chaque cabine la moyenne des vitesses mesurées en 48 points, l'écart-type et la turbulence qui en résulte. La présence d'un véhicule dans la cabine, en diminuant la surface disponible, devrait entraîner une augmentation proportionnelle des vitesses. Une hausse est effectivement observée mais non proportionnelle aux volumes des véhicules. En effet, l'ajout d'un obstacle modifie le flux d'air, génère de la turbulence et influence de façon imprévisible la vitesse résultante mesurée par la sonde omnidirectionnelle.

Tableau 6 : Vitesses moyennes dans les cabines (m/sec)

Cabine #	Cabine vide		Petit véhicule		Grand véhicule	
	Moyenne ± écart	Turbulence (%)	Moyenne ± écart	Turbulence (%)	Moyenne ± écart	Turbulence (%)
1	,24 ± ,13	54	,24 ± ,08	33	,30 ± ,14	46
2	,21 ± ,08	38	,28 ± ,06	21	,32 ± ,08	25
3	,29 ± ,97	24	,30 ± ,07	24	,37 ± ,12	32
4	,15*	---	,20*	---	,23*	---
5	,26 ± ,08	29	,27 ± ,05	18	,30 ± ,07	23
6	,23 ± ,05	21	,27 ± ,06	22	,34 ± ,08	23
7	,23 ± ,09	36	,25 ± ,09	36	,32 ± ,10	31
8	,19 ± ,06	31	,21 ± ,05	24	,23 ± ,06	26
9	,28 ± ,07	25	,28 ± ,07	25	,36 ± ,11	30
10	,26 ± ,09	34	,30 ± ,09	32	,32 ± ,10	31
11	,31 ± ,12	38	,32 ± ,05	15	,37 ± ,08	21
12	,27 ± ,10	37	,26 ± ,07	27	,37 ± ,12	32
13	,24 ± ,12	50	,24 ± ,08	33	,30 ± 10	33
14	,24 ± ,10	42	,27 ± ,09	33	**	**
15	,17 ± ,08	47	,15 ± ,07	46	,20 ± ,08	40

* Les vitesses ont été calculées à partir du débit d'alimentation et des surfaces de cabines, les sondes anémométriques ayant donné des résultats biaisés suite à un étalonnage erroné.

** A cause des dimensions de la cabine, les tests n'ont pu être faits avec le grand véhicule.

Comme mentionné, la turbulence évaluée à partir des variations de vitesses est importante dans certaines cabines. Afin de mieux juger des mouvements d'air dans les cabines, la répartition des variations de vitesses selon les plans "xy", "xz" et "yz" tels que décrits à la figure 3 a été faite et est donnée à la figure 4, à titre d'exemples, pour les cabines 1 et 2. Les autres résultats sont rapportés à l'annexe 1. Ces résultats montrent que, de façon générale, la turbulence était plus importante dans la partie centrale de la cabine soit dans la zone de travail; que la présence de véhicule diminuait la turbulence dans la cabine; que dans un plan donné, les variations de vitesse étaient toujours supérieures à 15 % alors que pour l'ensemble d'une cabine vide, elles étaient supérieures à 20 %.

Figure 3 : Plans d'une cabine de peinture

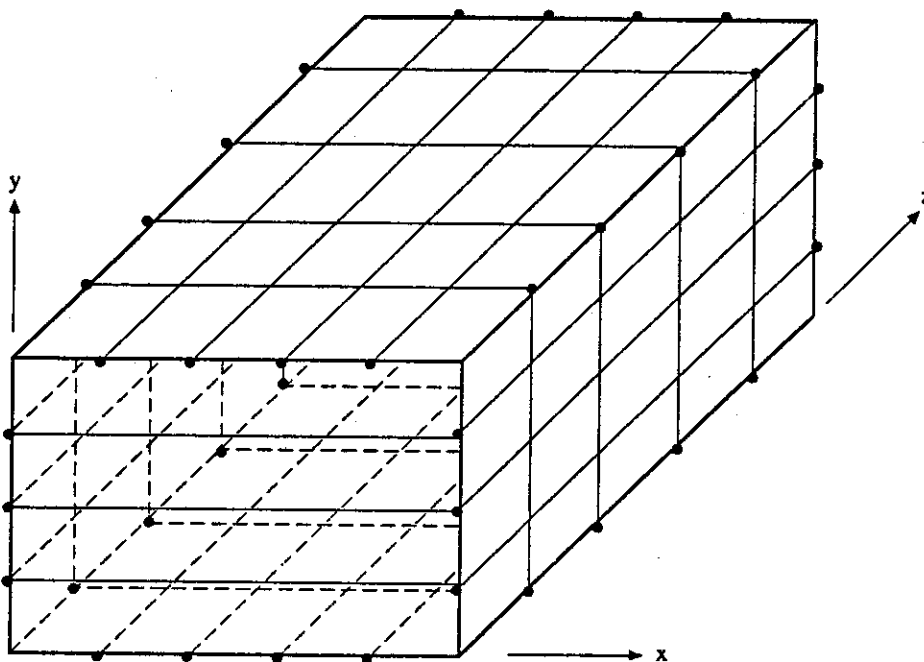
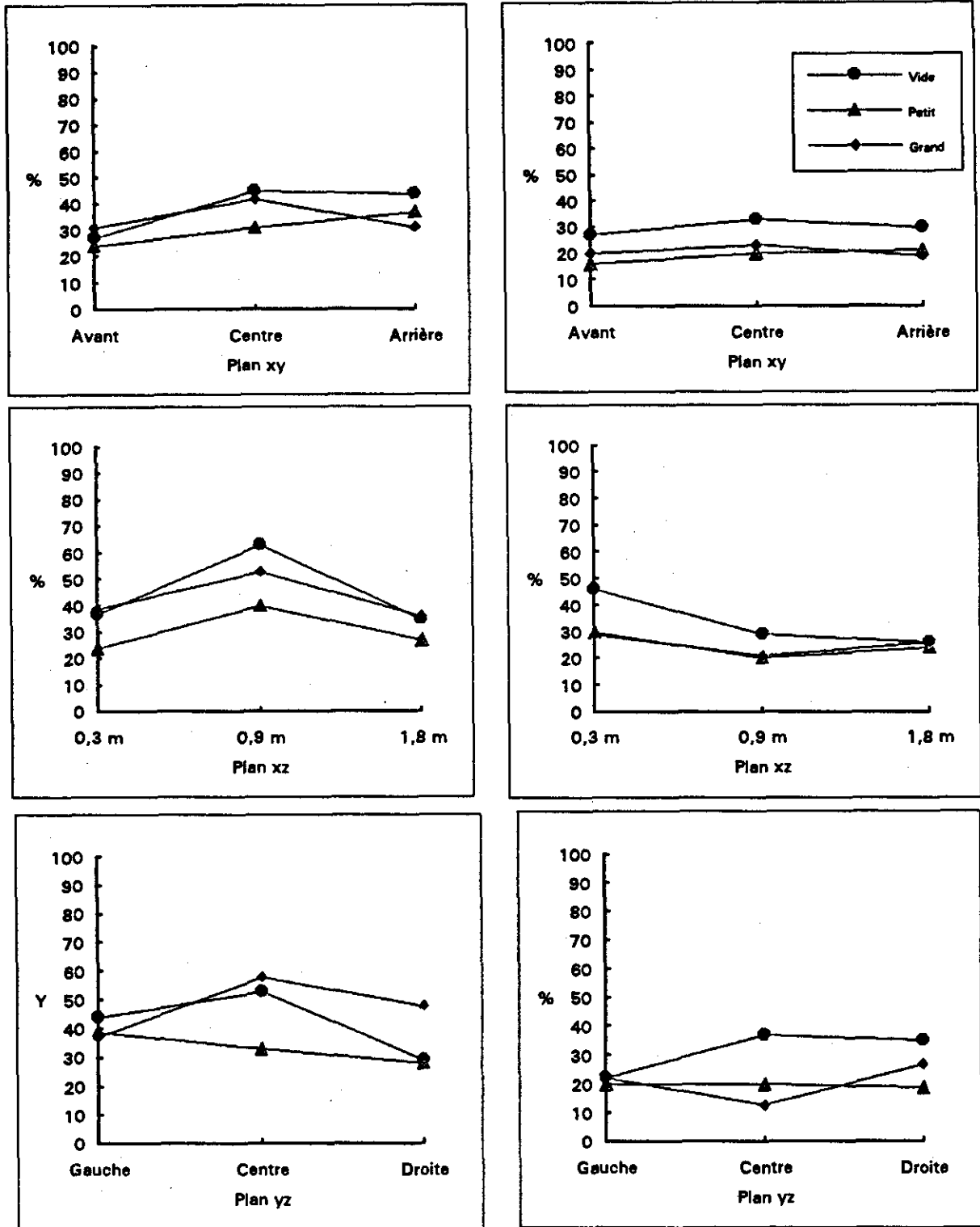


Figure 4 : Variations de vitesses (%) dans les cabines
 Cabine no 1 Cabine no 2



3.2.3 Zone respiratoire

La vitesse dans la zone respiratoire du peintre a été retenue comme paramètre de contrôle par la législation française (18). Cette norme stipule que la vitesse moyenne de l'air mesurée en présence d'un véhicule doit être au moins de 0,40 m/sec et aucune des mesures autour du véhicule ne doit être inférieure à 0,30 m/sec. Le tableau 7 donne les valeurs de vitesses moyennes, la turbulence et le nombre de points sur un total de 12, où la vitesse était inférieure à 0,30 m/sec. La vitesse moyenne recommandée de 0,40 m/sec n'a été atteinte dans aucune des cabines alors que dans un seul cas, toutes les vitesses étaient supérieures à 0,30 m/sec. Les variations de vitesses ou turbulences étaient importantes dans certaines cabines.

Tableau 7 : Vitesses en zone respiratoire du peintre

Cabine #	Petit véhicule			Grand véhicule		
	Vitesse moyenne (m/sec)	Turbulence (%)	Nombre de points $v < 0,3$	Vitesse moyenne (m/sec)	Turbulence (%)	Nombre de points $v < 0,3$
1	0,23	38	10	0,23	39	9
2	0,33	12	8	0,33	15	10
3	0,31	11	2	0,36	8	0
4 ¹	0,20	---	---	0,23	---	---
5	0,31	12	4	0,32	17	4
6	0,30	12	6	0,30	20	6
7	0,27	32	10	0,32	33	7
8	0,22	24	11	0,20	23	12
9	0,32	13	3	0,29	15	5
10	0,30	24	10	0,32	24	6
11	0,33	18	3	0,33	23	6
12	0,31	16	5	0,31	10	4
13	0,24	21	10	0,26	19	10
14	0,28	28	7	---	---	---
15	0,13	33	12	0,16	31	12

¹ Les vitesses ont été calculées à partir du débit d'alimentation et des surfaces de cabines, les sondes anémométriques ayant donné des résultats biaisés suite à un étalonnage erroné.

3.3 Mesures d'isocyanates

3.3.1 Composition des peintures

Les peintures utilisées étaient des peintures uréthanes. Deux types de revêtement utilisent les polymères d'isocyanates. Le premier est le système couche de base / couche de vernis où la couche de base contient la couleur alors que le fini uréthane est appliqué à la couche de vernis; c'est un émail uréthane. Dans l'autre type soit l'acrylique uréthane, la couleur et l'uréthane sont appliqués simultanément. Ces revêtements de type uréthane se composent d'une base contenant un polymère hydroxylé (polyester, polyéther ou acrylique) et d'un durcisseur comprenant le polyisocyanate mélangé à des solvants anhydres. Juste avant l'application de peinture, la base et le durcisseur sont mélangés dans un diluant auquel sont ajoutés, en très faibles proportions, des additifs. La proportion d'isocyanates dans le durcisseur ainsi que la quantité de durcisseur dans le mélange sont différentes selon les peintures et les peintres. Le prépolymère d'hexaméthylène diisocyanate (HDI) est l'isocyanate principalement rencontré dans ces peintures; certaines peuvent contenir de faibles proportions de diisocyanate d'isophorone (IPDI). Le tableau 8 donne la composition des peintures qui ont été utilisées dans le cadre de cette étude, telle qu'analysée au laboratoire de l'IRSST et celle donnée par les manufacturiers.

Tableau 8 : Composition des peintures

Peinture	Mélange base: durcisseur : solvant (en volume)	Pourcentage en poids dans durcisseur	
		HDI monomère	HDI oligomère
DH 7600 Diamont	4 : 1 : 1	0,40 (0,1-1)	41 (40-70)
Centari 793S (Dupont)	8 : 1 : 5	0,14 (<0,7)	49 (69)
Chromaclear 8525S (Dupont)	4 : 1 : 0,5	0,14	49 (30-60)
DU-5 (PPG)	1 : 1 : 1	0,07 (<1); (<1)*	29 (30); (20)*
DAU-2 (PPG)	1 : 1 : 1	< 0,01	9 (10-30); (,5-1,4)*
H-7 (ECS)	2 : 1 : 1	0,70 (0,1-1)	38 (30-60)
1-2-3 Hardener (Sikkens)	2 : 1 : 0,6	0,19 (0,45)	35 (20-35)
2K-MS (Standox)	3 : 1 : 0,7	0,06	27

() = Concentration donnée par les manufacturiers

* Proportion de IPDI

Cette connaissance de la composition des peintures est importante d'abord d'un point de vue de la protection des travailleurs puisqu'une peinture contenant moins d'isocyanates diminue les risques d'exposition. Elle est également importante dans la présente étude de l'influence des différents paramètres. En effet, pour pouvoir faire des études de corrélation entre les paramètres de ventilation et les concentrations d'isocyanates mesurées, des facteurs de pondération basés sur la composition des mélanges et des durcisseurs ont été appliqués aux valeurs de concentrations. Dans le cas des oligomères, le durcisseur de référence choisi a été celui contenant la plus forte proportion, soit le Dupont 8525S avec 49 % ; la proportion du durcisseur dans le mélange était de 18%. Dans le cas où le volume total de peinture utilisé doit être considéré, un troisième facteur de pondération doit être appliqué. Le volume de référence a été fixé à 4 litres. Les facteurs de pondération à appliquer étaient donc :

$$F_d = \frac{\text{proportion d'oligomères du durcisseur de référence (49\%)}}{\text{proportion d'oligomères du durcisseur considéré}}$$

$$F_m = \frac{\text{proportion de durcisseur dans le mélange de référence (18\%)}}{\text{proportion de durcisseur dans le mélange considéré}}$$

$$F_v = \frac{\text{volume de référence (4L)}}{\text{volume utilisé}}$$

où F_d = facteur de pondération dû à la composition du durcisseur
 F_m = facteur de pondération dû à la composition du mélange
 F_v = facteur de pondération dû au volume de peinture utilisée

Les facteurs de pondération reliés directement aux peintures et mélanges sont rapportés au tableau 9. Ces résultats montrent que la proportion d'isocyanates dans la peinture acrylique était d'environ 2,5 à 3 fois plus faible que dans le cas d'une peinture émail. Le facteur de pondération F_v doit être calculé de façon individuelle pour chacun des véhicules.

Tableau 9 : Facteurs de pondération pour les peintures utilisées

Peinture utilisée	F_d	F_m	F_{dm}
DH 7600 (BASF) (émail)	1,20	1,06	1,27
Centari 793S (Dupont) (acrylique)	1,00	2,57	2,57
Chromaclear 8525S (Dupont) (émail)	1,00	1,00	1,00
DU-5 (PPG) (émail)	1,69	0,55	0,93
DAU-2 (PPG) (acrylique)	5,44	0,45	2,45
H-7 (ECS) (émail)	1,29	0,72	0,93
1-2-3 Hardener (Sikkens) (émail)	1,40	0,64	0,90
2K-MS (Standox) (émail)	1,81	0,86	1,55

3.3.2 Répartition dans la cabine

Lorsque décelés, les isocyanates se présentaient essentiellement sous deux formes soit monomère gazeux et oligomère aérosol, cette dernière étant prédominante. Les concentrations moyennes d'hexaméthylène diisocyanate monomères et oligomères mesurées aux quatre coins des cabines sont rapportées aux tableaux 10 et 11. Pour une cabine donnée, les isocyanates se répartissaient de la même façon à chaque application, les concentrations dépendant de la quantité de peinture utilisée à chacune de ces applications.

La température dans les cabines équipées de contrôle était de l'ordre de 25 °C. Pour les autres, la température était influencée par celle à l'extérieur et a varié entre 20 et 30 °C. Les taux d'humidité ne pouvaient être ajustés et ont varié entre 20 et 55 %, la majorité des mesures se situant dans l'ordre de 30%. Aucune correction n'a été apportée aux concentrations d'isocyanates en fonction des taux d'humidité ou de la température ambiante.

Tableau 10 : Concentrations d'hexaméthylène diisocyanate monomère en air ambiant

Cabine #	Peinture utilisée		Concentrations aux postes de mesure (mg/m ³)			
	Marque	Type	Avant gauche	Arrière gauche	Arrière droit	Avant droit
1	Sikkens 1-2-3	Émail	0,004	nd	0,001	0,005
2	Dupont 8525S	Émail	nd	0,002	nd	0,007
3	BASF 7600	Émail	0,016	0,025	0,026	0,011
4	Dupont 8525S	Émail	0,007	0,008	0,007	0,009
5	PPG DU-5	Émail	0,016	0,022	0,011	0,004
6	PPG DU-5	Émail	nd	nd	nd	nd
7	PPG DU-5	Émail	0,010	0,040	0,020	0,020
8	Dupont 793S	Acrylique	nd	nd	nd	0,002
9	Sikkens 1-2-3	Émail	0,020	0,008	0,014	0,027
10	ECS H-7	Émail	0,032	0,025	0,014	0,034
11	Dupont 793S	Émail	nd	nd	nd	nd
12	Stadox 2K	Émail	nd	0,004	0,003	nd
13	PPG DAU-2	Acrylique	nd	nd	nd	nd
14	Sikkens 1-2-3	Émail	nd	nd	nd	0,002
15	Sikkens 1-2-3	Émail	0,024	0,011	0,005	0,022

nd = non décelé < 0,001 mg/m³

Tableau 11 : Concentrations d'hexaméthylène diisocyanate oligomère en air ambiant

Cabine #	Peinture utilisée	Concentrations aux postes de mesure (mg/m ³)			
		Avant gauche	Arrière gauche	Arrière droit	Avant droit
1	1-2-3-Hardener	0,33	0,07	0,05	0,55
2	8525S	nd	nd	nd	nd
3	BASF 7600	0,27	0,36	0,13	0,17
4	Dupont 8525S	1,48	2,00	1,80	2,55
5	PPG DU-5	0,44	0,45	0,27	0,23
6	PPG DU-5	nd	0,11	0,05	0,06
7	PPG DU-5	0,23	1,28	1,93	0,63
8	Dupont 793S	0,43	0,06	0,29	0,92
9	Sikkens 1-2-3	0,37	0,11	0,23	0,54
10	ECS H-7	nd	nd	nd	nd
11	Dupont 793S	0,11	nd	0,09	0,03
12	Standex 2K	0,20	0,35	0,88	0,04
13	PPG DAU-2	0,03	0,01	0,02	nd
14	Sikkens 1-2-3	0,23	nd	nd	0,07
15	Sikkens 1-2-3	0,65	0,32	0,27	0,59

nd < 0,01 mg/m³

Les concentrations moyennes de monomères ont varié de < 0,001 à 0,040 mg/m³ et celles d'oligomères de < 0,01 à 2,55 mg/m³.

3.3.3 Concentrations en zone respiratoire

Les concentrations d'hexaméthylène diisocyanate monomères et oligomères mesurées en zone respiratoire des peintres à chacune des deux applications de peinture sont rapportées aux figures 5 et 6. Une application de peinture durait moins de 15 minutes.

Les concentrations d'isocyanates monomériques mesurées dans les cabines ont varié entre $< 0,001$ et $0,057 \text{ mg/m}^3$. Du côté des oligomères, les concentrations étaient beaucoup plus élevées allant jusqu'à $2,16 \text{ mg/m}^3$.

Il n'existe pas actuellement au Québec de normes d'exposition à l'hexaméthylène diisocyanate. La valeur proposée serait de 5 ppb ou $0,034 \text{ mg/m}^3$ en HDI monomères pour une exposition de 8 heures (20). Le Royaume-Uni a pour sa part réglementé la fonction isocyanate sans égard au produit en cause donnant des limites de $0,02$ et $0,07 \text{ mg/m}^3$ exprimés en monomères respectivement pour huit heures et dix minutes d'exposition (21). L'American Conference of Governmental Industrial Hygienists fixe à $0,034 \text{ mg/m}^3$ la concentration moyenne de HDI pour une période de 8 heures (22).

3.3.4 Temps de séjour

Des échantillonnages ont été faits 5 minutes après la dernière application de peinture pour déterminer le temps de séjour des isocyanates dans l'air de la cabine. Dans aucun cas, les isocyanates gazeux ou particulés n'ont été décelés après ce délai.

Figure 5 : Concentrations d'isocyanates monomères en zone respiratoire

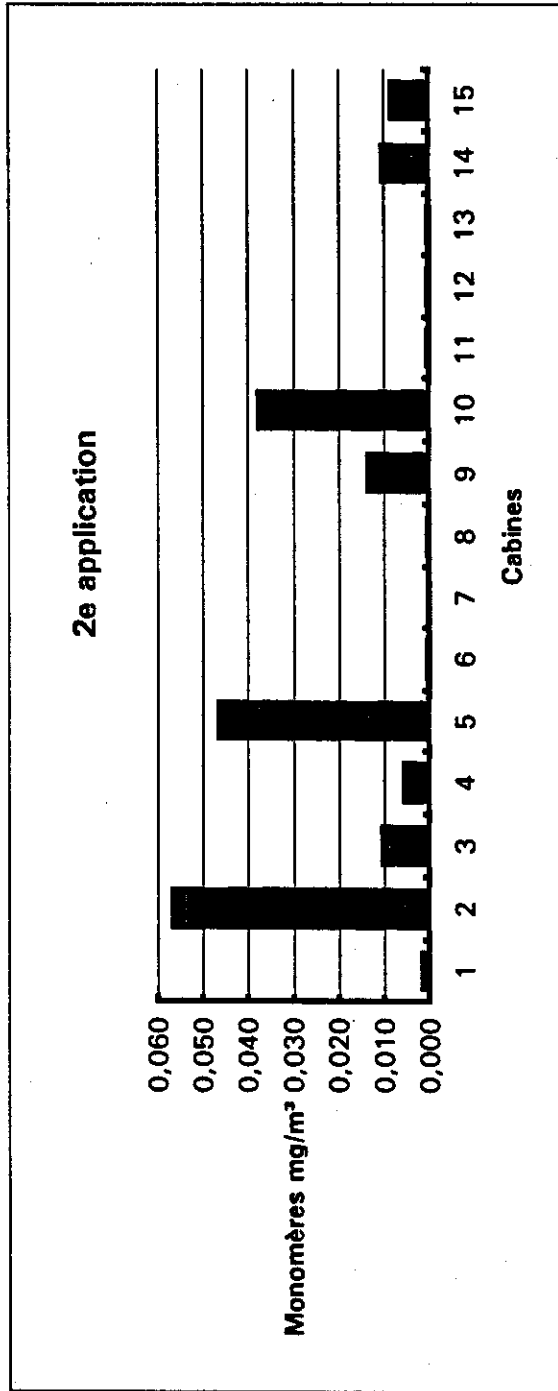
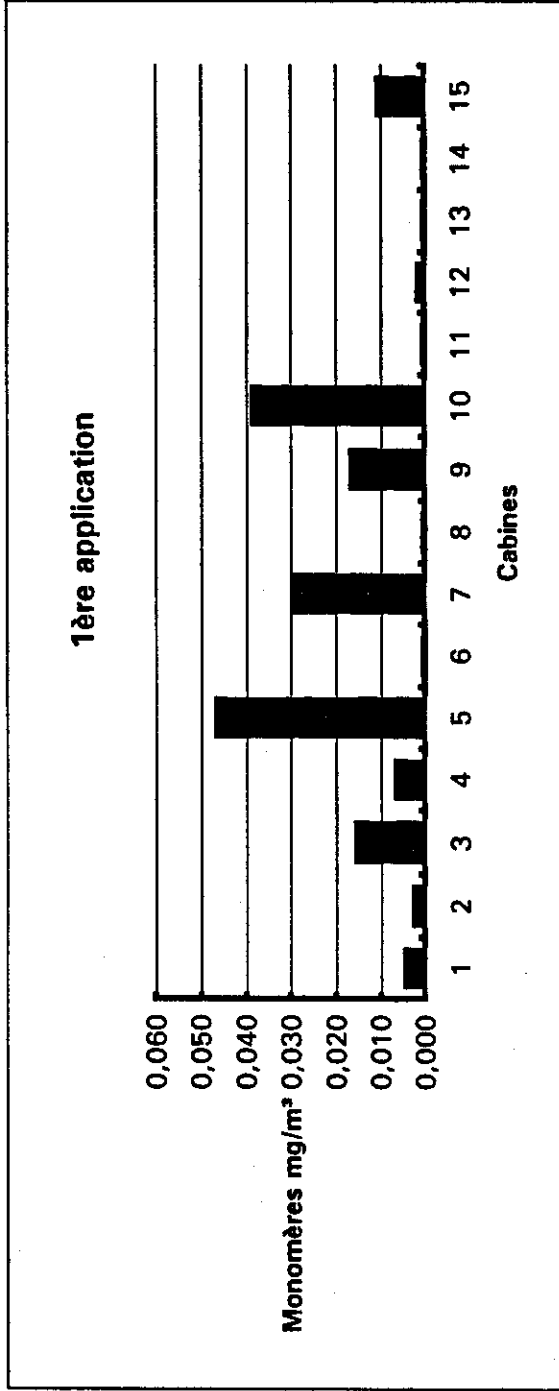
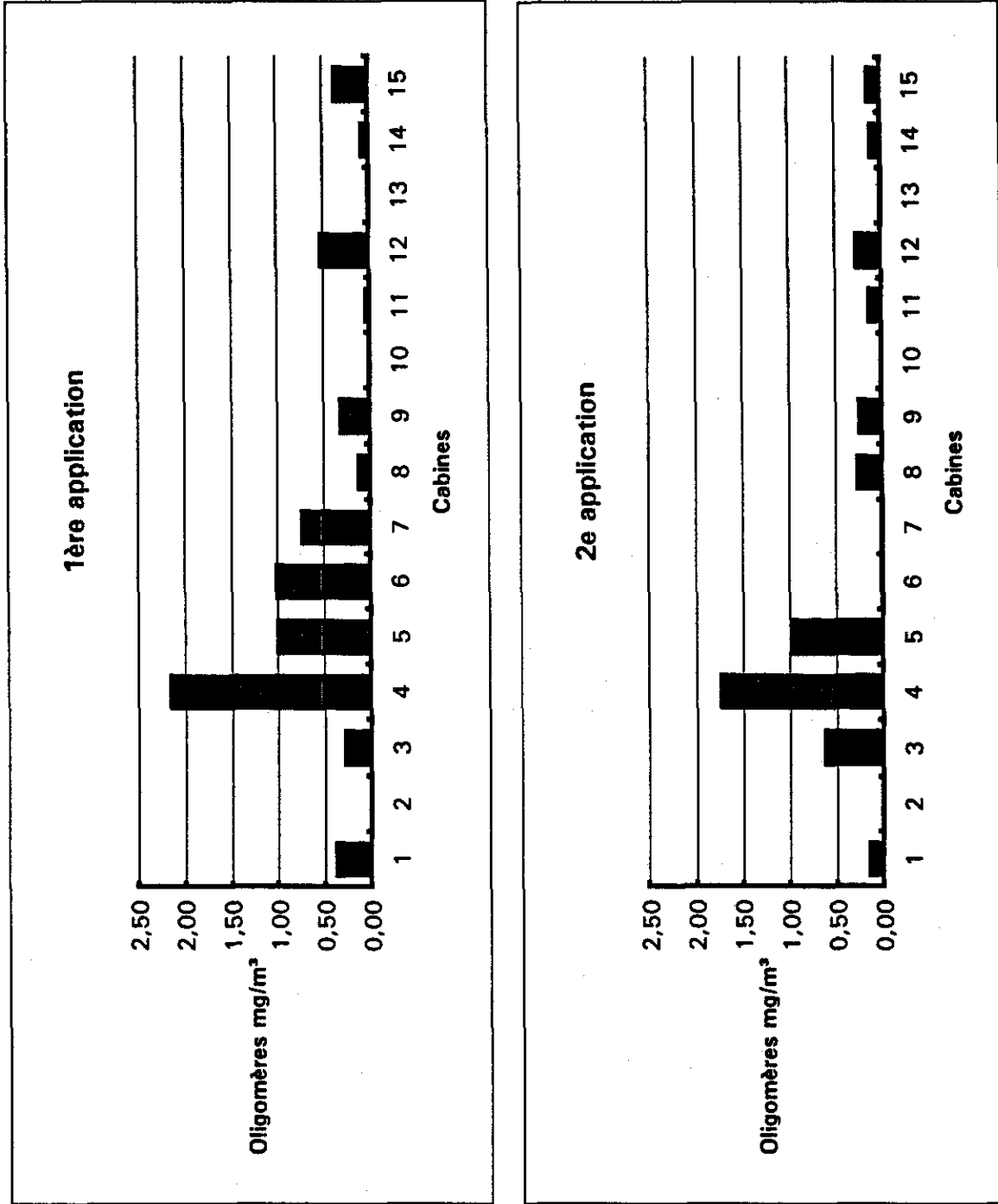


Figure 6 : Concentrations d'isocyanates oligomères en zone respiratoire



4. Étude des paramètres

Les concentrations d'isocyanates mesurées dans ces 15 cabines ont montré que l'exposition des travailleurs à ces contaminants pouvait être importante pendant la période d'application de la peinture et que la performance de la ventilation verticale à les éliminer était très variable. Afin de déterminer les paramètres qui influencent cette performance, une première série de corrélations a été faite entre les concentrations pondérées d'isocyanates et les mesures de ventilation. La deuxième étape consistait à déterminer quels étaient les principes de fonctionnement, de configuration ou d'aménagement des cabines qui ont influencé ces paramètres de ventilation.

4.1 Paramètres influençant les concentrations de polluants

Des études de corrélation de Pearson ont été faites entre les concentrations pondérées retrouvées en air ambiant et en zone respiratoire des peintres et les différents paramètres de ventilation. Ces paramètres ont été divisés en deux groupes : globaux et spécifiques. Les paramètres globaux font référence aux données de ventilation en cabine vide donc indépendantes de la présence du peintre ou de l'objet à peindre. Les paramètres spécifiques sont les données de ventilation mesurées en présence du véhicule à peindre.

Les valeurs des coefficients de corrélation sont rapportés au tableau 12 pour l'ensemble des 15 cabines.

Tableau 12 : Coefficients de corrélation : concentrations et paramètres de ventilation - Ensemble des cabines

Paramètre	Isocyanates oligomères		Isocyanates monomères	
	Air ambiant	Zone respiratoire	Air ambiant	Zone respiratoire
Global (n=15) :				
Débit d'alimentation	-0,59	-0,52	-0,46	-0,23
Débit d'évacuation	-0,52	-0,32	-0,65	-0,33
Changements d'air	-0,63	-0,55	-0,51	-0,26
Spécifique (n=14) :				
Vitesse	-0,59	-0,30	-0,17	-0,28
Turbulence	+0,45	+0,31	+0,22	+0,23

Les valeurs en caractères gras indiquent une relation significative ($p=0,05$) en fonction du nombre de données utilisées.

Ces résultats montrent que la ventilation est effectivement un facteur de contrôle des concentrations de polluants dans l'air ambiant des cabines de peinture. En cabine vide, le nombre de changements d'air par minute semble plus approprié que l'expression des débits pour les isocyanates oligomériques. Pour les isocyanates monomériques, l'influence de la ventilation est peu évidente notamment en zone respiratoire du peintre. Le débit d'évacuation présente la meilleure corrélation pour ces isocyanates en air ambiant.

Par rapport aux paramètres spécifiques de ventilation c'est-à-dire en présence d'un véhicule, la corrélation attendue entre la vitesse en zone respiratoire et les concentrations n'a pas été obtenue. Ce fait s'explique par la variation importante de ces vitesses dans les cabines. En fait, ces variations de vitesse ou turbulences agissent sur les concentrations de façon inverse de la vitesse. Pour juger de l'influence respective de ces deux paramètres, vitesse et turbulence, les cabines ont été divisées en deux classes permettant ainsi de fixer l'une des deux variables. La première classe regroupe les cabines à faible turbulence (< 20%) et la deuxième, celle à forte turbulence (> 20%), tel que rapporté au tableau 7 en présence du petit véhicule. Les coefficients de corrélation ainsi obtenus sont donnés aux tableaux 13 et 14.

Tableau 13 : Coefficients de corrélation : concentrations et paramètres de ventilation - Cabines à faible turbulence

Paramètre	Isocyanates oligomères		Isocyanates monomères	
	Air ambiant	Zone respiratoire	Air ambiant	Zone respiratoire
Global (n=8) :				
Débit d'alimentation	-0,63	-0,72	-0,60	-0,51
Débit d'évacuation	-0,71	-0,59	-0,49	-0,63
Changements d'air	-0,65	-0,76	-0,48	-0,47
Spécifique (n=7) :				
Vitesse	-0,80	-0,70	-0,15	-0,18

Les valeurs en caractères gras indiquent une relation significative ($p=0,05$) en fonction du nombre de données utilisées.

Tableau 14 : Coefficients de corrélation : concentrations et paramètres de ventilation - Cabines à forte turbulence

Paramètre	Isocyanates oligomères		Isocyanates monomères	
	Air ambiant	Zone respiratoire	Air ambiant	Zone respiratoire
Global (n=7) :				
Débit d'alimentation	-0,62	-0,54	-0,39	-0,18
Débit d'évacuation	-0,43	-0,30	-0,84	-0,70
Changements d'air	-0,68	-0,56	-0,57	-0,31
Spécifique (n=7) :				
- Vitesse	-0,51	-0,38	-0,32	-0,14

Les valeurs en caractères gras indiquent une relation significative ($p=0,05$) en fonction du nombre de données utilisées.

Les corrélations obtenues pour les cabines à faible turbulence montrent que la vitesse, autant en air ambiant qu'en zone respiratoire des peintres, est un paramètre important pour les isocyanates oligomériques alors qu'elle ne semble pas avoir d'influence sur les concentrations de monomères. Ceci peut s'expliquer par le fait que les monomères d'isocyanates se présentent sous forme gazeuse et qu'une faible vitesse dans la cabine est suffisante pour les amener dans le courant d'air. Le paramètre important pour leur élimination serait alors l'évacuation. Ce fait ressort également des résultats obtenus pour les cabines à forte turbulence. Pour le vérifier, les concentrations de monomères ont été mises en relation avec les différents paramètres de ventilation d'évacuation. Les résultats sont présentés au tableau 15 et démontrent que la turbulence est le paramètre déterminant au niveau de l'évacuation.

Tableau 15 : Coefficients de corrélation : concentrations de monomères et ventilation d'évacuation

Paramètre de ventilation d'extraction	Air ambiant			Zone respiratoire		
	Ensemble des cabines (n=15)	Classe 1 (n=8)	Classe 2 (n=7)	Ensemble des cabines (n=15)	Classe 1 (n=8)	Classe 2 (n=7)
Débit	-0,65	-0,49	-0,84	-0,33	-0,63	-0,70
Vitesse	-0,44	-0,35	-0,71	-0,11	-0,19	-0,66
Turbulence	+0,67	+0,59	+0,76	+0,75	+0,78	+0,84

Les valeurs en caractères gras indiquent une relation significative ($p=0,05$) en fonction du nombre de données utilisées.

De l'ensemble de ces résultats, il ressort que :

- pour les isocyanates oligomériques, le nombre de changements d'air par minute (paramètre qui tient compte du volume de la cabine) est le paramètre de ventilation le plus pertinent pour qualifier la ventilation globale. En présence du véhicule à peindre, les vitesses d'air et la turbulence en air ambiant et en zone respiratoire sont les paramètres influents.

- pour les isocyanates monomériques, la ventilation d'extraction et notamment la turbulence est un paramètre déterminant, les vitesses retrouvées dans les cabines étant toujours suffisantes pour les entraîner.

4.2 Paramètres de configuration influençant la ventilation

Les observations de la section précédente montrent donc que les paramètres identifiés comme influençant les concentrations d'isocyanates dans les cabines de peinture sont le nombre de changements d'air, les vitesses d'air et la turbulence dans l'air ambiant et en zone respiratoire des peintres et la turbulence à l'extraction.

La deuxième étape découlant de cette étude consiste à déterminer quels sont les principes de fonctionnement, de configuration ou d'aménagement des cabines qui influencent ces paramètres de ventilation. Ainsi, le nombre de changements d'air et la vitesse dépendent de la capacité du ventilateur et des dimensions de la cabine alors que l'homogénéité et les variations de vitesses (turbulence) sont influencées par la configuration de la cabine et également par la vitesse elle-même. En effet, une relation inverse a effectivement été observée entre les vitesses et les taux de turbulence mesurés dans l'air ambiant des cabines et en zone respiratoire des peintres ($r = -0,74$ et $-0,77$ respectivement), une vitesse plus élevée diminuant la turbulence.

Les éléments de cabine considérés se rapportent aux configurations de l'alimentation et de l'évacuation et à la géométrie intérieure de la cabine.

À l'alimentation, une relation est observée entre la turbulence aux filtres d'entrée et celle retrouvée dans la cabine ($r = +0,55$). Les caractéristiques physiques de l'alimentation ont donc été considérées en relation avec cette turbulence. Parmi ces caractéristiques, on retrouve la dimension des filtres par rapport à celles du plafond, la dimension de la jonction et sa vitesse à l'entrée du plénum. Les résultats présentés au tableau 16 tiennent compte des différentes configurations de jonction. La cabine 5 dont l'alimentation se fait par le dessus au moyen d'un déflecteur circulaire et la cabine 9 dont l'alimentation se fait par l'arrière ne sont pas incluses dans l'ensemble des cabines. Les classes 1 et 2 se rapportent aux cabines dont l'alimentation se faisait par le côté, décentrée vers l'avant ou l'arrière pour la classe 1 et centrée pour la classe 2.

Tableau 16 : Coefficients de corrélation : turbulence à l'entrée des filtres et caractéristiques de l'alimentation.

Cabines	Filtre (% plafond)	Jonction		
		Longueur	Superficie	Vitesse de sortie
Ensemble (n=13)	-0,26	-0,30	-0,43	-0,50
Classe 1 (n=6)	-0,05	-0,98	-0,79	-0,80
Classe 2 (n=7)	-0,43	-0,55	-0,73	-0,55

Les valeurs en caractères gras indiquent une relation significative ($p=0,05$) en fonction du nombre de données.

Ces résultats montrent que la turbulence aux filtres d'entrée dépend de la localisation de la jonction et de ses dimensions. Ainsi, pour la classe 1, où la jonction est décentrée, la longueur semble plus importante que la surface. Une jonction plus longue se rapproche du centre de la cabine et favorise l'uniformité dans la distribution des vitesses comme l'on observe pour les jonctions centrées. Dans ce dernier cas, la superficie de jonction devient la caractéristique à considérer, une jonction de plus grandes dimensions permettant une répartition plus égale de l'air. Pour la cabine # 9 où l'arrivée d'air se fait de façon centrée à l'arrière de la cabine, on observe également une faible turbulence. La proportionnalité entre les dimensions de la jonction et celles de la cabine n'a cependant pu être établie. Une relation inverse est aussi observée entre la vitesse à la sortie de la jonction et la turbulence engendrée pour les cabines de la classe 1.

Le pourcentage de superficie des filtres d'entrée (tableau 2) a pour sa part une influence sur la turbulence dans la cabine et la zone respiratoire du peintre ($r = -0,58$ et $-0,61$), une augmentation de superficie diminuant la turbulence.

Au niveau de la géométrie interne de la cabine, l'influence de la longueur de pan a été regardée en fonction de la turbulence globale de la cabine et celle mesurée dans le plan YZ en présence du petit véhicule. Les relations ont été recherchées pour l'ensemble des cabines et pour celles qui avaient un angle de 45° soit celui qui est le plus couramment rencontré. Aucune relation significative n'a été obtenue pour ces paramètres.

La première caractéristique à considérer au niveau de l'extraction est la localisation des grilles. Seulement trois des quinze cabines avaient des grilles parallèles; la turbulence y était de l'ordre de 25 %. Pour les cabines ayant une grille centrale, la turbulence moyenne était de 39 % variant entre 20 et 105 %. Ces résultats appuient l'hypothèse que les grilles parallèles localisées de telle façon qu'elles dépassent de chaque côté du véhicule favorisent la verticalité de l'écoulement d'air et l'élimination des polluants. Pour les grilles centrales, la longueur de la grille semble plus importante que la largeur ($r = -0,7$ et $r < 0,2$ respectivement).

La deuxième caractéristique concerne la fosse d'évacuation, ses dimensions et la localisation de la sortie d'air. Pour les cabines ayant une grille centrale, on obtient, en fonction de la localisation centrée ou décentrée de la sortie d'air, de bonnes corrélations entre la vitesse d'évacuation, la longueur ($r > 0,70$) et la profondeur ($r > 0,90$) de la fosse. Le peu de données concernant les cabines munies de grilles parallèles ne permet pas de conclure sur l'influence de la profondeur de fosse. Aucune différence significative n'a été obtenue en fonction de la localisation de la sortie d'air tant pour la grille centrale que pour les grilles parallèles.

De ces résultats, il ressort que les paramètres de configuration à considérer sont:

- à l'alimentation: . la dimension de la surface filtrante (100 % de la superficie du plafond);
- . la localisation de la jonction (au centre);

- . les dimensions de la jonction (la plus évasée possible; la proportionnalité des dimensions n'ayant pu être établie).
- à l'évacuation : . la localisation des grilles (grilles parallèles);
- . les dimensions des grilles (débordant la largeur de l'auto);
- . les dimensions de la fosse (augmenter la largeur et la profondeur; la proportionnalité des dimensions n'a pu être établie)

5. Conclusions

Les concentrations d'isocyanates mesurées dans quinze cabines de peinture ont montré que l'exposition des travailleurs à ces contaminants pouvait être importante pendant la période d'application de la peinture et que la performance de la ventilation verticale à les éliminer était très variable.

Les études de corrélation faites entre les concentrations pondérées d'isocyanates mesurées en air ambiant et en zone respiratoire des peintres montrent que, pour les isocyanates oligomériques donc pour les polluants sous forme d'aérosols, le nombre de changements d'air par minute est le paramètre de ventilation le plus pertinent pour qualifier la ventilation globale et qu'au niveau des paramètres spécifiques, la vitesse d'air et la turbulence en air ambiant et en zone respiratoire sont les paramètres influents. Pour les isocyanates monomériques donc pour les polluants sous forme gazeuse, la ventilation d'extraction et notamment la turbulence est le paramètre à considérer. Ces données tendent à démontrer que la performance d'une cabine est reliée à la verticalité du flux d'air et que les critères les plus représentatifs de la ventilation sont la vitesse, sa direction et l'homogénéité de sa répartition.

À partir des droites de corrélation obtenues, les valeurs suivantes ont été ressorties pour favoriser au maximum la verticalité du flux d'air et l'efficacité de la ventilation :

- . turbulence < 20 %
- . vitesse dans la cabine : 0,30 m/sec
- . vitesse en zone respiratoire : 0,35 m/sec

À partir de ces données et en tenant compte des dimensions des cabines de peinture évaluées, les valeurs suivantes peuvent être déduites :

- . nombre moyen de changements d'air/minute : 6
- . débit moyen : 8,5 m³/sec

Parmi les moyens permettant d'atteindre les valeurs proposées, se retrouvent les différents éléments de configuration de la cabine.

Au niveau de l'entrée d'air, il est recommandé que :

- . la surface filtrante occupe la plus grande superficie possible du plafond;
- . la jonction entre la gaine d'entrée d'air et le plénum soit centrée soit sur le côté soit à l'arrière;
- . la jonction entre la gaine d'entrée et le plénum soit la plus évasée et la plus large possible;

Au niveau de la sortie d'air, il est recommandé que :

- . les grilles parallèles soient préférées à la grille centrale;
- . les grilles parallèles soient dimensionnées et localisées de telle façon qu'elles dépassent de chaque côté du véhicule;

D'autres recommandations découlant des observations faites lors des interventions sur le terrain peuvent également être ressorties. Elles concernent les techniques de travail et l'entretien de la cabine. Il est recommandé que :

- . une peinture contenant le moins possible d'isocyanates soit utilisée;
- . le véhicule à peindre soit localisé adéquatement par rapport aux grilles d'extraction;
- . les filtres d'entrée et les filtres de sortie soient remplacés régulièrement;
- . les composantes des systèmes de ventilation soient nettoyés et vérifiés périodiquement.

L'ensemble de ces recommandations favorisera l'utilisation adéquate et performante d'une cabine de peinture à ventilation verticale tout en assurant au peintre une protection maximale contre les polluants.

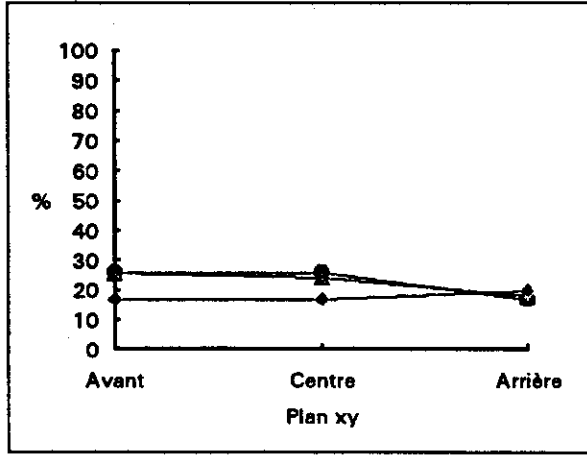
Références bibliographiques

- (1) Conseil national de la recherche du Canada. Code national de la prévention des incendies. Ottawa, Canada (1985).
- (2) Patty's Industrial Hygiene and Toxicology. 3^e éd. Wiley-Interscience Publication. New-York, États-Unis. (1981).
- (3) Lauwerys R. Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. 2e éd. Masson et cie. Paris, France (1982).
- (4) Burge P.S. Eur. J. Resp. Dis.,63, supp 123, 91 (1982).
- (5) National Institute for Occupational Safety and Health. Criteria for a Recommended Standard. Occupational Exposure to Diisocyanates. NIOSH 78-215. Rockville, MD (1978).
- (6) Rosenberg C., Tuomi T. Airborne Isocyanates in Polyurethane Spray Painting: Determination and Respirator Efficiency. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. vol 45, no 2 p.117-121. (1984).
- (7) Alexandersson R., Plato N., Kolmodin-Hedman B., Hedenstierna G. Exposure, Lung Function and Symptoms in Car Painters Exposed to Hexamethylenediisocyanate and Biuret Modified Hexamethylenediisocyanate. Arch. Environ. Health. vol 42, p.367-373. (1987).
- (8) Séguin P., Allard A., Cartier A., Malo J.-L. Prevalence of Occupational Asthma in Spray Painters Exposed to Several Types of Isocyanates, Including Polymethylene Polyphenylisocyanate. J. Occup. Med. vol 29, p.340-344. (1987).
- (9) Pham Q.T., Mur J.M., Massin N., Teculescu D., Bisch C.M., Moulin J.M., M. Léonard. Évolution clinique et fonctionnelle respiratoire sur un période de cinq ans chez les peintres d'une usine de véhicules industriels. Arch. Mal.Prof. vol 50, no 5 p.421-425. (1989).
- (10) Pisaniello D.L., Muriale L. The Use of Isocyanate Paints in Auto Refinishing - A Survey of Isocyanate Exposures and Related Work Practices in South Australia. Ann. Occup. Hyg. vol 33, no 4 p.563-572. (1989).
- (11) Laureillard J., Ameille J., Pages MG., Proteau J. Jérôme F. Le respect des valeurs limites d'exposition des isocyanates dans les cabines de peinture automobile : Un objectif de prévention nécessaire mais insuffisant. Arch. Mal. Prof. vol 50, no 2. p.205-207. (1989).

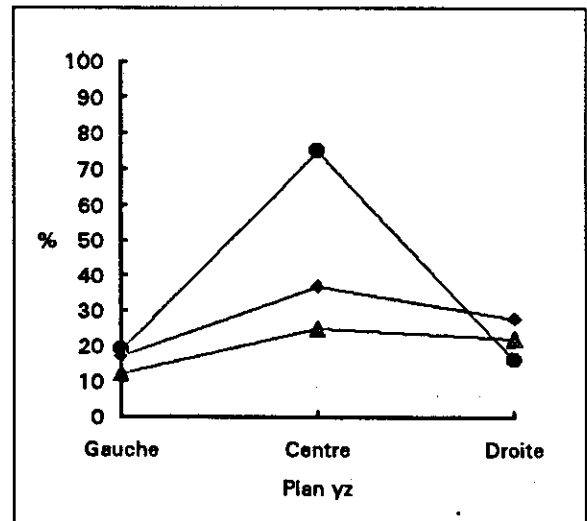
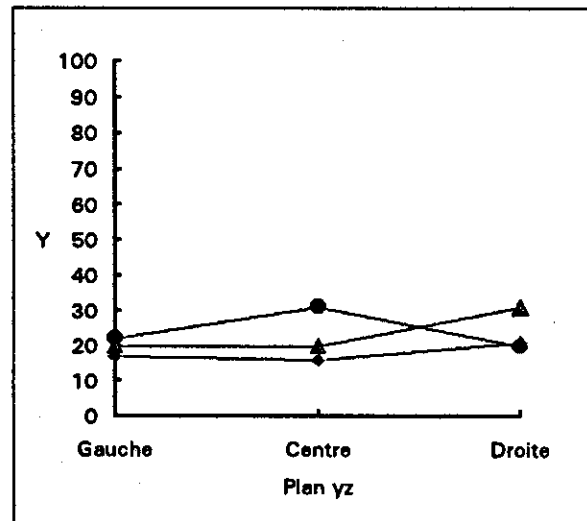
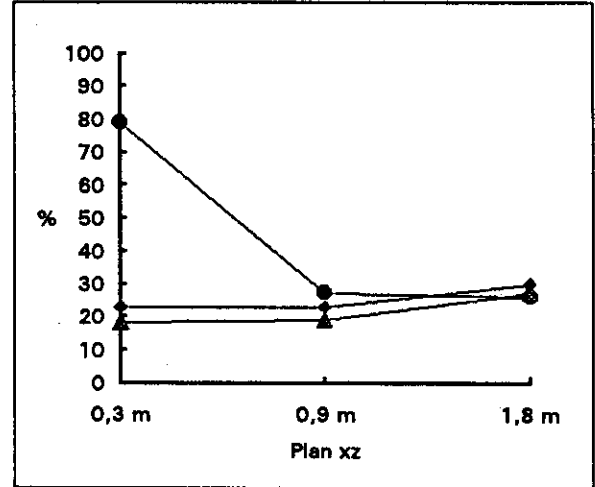
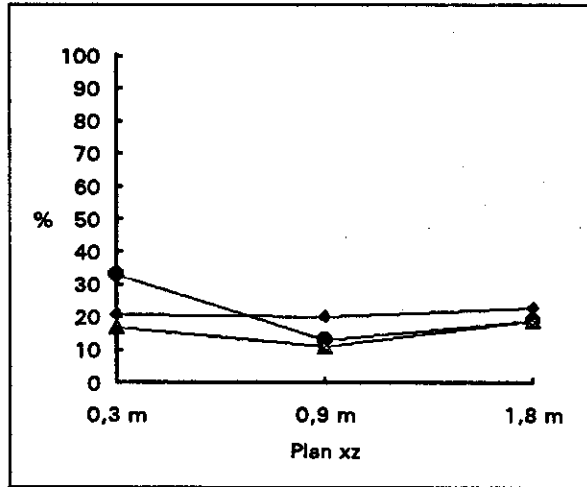
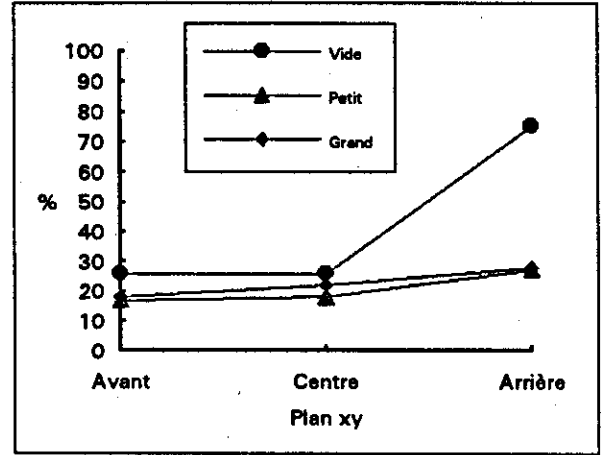
- (12) Goyer N., Lesage J., Vincent J.-Y. Les isocyanates dans les ateliers de peinture automobile : évaluation de l'exposition. Rapport de recherche IRSST. Montréal, Québec. (1989).
- (13) Tornling G., Alexandersson R., Hedenstierna G., Plato N. Decreased Lung Function and Exposure to Diisocyanates in Car Repair Painters : Observations on Re-examination 6 years After Initial Study. *Am. J. Ind. Med.* vol 17. p.299-310. (1990).
- (14) Delfosse M., Laureillard J. Cabines de peinture dans la carrosserie automobile. Dosage des isocyanates et des solvants. Conformité des cabines. Cahier de notes documentaires INRS, ND 1766-138-90, p.65-72. Paris, France. (1990).
- (15) Lesage J., Goyer N., Desjardins, F., Vincent J.-Y. et Perrault G. Workers'Exposure to Isocyanates. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* vol. 53, no 2, p.146-153. (1992).
- (16) Cornu J.-C., Leleu J. Étude d'une cabine de peinture fermée. Mesures anémométriques et pollution de l'air. Cahier de notes documentaires INRS-France, ND 1450-113-83, p.505-516. Paris, France (1983).
- (17) Institut national de recherche et de sécurité. Guide pratique de ventilation. 9. Ventilation des cabines et postes de peinture. INRS ED 663, 19 p. Paris, France. (1990).
- (18) Gouvernement de France. Décret N° 90-53 du 12 janvier 1990, arrêté d'application du 3 mai 1990 et circulaire DRT N° 90/7 du 9 mai 1990. Rapporté dans Législation sociale, N°6383, 11 juin 1990. Paris, France. (1990).
- (19) IRSST. Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail. Direction des Laboratoires. Montréal, Québec. (1992).
- (20) CSST. Comité ad hoc sur la révision de l'annexe A du Règlement sur la qualité du milieu de travail. Communication personnelle. Montréal, Québec. (1992).
- (21) Health and Safety Executive Occupational Exposure Limits 1992. Environmental Hygiene 40/92. Dans Handbook of Occupational Hygiene. Croner Publications Ltd. Volume 3. Londres, Angleterre. (1992).
- (22) ACGIH, 1992-1993 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents, Cincinnati, Ohio. (1992).

Annexe 1 : Variations de vitesses dans les cabines

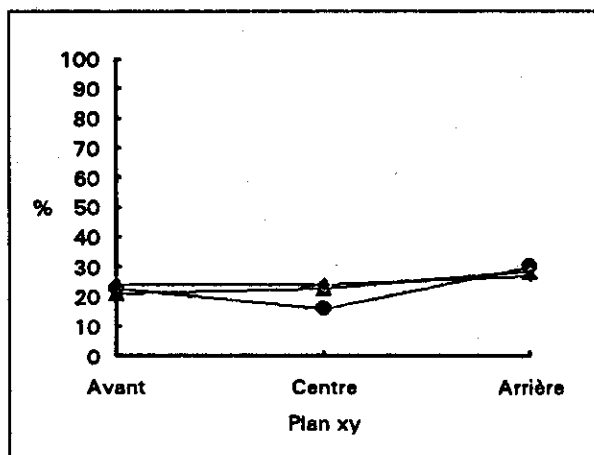
Cabine 3



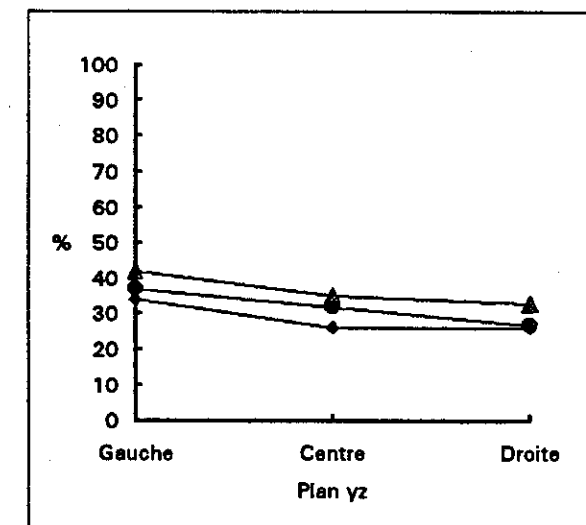
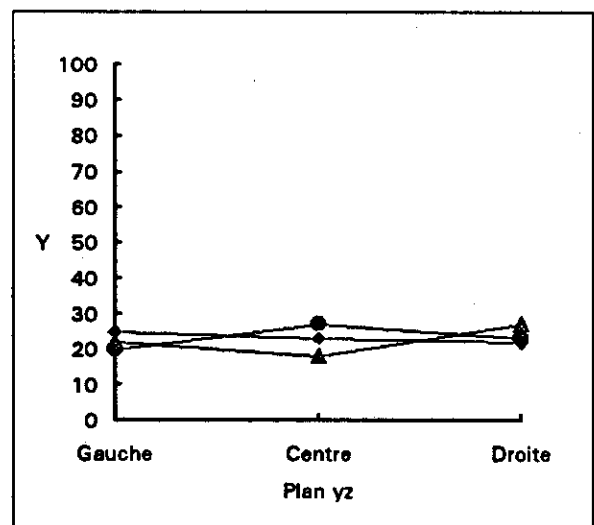
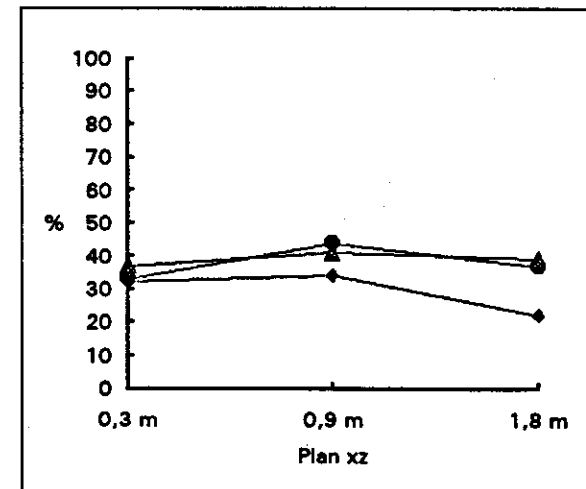
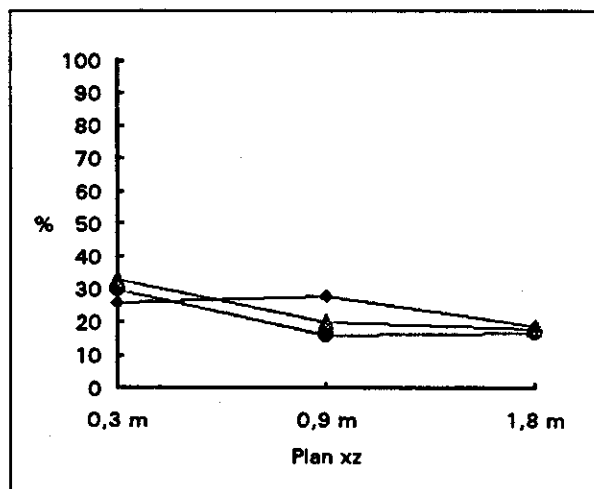
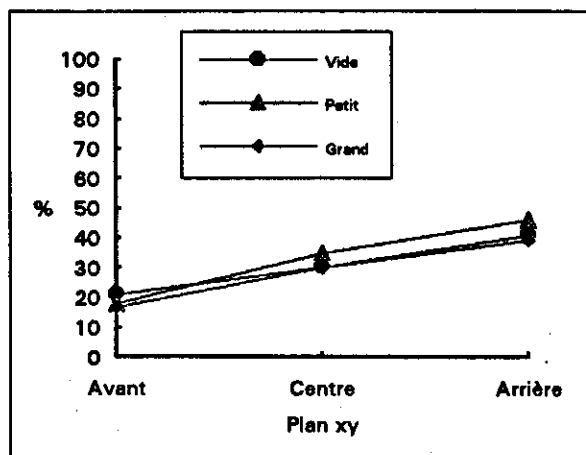
Cabine 5



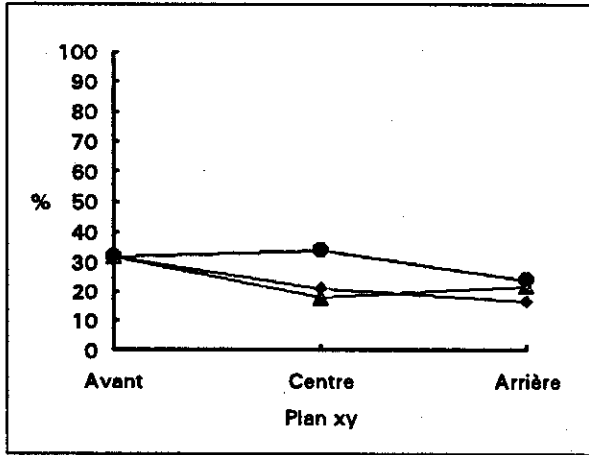
Cabine 6



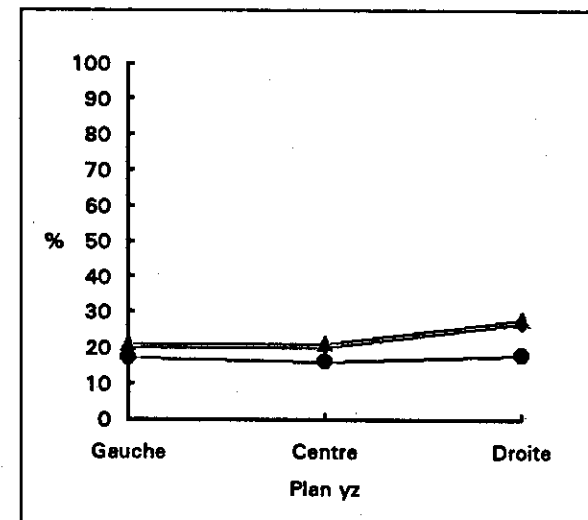
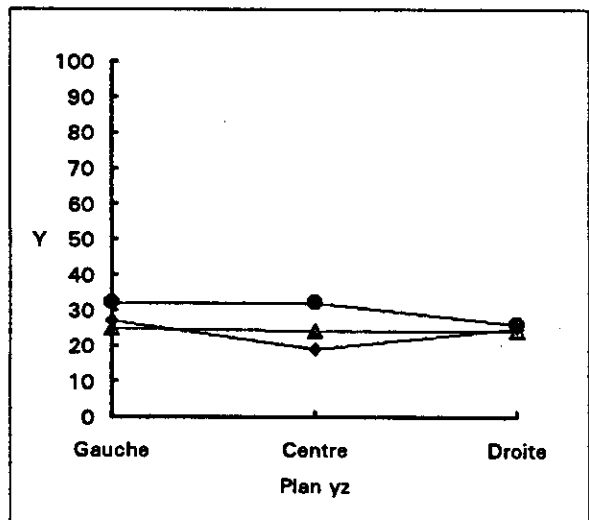
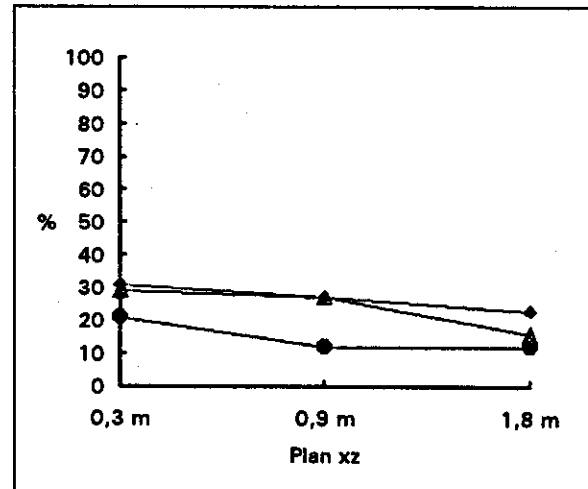
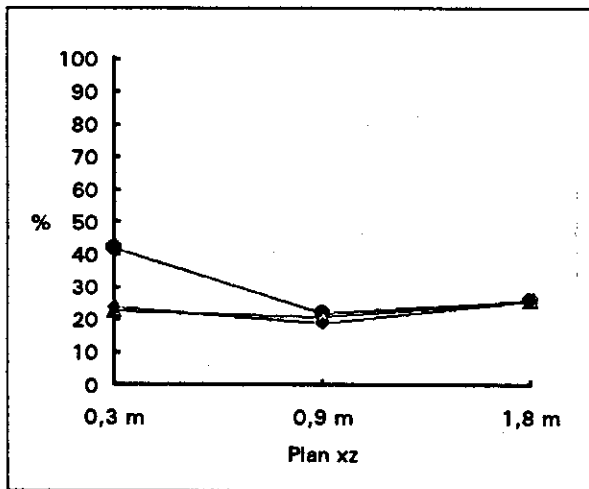
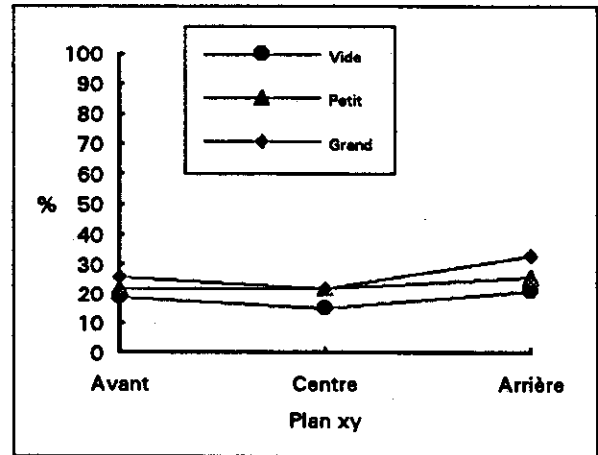
Cabine 7



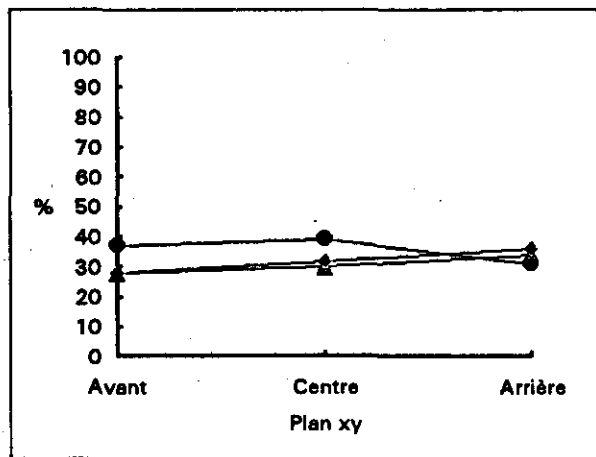
Cabine 8



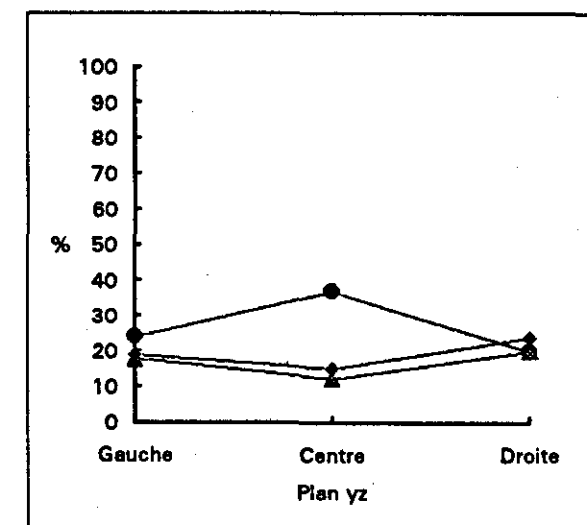
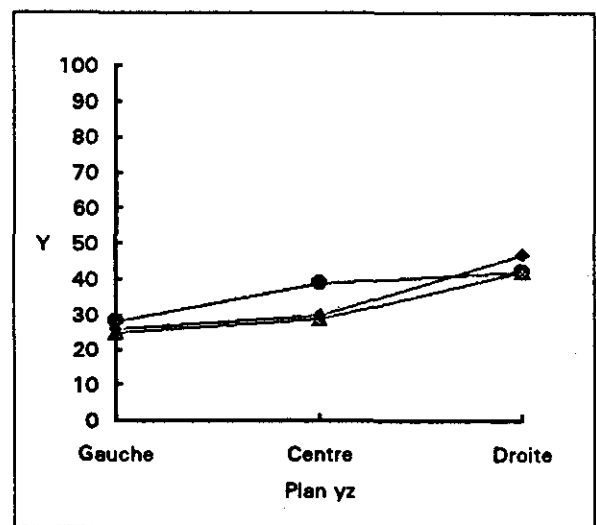
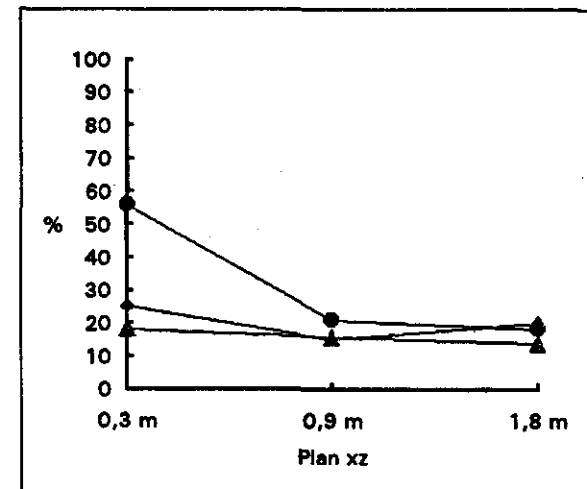
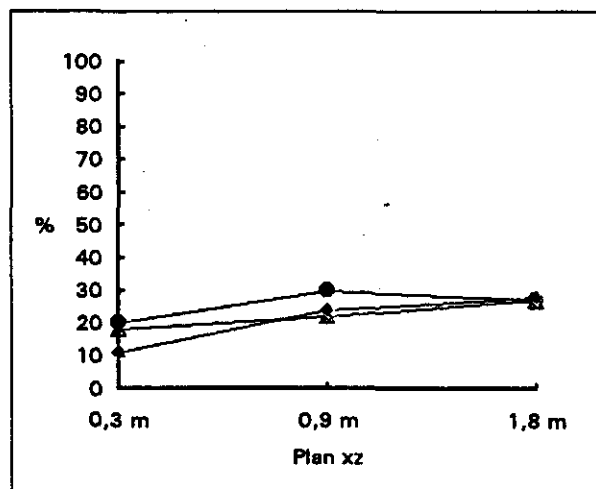
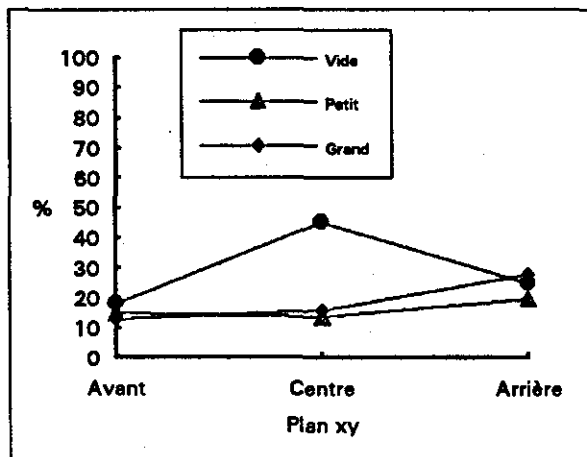
Cabine 9



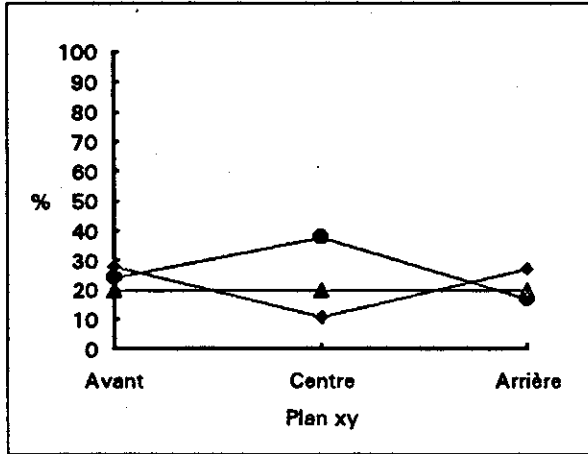
Cabine 10



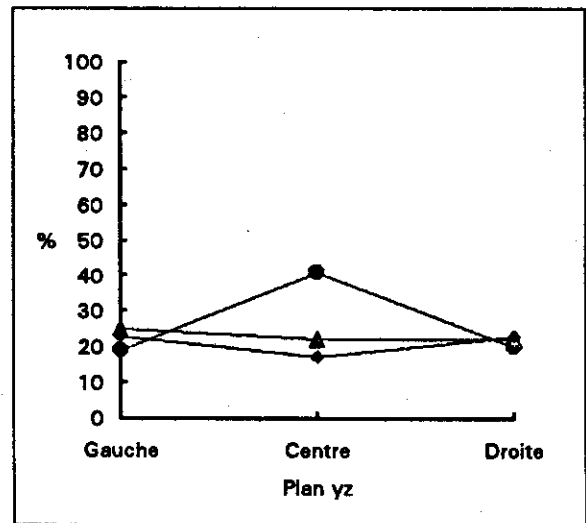
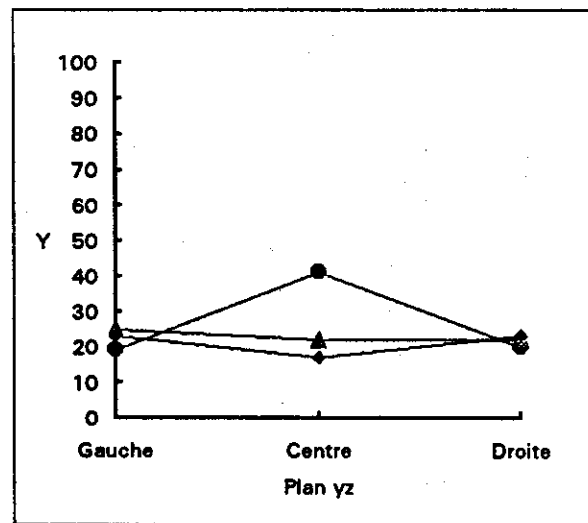
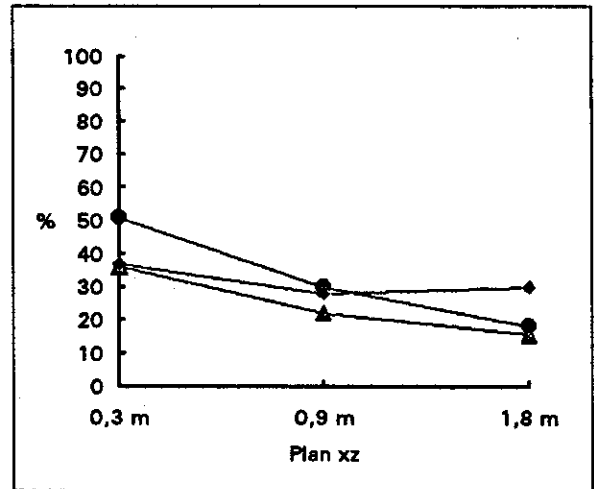
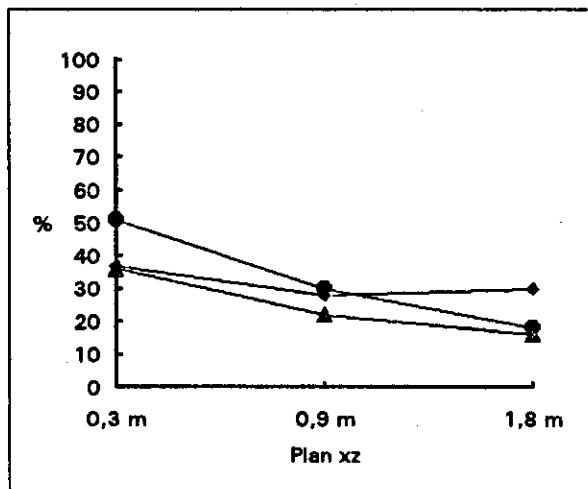
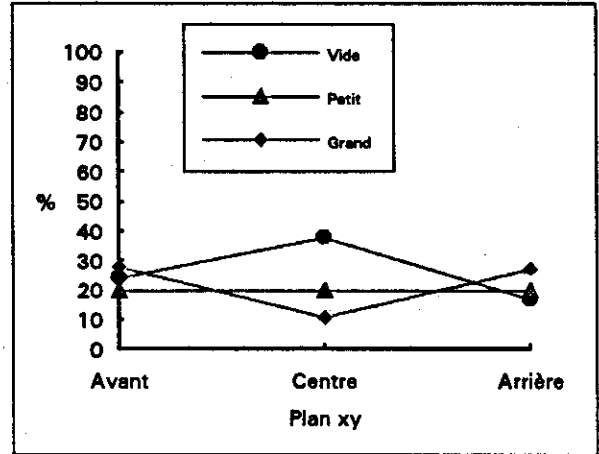
Cabine 11



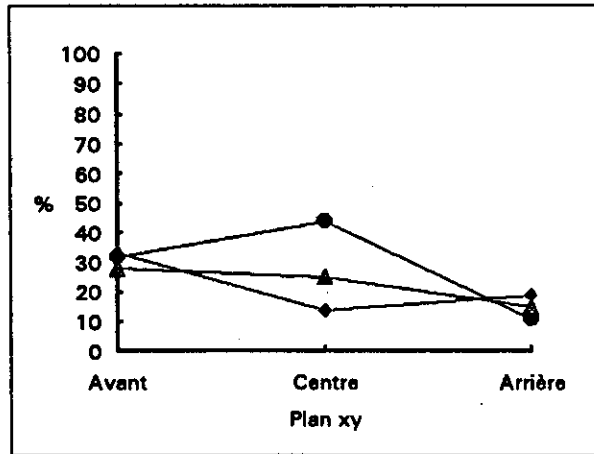
Cabine 12



Cabine 13



Cabine 14



Cabine 15

