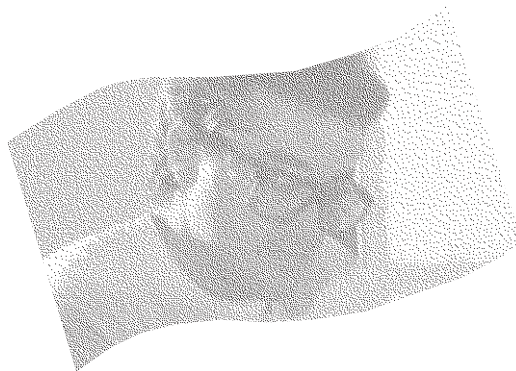


Effets des pics de concentration sur la neurotoxicité du styrène dans l'industrie de plastique renforcé de fibre de verre - Phase 1



Adolf Vyskocil, Robert Tardif, Claude Viau,
Gaétan Carrier, Michel Gérin, Ross Thuot,
Bernadette Ska, Alan Rossner,
Jean-Pierre Farant, Alice Turcot

Juillet 2002

R-309

RAPPORT



La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (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 subventionne 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, en téléphonant au 1-877-221-7046.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications ou gratuitement sur le site de l'Institut.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2002

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca

© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
juillet 2002.

Effets des pics de concentration sur la neurotoxicité du styrène dans l'industrie de plastique renforcé de fibre de verre - Phase 1

ÉTUDES ET
RECHERCHES

Adolf Vyskocil, Robert Tardif, Claude Viau,
Gaétan Carrier, Michel Gérin, Ross Thuot,
Département de santé environnementale et santé au travail, Université de Montréal

Bernadette Ska, Faculté de médecine, École d'orthophonie et audiologie, Université de Montréal

Alan Rossner, Jean-Pierre Farant,
Laboratoire environnemental, Université McGill

Alice Turcot, Direction régionale de santé publique de Chaudière-Appalaches

RAPPORT

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Internet de l'IRSST.

SOMMAIRE À CARACTÈRE GRAND PUBLIC

D'abord, une analogie

Pour bien expliquer l'objet de ce projet de recherche, nous allons d'abord recourir à une analogie. Supposons deux personnes de même poids qui sont invitées chez des amis. À midi, leur hôte débouche une bouteille de vin et leur offre à boire. La première personne commence à consommer très lentement de sorte qu'à huit heures du soir, elle a bu la moitié de la bouteille. La seconde personne commence à boire à 7 heures trente du soir et avale donc aussi une demi-bouteille, mais d'un seul trait. Leur hôte leur propose ensuite un jeu qui consiste à marcher sur une ligne droite, les yeux bandés. Il y a fort à parier que la seconde personne aura plus de difficulté à marcher droit.

L'industrie du plastique renforcé à la fibre de verre

Dans l'industrie du plastique renforcé à la fibre de verre (IPRFV), les procédés sont habituellement discontinus, c'est-à-dire que les travailleurs doivent étendre de la résine contenant diverses substances chimiques sur une grande surface, mais pendant une courte période. Il en est ainsi pour la fabrication d'une coque de bateau en fibre de verre ou encore d'une plate-forme de balcon. Pendant une période de 10, 15 ou 30 minutes, les travailleurs seront donc exposés à des concentrations assez élevées de produits dont le styrène. Puis, pendant parfois quelques heures, les autres opérations ne les exposeront que très peu au styrène. Au bout de la journée, si l'on calcule leur exposition moyenne, on déduira parfois qu'ils ont été assez peu exposés (comme dans le cas de la demi-bouteille de vin bue sur huit heures) alors que certains travailleurs auront été exposés à des fortes concentrations pendant une courte période (comme pour la demi-bouteille de vin bue en 30 minutes).

Les objectifs de la recherche

Le projet de recherche avait donc deux objectifs principaux. D'une part, nous voulions faire des mesures en continu dans les milieux de travail pour bien connaître les profils d'exposition des travailleurs de l'IPRFV. D'autre part, nous voulions savoir s'il est possible que de « fortes » expositions pendant de courtes périodes de temps puissent avoir un petit effet sur le système nerveux des gens.

Les mesures dans les entreprises

Pour la première partie, nous avons donc visité 10 entreprises comportant de 1 à 45 travailleurs directement exposés au styrène dans l'IPRFV. À l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse, nous avons mesuré les concentrations de styrène pendant les opérations d'étalement de la résine sur les surfaces à recouvrir comme les coques de bateau. Ces mesures ont été prises tout près de la zone respiratoire des travailleurs pour bien savoir ce

qu'ils respiraient vraiment. En comparant nos résultats à des mesures qui avaient déjà évalué l'exposition moyenne sur toute la journée de travail, nous avons constaté qu'il y avait effectivement des « pics » d'exposition qui allaient jusqu'à 16 fois la valeur moyenne. Par exemple, si la valeur moyenne était de 50 milligrammes par mètre cube, nos mesures pouvaient atteindre jusqu'à 800 milligrammes par mètre cube pendant une courte période de temps. Un des aspects préoccupants est que dans certains cas, les valeurs de styrène mesurées dépassent les normes prescrites par le Règlement sur la qualité du milieu de travail.

Les « pics » sont-ils toxiques?

Dans cette autre partie du projet, nous avons recruté des volontaires en bonne santé âgés de 20 à 50 ans et qui ne sont pas exposés à des produits qui ont un effet sur le système nerveux. Ceux-ci ont été exposés au styrène dans une chambre d'inhalation spécialement conçue pour contrôler très précisément les concentrations de styrène dans l'air. Bien sûr, le projet a d'abord été examiné par un comité d'éthique qui s'est assuré qu'aucune manœuvre prévue ne pouvait causer de tort aux volontaires. L'exposition au styrène n'a dépassé à aucun moment la valeur limite prescrite par le Règlement sur la qualité du milieu de travail, contrairement à ce que nous avons observé dans certaines usines. Nous avons contrôlé les concentrations de styrène de façon à exposer les volontaires soit à des concentrations stables ou encore de façon à imiter les « pics » rencontrés dans les usines. Nous avons soumis les volontaires à une série de tests qui vérifiaient s'il y avait des modifications très petites au niveau de leur système nerveux. Par exemple, nous avons évalué leur capacité à distinguer des couleurs qui se ressemblent beaucoup ou à détecter une odeur difficile à percevoir. Nous avons aussi testé leur mémoire, leur temps de réaction et la vigilance (capacité à rester concentré pendant toute la durée d'un test).

En conclusion

Pour résumer les résultats de ce projet, nous avons observé d'importants pics d'exposition au styrène dans l'industrie du plastique renforcé à la fibre de verre. Dans certains cas préoccupants, les concentrations dépassaient les normes québécoises pour l'exposition à ce produit. Par ailleurs, chez des volontaires, l'exposition au styrène à des concentrations qui ne dépassent pas les normes ne cause pas d'effet mesurable sur le système nerveux. Il faudra encore savoir si la situation est différente chez des travailleurs qui sont régulièrement exposés à ce solvant dans l'industrie.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	1
1 INTRODUCTION	12
2 ÉTAT DES CONNAISSANCES	12
3 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE	16
4 VOLET A : EXPOSITION DE VOLONTAIRES EN SITUATION D'EXPOSITION CONTRÔLÉE ET MODÉLISATION	18
4.1 ÉVALUATION DES EFFETS NEUROTOXIQUES.....	18
4.1.1 Méthodes	18
4.1.1.1 Recrutement des volontaires	18
4.1.1.2 Scénarios d'exposition en chambre d'inhalation	18
4.1.1.3 Exposition en chambre d'inhalation.....	20
4.1.1.4 Protocole pour l'évaluation neuropsychologique des effets du styrène	20
4.1.1.4.1 Description des tests	21
4.1.1.4.2 Déroulement de l'évaluation.	23
4.1.1.4.3 Analyse des résultats	23
4.1.2 Résultats.....	23
4.1.2.1 Sujets.....	23
4.1.2.2 Tests sensoriels	24
4.1.2.3 Tests neurocognitifs	26
4.1.2.4 Réponse des sujets aux questionnaires	27
4.1.3 Discussion	28
4.1.4 Conclusion	30
4.2 SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DE L'EXPOSITION ET MODÉLISATION	31
4.2.1 Méthodes.....	31
4.2.1.1 Exposition des volontaires	31
4.2.1.2 Surveillance biologique de l'exposition	31
4.2.1.3 Modélisation toxicocinétique à base physiologique (TCBP) de l'exposition au styrène	32
4.2.2 Résultats et discussion	38
4.2.2.1 Comparaison avec les indicateurs biologiques d'exposition du styrène	38
4.2.2.2 Simulations de la cinétique du styrène dans l'air expiré.....	39
4.2.2.3 Simulations des concentrations de styrène dans le sang et le cerveau	39
4.2.2.4 Simulations de la cinétique des métabolites urinaires du styrène	39
4.2.3 Conclusions.....	46
5 VOLET B : MESURAGE DE L'EXPOSITION EN MILIEU DE TRAVAIL	47
5.1 MÉTHODES	47
5.2 EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AU STYRÈNE DANS LES ENTREPRISES INDIVIDUELLES.....	48
5.2.1 Généralités	48
5.2.2 Entreprise A.....	48
5.2.3 Entreprise B.....	50
5.2.4 Entreprise C.....	51
5.2.5 Entreprise D	53
5.2.6 Entreprise E.....	54

5.2.7 <i>Entreprise F</i>	56
5.2.8 <i>Entreprise G</i>	57
5.2.9 <i>Entreprise H</i>	58
5.2.10 <i>Entreprise I</i>	60
5.2.11 <i>Entreprise J</i>	61
5.3 CONCLUSION GÉNÉRALE	62
6 BIBLIOGRAPHIE.....	81
7 APPLICABILITÉ DES RÉSULTATS	85
8 RETOMBÉES ÉVENTUELLES	85
ANNEXES	86
LISTE DE 12 ADJECTIFS UTILISÉS POUR L' AUTO-ÉVALUATION DE L' HUMEUR	86
PROFILS D' EXPOSITION DANS LES ENTREPRISES	89
RÉSULTATS - FIGURES	90

RÉSUMÉ

Introduction

La question de la révision de la valeur d'exposition moyenne pondérée sur 8 h (VEMP) pour les sujets professionnellement exposés au styrène est en ce moment l'objet d'une attention particulière de la part des organismes réglementaires. La valeur de la VEMP au Québec est actuellement de 213 mg/m³ (50 ppm). Les effets neurotoxiques sont considérés comme les effets critiques. Certains auteurs proposent d'abaisser la VEMP suite à la mise en évidence d'effets neurotoxiques à l'occasion d'études effectuées chez des travailleurs de l'industrie du plastique renforcé de fibre de verre (IPRFV) où l'on a pris en considération que les concentrations moyennes pondérées (CMP). Nous avons constaté que des pics de concentration de styrène surviennent régulièrement dans cette industrie, qu'ils atteignent de 3 à 6 fois les CMP sur 8 h et que leur durée se situe souvent entre 15 et 30 minutes. Il nous apparaît évident qu'il n'est pas justifié d'établir un lien entre l'exposition et les effets observés en se basant uniquement sur les CMP sur 8 h. Ceci pourrait conduire à une mauvaise estimation de la concentration seuil de styrène engendrant des manifestations toxiques.

Le but de ce projet était de vérifier l'impact des pics de concentrations de styrène sur la toxicité du solvant chez des travailleurs exposés. Cela pourrait conduire à formuler une recommandation quant à l'utilisation de la valeur d'exposition moyenne pondérée sur 8 h ou de la valeur d'exposition de courte durée pour les sujets professionnellement exposés au styrène.

Nous effectuons le projet en deux phases. I. Durant la première phase - laquelle fait l'objet du présent projet - nous avons évalué les effets aigus chez des volontaires en utilisant une batterie des tests de neurotoxicité (Volet A). Parallèlement, nous avons effectué des mesures visant à caractériser le type d'exposition au styrène (concentrations moyennes et pics) dans diverses usines au Québec afin de sélectionner les travailleurs qui seront invités à participer à la deuxième phase du projet (Volet B). Durant la deuxième phase - laquelle fera l'objet d'une proposition subséquente - nous allons évaluer chez des travailleurs exposés en usine, si les effets chroniques peuvent être associés à des pics de concentrations.

Objectifs de la recherche

Objectif général :

Contribuer à l'analyse du risque toxicologique pour la santé découlant de l'exposition au styrène.

Objectifs spécifiques :

- 1) vérifier si les effets neurotoxiques aigus sont liés à des pics de concentration de styrène chez des volontaires exposés à des CMP de styrène respectant les concentrations limites réglementaires actuelles;
- 2) estimer la concentration de styrène dans certains compartiments de l'organisme liée à des effets observés en utilisant la modélisation toxicocinétique des concentrations du styrène dans l'organisme humain en relation avec des changements des concentrations du styrène dans l'air;
- 3) formuler une recommandation quant à l'utilisation de la VEMP ou de la valeur d'exposition de courte durée (VECD) pour les sujets professionnellement exposés au styrène.
- 4) caractériser le type d'exposition au styrène (c'est à dire les concentrations moyennes et pics) dans diverses usines au Québec afin de sélectionner les travailleurs qui seront invités à participer à la deuxième phase du projet, laquelle fera l'objet d'une proposition subséquente et où nous allons évaluer chez des travailleurs exposés en usine, si les effets chroniques peuvent être associés à des pics de concentrations.

Volet A : Exposition de volontaires en situation d'exposition contrôlée et modélisation

Évaluation des effets neurotoxiques

Méthodes

Nous avons recruté 42 volontaires (hommes en bonne santé, âgés entre 20 et 50 ans, fumeurs et non-fumeurs) provenant de milieux industriels sans exposition professionnelle ou extra-professionnelle à des neurotoxiques.

Les volontaires ont été soumis à cinq scénarios d'exposition au styrène. Chaque volontaire a été exposé à 6 occasions pendant 6 heures (3 concentrations stables + 2 concentrations variables; les concentrations moyennes pondérées [CMP] étaient identiques dans les deux situations). En tout temps, les concentrations sont demeurées à l'intérieur des valeurs admissibles d'exposition en vigueur au Québec (valeur d'exposition moyenne pondérée de 213 mg/m^3 , valeur d'exposition de courte durée de 426 mg/m^3).

Scénario A. Exposition durant 6 heures à une concentration stable de styrène égale à 106 mg/m^3 .

Scénario B. Exposition durant 6 heures à une concentration moyenne égale à 106 mg/m^3 , avec des pics atteignant 213 mg/m^3 .

Scénario C. Exposition durant 6 heures à une concentration stable égale à 5 mg/m^3 (1 ppm), à deux occasions différentes, soit les séances 1 et 6. Cette concentration correspond à une exposition « nulle ». Afin d'éviter que les volontaires ne sachent qu'il ne sont pas soumis à une exposition au styrène, ce qui pourrait affecter les résultats des tests, nous avons choisi cette concentration qui génère une odeur détectable. Nous croyons que cette concentration ne produit aucun effet neurotoxique.

Scénario D. Exposition durant 6 heures à une concentration stable de styrène égale à 213 mg/m^3 .

Scénario E. Exposition durant 6 heures à une concentration moyenne de styrène égale à 213 mg/m^3 , avec des pics atteignant 426 mg/m^3 .

Le nombre de volontaires exposés à chaque séance a été de 5. Durant les expositions, les volontaires demeureraient assis et pouvaient s'adonner à des activités légères (p.ex., lecture). Au total, les volontaires ont été soumis à 6 séances d'exposition dans l'ordre suivant des scénarios : C, A, B, C, D, E. Cette étude a donc nécessité 42 séances d'exposition de 6 heures.

Les expositions ont été réalisées dans une chambre d'inhalation possédant un volume de 18 m^3 . La concentration de styrène dans la chambre a été vérifiée par deux méthodes distinctes. La première consiste à injecter, à des intervalles de 2 à 5 minutes, un volume précis d'air de la chambre (1ml) dans un chromatographe en phase gazeuse. La deuxième méthode permet de mesurer la concentration en continu à l'aide d'un spectrophotomètre à infrarouge de type Miran 1-A.

Les effets du styrène ont été évalués par le biais d'une comparaison intra-sujets; ainsi les performances obtenues aux tests passés avant l'exposition ont été comparées aux performances obtenues aux tests passés après les expositions aux différentes concentrations (moyennes et pics).

Les tests permettant d'évaluer les performances des sujets avant exposition ont été administrés le matin avant l'entrée dans la chambre. Pour chaque volontaire, il y a eu au moins 14 jours entre chaque journée d'exposition.

La batterie de tests contient les tests proposés par l'Organisation mondiale de la santé ainsi que des tests qui se sont montrés sensibles aux effets neurotoxiques.

Trois catégories d'épreuves ont été utilisées : des tests sensoriels, des tests neuropsychologiques et des questionnaires subjectifs d'évaluation. Les tests suivants (présentés par catégories) ont été utilisés:

Tests sensoriels

a) vision des couleurs : capacité de discrimination chromatique - test de vision des couleurs désaturées Lanthony D-15

b) vision des contrastes : seuils de sensibilité des contrastes mesurés par le test Vistech VCTS 6000

c) perception olfactive : seuil de perception olfactif (Olfactory Threshold test no11TM, Olfactolabs, Berkeley, CA.)

Tests neuropsychologiques

Tous les tests neuropsychologiques ont été présentés par ordinateur, ce qui permet de garantir une standardisation stricte des conditions de passation. Les tests sont issus de la batterie SPES de Iregren et al., mise au point à l'Institut national de santé au travail de Suède. Les épreuves suivantes ont été proposées à chaque sujet :

- a) temps de réaction simple
- b) temps de réaction aux stimuli congruents
- c) vitesse perceptivo-motrice (test de substitution de symboles)
- d) empan de chiffres
- e) poursuite visuo-motrice

Questionnaires d'auto-évaluation

- a) Auto-évaluation de l'humeur: 12 adjectifs décrivant l'humeur sont proposés et le sujet doit dire, pour chaque descripteur, où il se situe par rapport à une échelle en 7 catégories allant de pas du tout à tout à fait.
- b) Auto-évaluation des symptômes: l'échelle d'évaluation des symptômes comprend 17 symptômes.

Résultats

Les analyses sont faites sur l'ensemble des sujets pour les scénarios 1 à 5. Les données de la première exposition au scénario 5 (première journée dans la cabine d'exposition) n'ont pas été retenues. Elles sont considérées comme le reflet de l'adaptation à la situation et de la familiarisation avec les différents tests. En ce sens, elles ne constituent pas des données valides.

En tout, 42 sujets ont participé à l'expérience. Cependant, seuls les sujets ayant participé à tous les scénarios d'exposition ont été retenus pour les analyses puisque ces dernières comparent entre elles les mesures provenant de chaque scénario. Les données manquantes sont dues soit à l'absence des sujets lors d'une séance, soit à des problèmes factuels d'enregistrement des mesures. Les données complètes sont disponibles pour 24 sujets.

Tests sensoriels

a) Vision des couleurs

Pour les mesures à l'œil droit, les données de 23 sujets sont disponibles alors que pour l'œil gauche les données de 24 sujets sont disponibles. Ni pour l'œil droit, ni pour l'œil gauche, on n'observe d'effet du moment de la mesure, du type d'exposition ou du niveau de concentration.

b) Mesure de la sensibilité visuelle aux contrastes

Les données de 27 sujets sont disponibles pour l'œil gauche et pour l'œil droit. Les analyses n'indiquent aucun résultat significatif: la sensibilité aux contrastes ne varie ni avec le moment de la mesure, ni avec le type d'exposition, ni avec le niveau de concentration.

c) Mesure du seuil olfactif

On ne remarque aucun effet du moment de la mesure, du type d'exposition, ou du niveau de concentration.

Tests neurocognitifs

a) Temps de réaction simple

Les sujets (n=23) ne manifestent pas d'allongement des temps de réaction moyen (en millisecondes) calculé sur 5 minutes, quel que soit le moment de la mesure, le type d'exposition ou le niveau de concentration. Si l'on regarde de façon descriptive les résultats bruts, il semble y avoir une tendance à l'amélioration des temps de réaction. Cependant, cette différence est loin d'être statistiquement significative ($p=0.5986$). Une analyse a également été effectuée sur le temps de réaction de la dernière minute mais les résultats sont semblables. Les temps de réaction n'augmentent pas avec la fatigue. Le temps de réaction des sujets apparaît donc très stable.

b) Temps de réaction aux stimuli congruents: épreuve de vigilance

Deux mesures ont été prises pour vérifier l'état de vigilance : le temps de réaction et l'exactitude des réponses. En ce qui concerne le temps de réaction moyen pour les bonnes réponses, les sujets (n=23) ont une tendance significative ($p < 0.0001$) à réagir plus rapidement en fin de journée quel que soit le type d'exposition et le niveau de concentration. Il n'y a pas d'effet de ces deux dernières conditions. Aucun effet significatif n'est observé dans l'analyse du nombre de bonnes réponses.

c) Vitesse perceptivo-motrice (test de substitution de symboles)

Il y a un effet significatif du type d'exposition ($p < 0.0001$) et du moment de la mesure ($p < 0.05$). Les sujets ont un temps de réponse plus rapide d'une séance à l'autre et plus rapide le soir que le matin. Ce résultat pourrait correspondre à un effet d'apprentissage de la tâche. Il n'y a pas d'effet significatif sur le nombre d'erreurs.

d) Empan de chiffres (test de mémoire de chiffres)

Les sujets (n=24) manifestent une tendance significative à augmenter le nombre rappelé avec les séances successives ($p < 0.05$). Il n'y a pas d'effet significatif du moment de la mesure ni du niveau de concentration.

e) Poursuite visuo-motrice

Aucun effet n'est observé chez les sujets (n=23).

Réponse des sujets aux questionnaires

a) Mesure de l'humeur

Les données de 23 sujets ont été analysées. Aucun effet n'est significatif, ni le mode, ni la dose, ni le traitement ne modifie l'humeur des sujets, que ce soit sur les aspects stress ou les aspects attention-vigilance.

b) Présence de symptômes

Les questionnaires sur les symptômes rapportés sont disponibles pour 23 sujets. Plusieurs sujets (de 14 à 17 sur 23 selon les journées) rapportent des symptômes lors de l'évaluation pré-exposition, le matin avant d'entrer dans la chambre d'inhalation. Étant donné ce fait, une analyse descriptive des changements du nombre de symptômes rapportés a été faite. Le nombre de sujets qui rapportent une augmentation des symptômes est équivalent (scénario 1 et 3) ou inférieur (scénario 2, 5 et 4) au nombre de sujets dont les symptômes n'augmentent pas ou diminuent. On ne peut donc pas conclure à un effet du styrène sur la présence de ces symptômes.

Discussion

Les résultats montrent que l'exposition à des concentrations moyennes de 25 ppm et de 50 ppm, diffusées de manière stable ou avec des pics, n'influence pas les performances neurosensorielles des sujets. Ni l'olfaction, ni la vision des couleurs, ni la discrimination des contrastes ne sont altérées par l'absorption à ces concentrations de styrène.

Ces résultats sont inattendus, étant donné que d'autres recherches ont montré que le styrène a des effets néfastes sur l'olfaction et la vision. Ces recherches comparaient des travailleurs en usine exposés à des travailleurs non exposés. La durée de l'exposition des travailleurs (plusieurs mois ou années) peut influencer les résultats. Dans ces recherches, les mesures sont le reflet d'une exposition à long terme.

Les sujets ayant participé à notre étude sont des travailleurs peu ou pas exposés à des solvants. Aucun n'est exposé au styrène. Les mesures prises reflètent donc l'effet d'une exposition limitée (6 h) se produisant de façon sporadique et non consécutive (minimum 14 jours entre les expositions). Les doses d'exposition sont conformes aux normes en vigueur. En ce sens, nos résultats montrent qu'une exposition faible aiguë et limitée au styrène, peu importe le scénario d'exposition (notamment avec ou sans pics), n'affecte pas les capacités sensorielles olfactives et visuelles.

Les résultats montrent également que les modes d'exposition au styrène tels que réalisés dans notre protocole n'affectent pas négativement au terme de 6 heures d'exposition les capacités cognitives des sujets, que ce soit la mémoire, les temps de réaction, l'attention et la concentration. Cependant restent à étudier les effets immédiats d'une exposition forte et limitée dans le temps au styrène sur les capacités cognitives des sujets. Les recherches utilisant des travailleurs en usine ne rapportent généralement pas de différence dans le fonctionnement cognitif entre les travailleurs exposés et les travailleurs non exposés au styrène. Cette partie de nos résultats n'est donc pas en contradiction avec les observations rapportées à propos des travailleurs exposés en usine.

Les résultats montrent que l'exposition au styrène telle que réalisée dans notre protocole n'a pas d'influence sur les variations de l'humeur. Ni l'état de stress ni l'état de l'attention ne sont modifiés par les types d'exposition et les modes de diffusion. De même, les différents scénarios d'expositions n'ont pas d'effet distinctif sur l'apparition des symptômes.

Pour les capacités cognitives comme pour les variations de l'humeur et des symptômes, une différence importante entre notre recherche en chambre d'inhalation et les recherches sur les travailleurs en usine tient vraisemblablement au fait que nos sujets n'ont exercé aucune activité physique durant la période d'exposition, avec une ventilation alvéolaire, un débit cardiaque, un débit sanguin et un état de fatigue différents des travailleurs. Ce facteur peut certainement influencer l'absorption du styrène de même que le niveau de fatigue. En ce sens, nos résultats ne sont pas comparables aux résultats obtenus avec des travailleurs en usine. Par contre, un des avantages majeurs de notre étude est l'excellent contrôle que nous avons exercé à tout moment sur les concentrations de styrène dans la chambre d'inhalation.

En résumé, plusieurs facteurs ont pu influencer les résultats de notre étude : le fait que les sujets n'aient jamais été exposés au styrène, le fait que la durée d'exposition n'ait que de 6 heures, et le fait que les sujets aient été au repos lors de l'exposition. Afin de corroborer nos résultats, une étude avec des travailleurs exposés en usine semble indispensable.

Conclusion

Les résultats de l'exposition au styrène en chambre d'inhalation montrent que dans les conditions d'exposition selon les quantités et les modalités prévues par notre protocole, les volontaires ne subissent pas d'effets neurotoxiques apparents. Des contrôles avec les mêmes conditions d'exposition devraient être effectués en respectant les autres conditions auxquelles les travailleurs sont soumises dans la réalité des usines.

Surveillance biologique d'exposition et la modélisation

Méthodes

Les expositions au styrène ont été réalisées suivant les scénarios décrits précédemment. L'exposition des sujets volontaires a été évaluée à partir de la mesure des métabolites urinaires du styrène [acide mandélique (AM) et acide phénylglyoxylique (AP)] de même que sur la détermination du styrène inchangé dans l'air alvéolaire. Des échantillons d'urine et d'air expiré (1 à 2 litres) ont été prélevés à divers moments durant chacune des séances d'exposition. Les métabolites du styrène ont été mesurés à l'aide de la méthode développée par les laboratoires de l'IRSST (Méthode # 106-1, 108-1) laquelle est basée sur la chromatographie liquide à haute performance (HPLC). Une fois le prélèvement d'air expiré complété, nous avons procédé à la mesure du styrène par chromatographie en phase gazeuse.

La cinétique du styrène chez les volontaires humains a été décrite à l'aide d'un modèle toxicocinétique à base physiologique (TCBP) que nous avons adapté à partir de celui proposé par Perbellini et coll. et Ramsey and Andersen, auquel nous avons ajouté un compartiment identifié au cerveau. Les équations différentielles utilisées ont été résolues à l'aide du logiciel ACSL (Pharsight Co. CA).

Conclusions

Les résultats de la surveillance biologique de l'exposition basée sur la mesure des métabolites urinaires montrent 1) que les valeurs varient considérablement ($CV \geq 30\%$) entre les individus et que, 2) les doses internes de styrène découlant de l'exposition aux deux concentrations stables sont pratiquement similaires à celles après exposition aux mêmes concentrations moyennes pondérées avec des pics de concentration.

La mesure de la concentration de styrène dans l'air alvéolaire bien que reflétant l'exposition interne au styrène, est difficilement interprétable; le modèle TCBP utilisé dans cette étude n'a pas permis de décrire adéquatement la cinétique du styrène dans ce compartiment.

Le modèle montre clairement que les concentrations de styrène dans le cerveau varient en fonction des divers scénarios testés dans cette étude, notamment en ce qui concerne l'impact rapide des pics d'exposition sur les niveaux de styrène inchangé estimés dans cet organe cible.

Finalement l'excrétion des deux principaux métabolites urinaires du styrène est décrite de façon relativement acceptable malgré une légère surestimation des valeurs prédites comparativement aux valeurs expérimentales.

VOLET B : Mesurage de l'exposition en milieu de travail

Méthodes

Nous avons prévu étudier l'exposition au styrène dans une dizaine d'usines. En plus de l'exposition chronique, il a été nécessaire d'établir le profil d'exposition au styrène de quelques travailleurs représentatifs de chacun des postes de travail à l'intérieur des usines étudiées afin d'établir avec précision, dans le temps, le nombre et le niveau des divers pics de concentration.

L'estimation de l'exposition au cours des dernières années des travailleurs de chaque usine a été effectuée à partir des données des mesurages effectués par les équipes du secteur public dans le passé et à partir de notre mesurage de la concentration moyenne sur 20 jours en poste fixe dans chacune des entreprises. Les concentrations de styrène à long terme ont été établies en échantillonnant l'air des locaux de travail pendant un mois dans au moins deux postes fixes dans chacune des dix usines à raison de huit heures par jour et cinq jours par semaine (ou selon l'horaire précis des entreprises en question).

L'échantillonnage a été effectué en utilisant des canettes SUMMA selon une méthode élaborée par le United States Environmental Protection Agency telle que modifiée par Simon et Farant. Les canettes ont été placées le plus près possible des postes de travail des pulvérisateurs, des mouilleurs ou des lamineurs (2 mètres et plus du poste de travail). L'analyse du styrène a été faite par chromatographie en phase gazeuse.

La détermination de l'exposition des travailleurs aux pics de concentration de styrène a été faite lors d'une ou de deux journées de travail dans chacune des usines. Un chromatographe en phase gazeuse portatif a été utilisé à cette fin. L'appareil était couplé à un micro-ordinateur portable. Un technicien maintenait la sonde d'échantillonnage à tout moment le plus près possible de la zone respiratoire du travailleur. Tout au long de l'échantillonnage les diverses tâches effectuées par le travailleur visé ont été systématiquement notées en fonction du temps. Le chromatographe a été déplacé durant la journée pour permettre de suivre l'exposition de quelques travailleurs (notamment lamineur, peintre, débulleur, pulvérisateur). L'évaluation de l'exposition n'a été effectuée que chez des travailleurs ne portant pas de protection respiratoire contre le styrène.

Dans notre évaluation, nous avons comparé les concentrations moyennes mesurées pendant la durée des cycles avec la VECD de 426 mg/m³. Nous sommes conscient que la comparaison est approximative car la VECD est réglementée pour la durée de 15 minutes. Dans notre étude, la durée des cycles variait entre 3 et 67 minutes avec 66 % des cycles d'une durée de < 15 min, 26 % entre 15 et 30 min et seulement 8 % de > 30 min. Donc, dans la majorité de cas la concentration moyenne de 15 minutes devrait être plus basse car ce n'est que pendant ces cycles de travail où les travailleurs sont exposés à des plus hautes concentrations de styrène.

Également des expositions moyennes (mesurées avec les dosimètres passifs) durant la demi-journée de travail (à l'exception de l'entreprise E où la durée était de 8 heures)

étaient comparées avec la VEMP de 8 heures (213 mg/m^3) en supposant que ces concentrations sont représentatives de l'exposition pendant toute la journée de travail.

Les concentrations de courte durée (mesurées avec la micro-GC) qui ont dépassé 2 fois et plus la concentration moyenne de la journée, mesurée chez des travailleurs directement exposés dans l'entreprise (dernière mesure parmi des données historiques), étaient considérées comme des « pics de concentration ». Cette décision est justifiée par le ratio entre la VECD et la VEMP qui égale aussi 2.

Suite à l'évaluation de l'exposition, les travailleurs ont été classés dans un des 4 groupes qui seront formés pour la deuxième partie de notre étude : groupe faiblement exposé ($\frac{1}{2}$ VEMP) sans les pics, groupe faiblement exposé ($\frac{1}{2}$ VEMP) avec les pics, groupe fortement exposé (VEMP) sans les pics et groupe fortement exposé (VEMP) avec les pics.

Conclusion

L'exposition des travailleurs a été évaluée dans 10 entreprises québécoises. Parmi ces entreprises, une est la grande taille (45 travailleurs directement exposés), quatre sont de taille moyenne (14 à 19 travailleurs directement exposés) et cinq de petite taille (1 à 7 travailleurs directement exposés). Les entreprises produisent des pièces d'autobus et de camions, des baignoires et des douches, des bateaux, des balcons, des glissades et des escaliers. Le procédé de laminage utilisé consiste à déverser la résine manuellement ou avec un dispositif hydraulique. On peut aussi projeter la résine à l'aide d'un pistolet guidé manuellement ou robotisé. Toutes les entreprises utilisent une résine avec une concentration de styrène variant entre 20 et 80 %. Cinq entreprises utilisent un système de ventilation locale et générale assurant les mêmes conditions d'exposition des travailleurs en été et en hiver.

Les données historiques sur l'exposition des travailleurs ont démontré que dans une entreprise l'exposition moyenne des travailleurs est à la moitié de la VEMP, dans 3 entreprises, elle est au niveau de la VEMP et dans six entreprises, elle dépasse la VEMP. Dans deux entreprises, l'exposition moyenne est le double de la VEMP et dans une entreprise elle dépasse 2,6 fois la VEMP.

Notre mesurage des expositions de courte durée (mesurages pendant les différents cycles de travail d'une durée variant entre 3 et 88 minutes) a démontré que dans 7 entreprises les concentrations moyennes pendant certains cycles ont dépassé la VECD, dont dans quatre entreprises, plus de deux fois cette valeur.

Des pics de concentration importants (plus du double de la concentration moyenne de 8 heures) ont été mesurés dans 8 entreprises. Les pics ont atteint jusqu'à 16 fois la VEMP. La durée de pics variait entre 2 et 17 minutes, dont la majorité entre 2 et 5 minutes.

Dans une entreprise avec une concentration moyenne de la moitié de la VEMP, les concentrations de pics ont atteint 1781 mg/m^3 (4 fois la VECD) indiquant que la mesure des concentrations moyennes de 8 heures avec les dosimètres passifs n'est pas toujours suffisante pour évaluer l'exposition des travailleurs. Dans certains cas, l'exposition de courte durée peut largement dépasser la VECD même dans les entreprises où la concentration moyennes de 8 heures et bien au-dessous de la VEMP.

Nos mesures des expositions moyennes sur 12 à 21 jours, en utilisant les canettes SUMMA en poste fixe (distance de 2 mètres et plus du poste de travail), ont montré que les concentrations moyennes de styrène dans les aires de travail des travailleurs directement exposés sont 2 à 10 fois plus basses que les concentrations moyennes mesurées avec les dosimètres passifs dès qu'on s'éloigne de 2 à 5 mètres du poste de pulvérisation, de laminage ou de mouillage. On ne peut donc pas utiliser cette méthode (SUMMA) pour l'évaluation de l'exposition des travailleurs directement exposés.

À partir des données recueillies sur l'exposition des travailleurs, nous pourrions inclure dans la deuxième phase de notre étude approximativement 50 sujets dans le groupe fortement exposé (VEMP) sans pics, une vingtaine de sujets dans le groupe fortement exposés avec des pics et une quinzaine de sujets dans le groupe faiblement exposé ($1/2$ VEMP) sans pics. Il faudra poursuivre la recherche dans d'autres usines pour trouver des sujets faiblement exposés sans et avec des pics.

Compte tenu des résultats, les efforts de prévention visant la réduction à la source des émanations de styrène doivent se poursuivre.

1 Introduction

La question de la révision de la valeur d'exposition moyenne pondérée sur 8 h (VEMP) pour les sujets professionnellement exposés au styrène est en ce moment l'objet d'une attention particulière de la part des organismes réglementaires. La valeur de la VEMP au Québec est actuellement de 213 mg/m³ (50 ppm). Les effets neurotoxiques sont considérés comme les effets critiques. Certains auteurs proposent d'abaisser la VEMP suite à la mise en évidence d'effets neurotoxiques à l'occasion d'études effectuées chez des travailleurs de l'industrie du plastique renforcé de fibre de verre (IPRFV) où l'on a pris en considération que les concentrations moyennes pondérées (CMP). Nous avons constaté que des pics de concentration de styrène surviennent régulièrement dans cette industrie, qu'ils atteignent de 3 à 6 fois les CMP sur 8 h et que leur durée se situe souvent entre 15 et 30 minutes. Il nous apparaît évident qu'il n'est pas justifié d'établir un lien entre l'exposition et les effets observés en se basant uniquement sur les CMP sur 8 h. Ceci pourrait conduire à une mauvaise estimation de la concentration seuil de styrène engendrant des manifestations toxiques.

Le but de ce projet était de vérifier l'impact des pics de concentrations de styrène sur la toxicité du solvant chez des travailleurs exposés. Cela pourrait conduire à formuler une recommandation quant à l'utilisation de la valeur d'exposition moyenne pondérée sur 8 h ou de la valeur d'exposition de courte durée pour les sujets professionnellement exposés au styrène.

Nous effectuons le projet en deux phases. I. Durant la première phase - laquelle fait l'objet du présent projet - nous avons évalué les effets aigus chez des volontaires en utilisant une batterie des tests de neurotoxicité (Volet A). Parallèlement, nous avons effectué des mesures visant à caractériser le type d'exposition au styrène (concentrations moyennes et pics) dans diverses usines au Québec afin de sélectionner les travailleurs qui seront invités à participer à la deuxième phase du projet (Volet B). Durant la deuxième phase - laquelle fera l'objet d'une proposition subséquente - nous allons évaluer chez des travailleurs exposés en usine, si les effets chroniques peuvent être associés à des pics de concentrations.

2 État des connaissances

L'analyse critique de la littérature concernant la relation entre l'exposition au styrène et les effets sur la santé qui a fait l'objet de notre récent rapport à l'IRSST (1) nous a mené aux conclusions suivantes :

Les études menées chez des travailleurs exposés aux vapeurs de styrène en milieu de travail suggèrent que les effets neurotoxiques sont probablement les indicateurs de toxicité du styrène les plus sensibles. Les données disponibles ne permettent cependant pas d'établir de NOAEL (no observed adverse effect level) ou de LOAEL (lowest

observed adverse effect level) pour les effets neurotoxiques suite à des expositions par inhalation, aiguë ou chronique. Seuls quelques travaux permettent de distinguer les effets à court terme des effets à long terme.

Dans plusieurs études, l'exposition était mal documentée, ne rapportant que les concentrations moyennes, mesurées le jour de même de l'échantillonnage. Dans ces études, on a donc négligé les données sur les pics d'exposition à court terme qui, pourtant, pourraient contribuer substantiellement à l'induction d'effets aigus, ainsi que les données sur les expositions à long terme qui pourraient donner de l'information sur les effets chroniques. Plusieurs études ne se sont basées que sur la détermination de métabolites dans les échantillons biologiques pour évaluer le niveau d'exposition ; il faut se rappeler que l'exposition excède souvent 640 mg/m^3 dans l'atmosphère du milieu de travail et qu'à ce niveau la relation entre la concentration urinaire en acide mandelique et le niveau d'exposition du styrène dans l'air n'est plus linéaire.

Un petit nombre de sujets était généralement utilisé dans ces études, surtout quand des sous-groupes étaient formés, et souvent les facteurs confondants n'étaient pas contrôlés adéquatement. L'on a souvent essayé d'apparier les groupes témoin et exposé, mais la perte de puissance statistique résultant de la stratification n'a généralement pas permis de tirer des conclusions convaincantes de ces études.

La majorité des études comportaient un examen des sujets peu de temps après l'exposition, ce qui correspond à la période durant laquelle se manifestent les effets aigus. Rarement a-t-on utilisé un protocole permettant d'étudier les effets chroniques.

À partir des données de la littérature, nous avons évalué les profils d'exposition des travailleurs au styrène dans l'industrie de la fabrication d'articles en plastique renforcé à la fibre de verre, milieu dans lequel ont porté la presque totalité des études (voir section 5 dans l'Annexe de notre rapport). Cette évaluation a confirmé nos suggestions présentées précédemment.

Dans l'IPRFV, les concentrations de styrène varient considérablement dans le temps pour un même site d'échantillonnage et dépendent des procédures de fabrication. Par exemple, durant le laminage, quand les résines sont appliquées manuellement ou par pulvérisation dans des moules ouverts, les pics de concentration atteignent généralement 3 à 6 fois les CMP (8 h) pour toutes les CMP rapportées (37 - 714 mg/m^3). Des études récentes, effectuées dans divers pays, ont rapporté l'existence de pics d'exposition d'une durée entre 15 et 30 minutes, suggérant que cela est un phénomène courant dans cette industrie.

Les études toxico-cinétiques montrent que la concentration de styrène dans le sang atteint rapidement un équilibre après une exposition de courte durée et qu'elle correspond à la durée des pics.

Il est difficile de dresser un portrait cohérent des effets aigus du styrène, vu la grande variété des tests et des procédures d'exposition qui ont été utilisés chez des **volontaires**.

Toutefois, il semble que le nombre de symptômes augmente lorsque l'exposition aiguë se situe au-delà de 426 mg/m^3 de styrène, et peut être même en dessous de ce seuil. Il n'existe pas de résultats cohérents pour les autres variables mesurées.

Dans l'évaluation critique que nous avons faite des **études épidémiologiques** sur la neurotoxicité du styrène, nous avons toujours pris en considération l'existence de pics de concentrations et leur conséquence possible sur l'expression de la toxicité du styrène.

Nous avons préparé une grille de la fiabilité des études lorsqu'on veut les utiliser afin de déterminer un NOAEL. Les éléments évalués concernent (1) la qualité de la présentation de l'exposition des sujets au styrène et (2) la qualité de l'évaluation des effets nocifs, y compris le contrôle des facteurs confondants. Ces éléments nous ont amené à proposer une cote globale de fiabilité pour chaque étude. En prenant en considération cette classification, nous avons proposé un seuil de concentration du styrène pour chaque effet neurotoxique et nous avons suggéré un degré de fiabilité pour chaque seuil.

Les symptômes de l'exposition au styrène sont typiques de ceux d'une dépression du **système nerveux central**. Les expositions à des niveaux moyens de 37 mg/m^3 et plus ont résulté en un certain nombre de signes et de symptômes, tels des maux de tête, de la fatigue, des vertiges, des nausées, des changements d'humeur, des malaises, des baisses d'attention, mais toutes ces études, à l'exception d'une seule, comportaient des lacunes au niveau du protocole expérimental. Ainsi, seul le travail de Triebig et coll. (2) fournit des indications précises sur la présence de symptômes pré narcotiques à des concentrations de styrène supérieures à 426 mg/m^3 . Mais ce seuil pourrait bien être plus bas. Les études de Flodin et coll. (3) et de Mergler et coll. (4) dont la fiabilité a été estimée faible, ainsi que des études d'Edling et coll. (5) et de Sassine et coll. (6) dont la fiabilité est moyenne, suggèrent la présence de symptômes lorsque les concentrations atteignent ou excèdent 213 mg/m^3 pendant 15 minutes.

Quatre études ont mesuré des **EEG** anormaux chez des travailleurs exposés à moins de 213 mg/m^3 de styrène. Cependant, à cause de nombreuses lacunes dans les études présentées, il est difficile de conclure définitivement que les effets observés sont dus uniquement à l'exposition au styrène et, par conséquent, de définir des seuils de concentration en deçà desquels aucun effet ne devrait apparaître.

Sur les huit études que nous avons revues, sept rapportaient un **temps de réaction** prolongé lors d'une exposition au styrène. Dans l'une d'elles (7), cet effet était observable à une concentration moyenne pondérée par le temps aussi faible que 37 mg/m^3 . Prenant en considération les concentrations des pics, les données disponibles suggèrent avec une fiabilité élevée que le styrène agit sur le temps de réaction (effet aigu) lorsque les concentrations de ces pics atteignent ou excèdent des valeurs situées entre 120 et 240 mg/m^3 pendant 15 minutes (basé sur l'étude de Kjellberg et al. (7)); nous proposons que la valeur à ne pas excéder soit 240 mg/m^3 plutôt que 120 mg/m^3 compte tenu des études de Mackay et Kelman (8) et Gotell et coll. (9), lesquelles suggèrent que les effets sur le temps de réaction surviennent à des concentrations beaucoup plus élevées que 240 mg/m^3 .

Plusieurs études fournissent des preuves convaincantes que le styrène pourrait induire une altération précoce de la **perception des couleurs** dont la sévérité est dépendante de la dose d'exposition. Basé sur l'étude de Chia et coll. (10) dont la fiabilité est élevée, un seuil d'atteinte à des concentrations de pics d'environ 240 mg/m^3 pendant 15 minutes semble réaliste. De plus, il semblerait que des travailleurs exposés pendant une durée prolongée présenteraient une diminution de la perception des couleurs à des niveaux d'expositions encore plus faibles.

Des batteries de **tests neurocomportementaux** effectués chez des travailleurs exposés au styrène ont mis en évidence des effets aigus (11,12) et chroniques (13). Une étude (2) n'a trouvé aucune différence dans les scores d'une batterie de 12 tests entre les sujets exposés et les témoins pour des niveaux d'exposition allant jusqu'à 1069 mg/m^3 , avec des pics pouvant atteindre 2556 mg/m^3 . Toutes les études positives comportaient des lacunes majeures ou ne recensaient que quelques anomalies. De ce fait, il n'est pas possible de déterminer, avec une fiabilité élevée, un seuil de concentration pour les effets neurocomportementaux observés. En se basant sur l'étude de Mutti et coll. (14), et en prenant en considération la contribution possible des pics, le seuil pourrait se situer à des concentrations de pics supérieures à 300 mg/m^3 pendant 15 minutes.

Des sept études sur la **vitesse de conduction nerveuse** décrites dans notre rapport, cinq ont rapporté des effets nocifs dus à l'exposition au styrène à des niveaux allant de moins de 21 jusqu'à 570 mg/m^3 . Cependant, ces études comportaient plusieurs lacunes majeures. Il existe des données convaincantes qui permettent de conclure qu'une exposition à long terme à des concentrations en styrène n'excédant pas 300 mg/m^3 pendant 15 minutes ne peut causer des effets nocifs sur la vitesse de conduction nerveuse.

Trois études concernant l'**otoneurotoxicité** chez des travailleurs exposés au styrène ont été présentées dans notre revue. L'étude de Moller et coll. (15), relativement bien documentée, suggère que le styrène affecte certains paramètres de l'équilibre à des niveaux de pics atteignant des valeurs qui sont inférieures à 300 mg/m^3 .

Les **changements neurochimiques** induits chez des travailleurs exposés au styrène ont été étudiés dans trois articles. Deux études provenant du même laboratoire ont rapporté des résultats contradictoires. Aucune conclusion ne peut être tirée en ce moment sur ce type d'effet.

Notre intérêt concernant l'étude des effets de l'exposition à des pics de concentration de styrène a fait l'objet d'un article récent par d'autres chercheurs. Pierce et coll. (16) ont étudié les relations entre l'exposition, la concentration sanguine du styrène et certains effets neurotoxiques chez 4 volontaires exposés à 21 - 852 mg/m^3 styrène pendant 4 heures en utilisant 4 profils d'exposition y compris deux profils présentant des pics de concentrations. Aucun effet n'a été observé dans les deux tests neurologiques effectués. Toutefois, cette étude présente deux lacunes majeures : a) petit nombre des sujets (2 ou 3 pour chaque expérience); b) seulement 2 tests neurologiques ont été utilisés. Des différences interindividuelles dans le métabolisme et dans la toxicité du styrène étant bien

connues, on ne peut pas exclure que les volontaires aient été moins sensibles aux effets du styrène. Il est difficile de tirer une conclusion claire sur la neurotoxicité sur la seule base de deux tests neurologiques ne couvrant pas tous les aspects de la neurotoxicité attribuée au styrène et en plus effectués sous les conditions décrites dans cette étude. Néanmoins, en utilisant la modélisation toxicocinétique, les auteurs ont simulé des concentrations de styrène dans le cerveau et ils ont montré des corrélations entre les pics de concentrations de styrène inhalé ou les pics de concentrations de styrène dans le cerveau et les effets neurotoxiques.

Il n'existe pas de cartographie de l'exposition au styrène des travailleurs québécois de l'IPRFV. La plupart des mesurages sont effectués par les équipes du secteur public pour les besoins de l'élaboration des programmes de santé spécifiques aux établissements en vertu de la Loi sur la santé et la sécurité du travail. À titre d'exemple l'IRSSST rapporte 311 mesurages de styrène dans les industries du caoutchouc et des matières plastiques en 1992. Or, comme l'indique l'IRSSST, la « représentativité des périodes échantillonnées et le type de prélèvement (poste fixe ou échantillonnage personnel) ne sont pas disponibles pour l'interprétation des résultats » (27). Par ailleurs, bien que le système de surveillance médico-environnementale de la santé des travailleurs (SMEST) soit en place dans les CLSC depuis le début des années 90, il ne permet pas d'obtenir une image globale de l'exposition chronique et aiguë des travailleurs au styrène (28). Même les travaux de chercheurs québécois visant à étudier les effets neurotoxiques du styrène dans l'IPRFV n'ont mesuré l'exposition des travailleurs qu'à l'occasion d'une seule journée d'échantillonnage par usine (29). Il nous apparaît donc nécessaire de viser, dans cette partie de l'étude, à documenter l'exposition chronique et aiguë au styrène dans l'IPRFV afin de nous guider dans le choix des usines et des travailleurs qui participeront à la deuxième phase de notre étude.

3 Objectifs de la recherche

Objectif général :

Contribuer à l'analyse du risque toxicologique pour la santé découlant de l'exposition au styrène.

Objectifs spécifiques :

- 1) vérifier si les effets neurotoxiques aigus sont liés à des pics de concentration de styrène chez des volontaires exposés à des CMP de styrène respectant les concentrations limites réglementaires actuelles;
- 2) estimer la concentration de styrène dans certains compartiments de l'organisme liée à des effets observés en utilisant la modélisation toxicocinétique des concentrations du styrène dans l'organisme humain en relation avec des changements des concentrations du styrène dans l'air;

3) formuler une recommandation quant à l'utilisation de la VEMP ou de la valeur d'exposition de courte durée (VECD) pour les sujets professionnellement exposés au styrène.

4) caractériser le type d'exposition au styrène (c'est à dire les concentrations moyennes et pics) dans diverses usines au Québec afin de sélectionner les travailleurs qui seront invités à participer à la deuxième phase du projet, laquelle fera l'objet d'une proposition subséquente et où nous allons évaluer chez des travailleurs exposés en usine, si les effets chroniques peuvent être associés à des pics de concentrations.

4 Volet A : Exposition de volontaires en situation d'exposition contrôlée et modélisation

4.1 Évaluation des effets neurotoxiques

4.1.1 Méthodes

4.1.1.1 Recrutement des volontaires

Nous avons recruté 42 volontaires (hommes en bonne santé, âgés entre 20 et 50 ans, fumeurs et non-fumeurs) provenant de milieux industriels sans exposition professionnelle ou extra-professionnelle à des neurotoxiques. Lors de l'entrevue, les personnes ont été interrogées sur l'exposition aux encres et teintures, colles ou substances adhésives, gazoline ou carburant, peinture, colorant ou vernis, solvant, décapant ou dégraissant, soudure et autres produits chimiques industriels (p. ex. plomb, mercure, manganèse). Trois volontaires ont abandonné pendant le projet. La scolarité des volontaires était équivalente à celle des travailleurs de l'industrie de plastique renforcé de fibre de verre (la majorité avec une formation de niveau de 4^e ou de 5^e secondaire). Ils disposaient d'au moins une semaine entre l'invitation à participer et le moment où ils devaient signifier leur décision. Ils ont été entièrement libres de participer ou non au projet. Les volontaires se sont soumis à un examen médical sous la supervision du docteur Gaétan Carrier.

Le protocole de cette étude a reçu une approbation du Comité d'éthique de la recherche de la Faculté de médecine de l'UdeM. Les volontaires ont été rétribués pour leur participation à raison de 150.00 \$/jour. La rétribution a été faite sur une base journalière et n'a pas impliqué l'obligation de participer à l'ensemble du protocole. Ainsi, un volontaire pouvait à tout moment se retirer de l'étude sans qu'il en soit pénalisé.

4.1.1.2 Scénarios d'exposition en chambre d'inhalation

Les volontaires ont été soumis à cinq scénarios d'exposition au styrène. Chaque volontaire a été exposé à 6 occasions pendant 6 heures (3 concentrations stables + 2 concentrations variables; les concentrations moyennes pondérées [CMP] étaient identiques dans les deux situations). En tout temps, les concentrations sont demeurées à l'intérieur des valeurs admissibles d'exposition en vigueur au Québec (valeur d'exposition moyenne pondérée de 213 mg/m³, valeur d'exposition de courte durée de 426 mg/m³).

Scénario A. Exposition durant 6 heures à une concentration stable de styrène égale à 106 mg/m³.

Scénario B. Exposition durant 6 heures à une concentration moyenne égale à 106 mg/m³, selon le schéma suivant :

Durée	Concentration (mg/m ³)
2 heures	85
15 minutes	213
1 heure	85
15 minutes	213
1 heure	85
15 minutes	213
1 heure	85
15 minutes	213
Total : 6 heures	CMP : 106 mg/m³

Scénario C. Exposition durant 6 heures à une concentration stable égale à 5 mg/m³ (1 ppm), à deux occasions différentes, soit les séances 1 et 6. Cette concentration correspond à une exposition « nulle ». Afin d'éviter que les volontaires ne sachent qu'ils ne sont pas soumis à une exposition au styrène, ce qui pourrait affecter les résultats des tests, nous avons choisi cette concentration qui génère une odeur détectable. Nous croyons que cette concentration ne produit aucun effet neurotoxique.

Scénario D. Exposition durant 6 heures à une concentration stable de styrène égale à 213 mg/m³.

Scénario E. Exposition durant 6 heures à une concentration moyenne de styrène égale à 213 mg/m³, selon le schéma suivant :

Durée	Concentration (mg/m ³)
2 heures	170
15 minutes	426
1 heure	170
15 minutes	426
1 heure	170
15 minutes	426
1 heure	170
15 minutes	426
Total : 6 heures	CMP : 213 mg/m³

Les scénarios d'exposition B et E se veulent représentatifs des conditions qui prévalent dans l'industrie où les travailleurs sont exposés à des pics de concentrations.

Il va de soi qu'en ce qui concerne ces deux derniers scénarios, les conditions réelles d'exposition diffèrent sensiblement de celles qui apparaissent plus haut. En effet, de façon pratique, il est impossible d'atteindre instantanément les concentrations visées dans les chambres d'inhalation. Un délai égal à environ 10-15 minutes est nécessaire. Les valeurs des CMP réelles ont donc été calculées en conséquence.

Le nombre de volontaires exposés à chaque séance a été de 5. Durant les expositions, les volontaires demeuraient assis et pouvaient s'adonner à des activités légères (p.ex., lecture). Au total, les volontaires ont été soumis à 6 séances d'exposition dans l'ordre suivant des scénarios : C, A, B, C, D, E. Cette étude a donc nécessité 42 séances d'exposition de 6 heures.

4.1.1.3 Exposition en chambre d'inhalation

Les expositions ont été réalisées dans une chambre d'inhalation possédant un volume de 18 m^3 . Les concentrations de styrène ont été produites par dilution de vapeurs de styrène dans un volume d'air lequel a été mélangé à l'air pré-purifié entrant dans la chambre à un débit de $4,5 \text{ m}^3/\text{minute}$ (17).

La concentration de styrène dans la chambre a été vérifiée par deux méthodes distinctes. La première consiste à injecter, à des intervalles de 2 à 5 minutes, un volume précis d'air de la chambre (1ml) dans un chromatographe en phase gazeuse. La deuxième méthode permet de mesurer la concentration en continu à l'aide d'un spectrophotomètre à infrarouge de type Miran 1-A (17).

Les nombreuses études que nous avons réalisées jusqu'à maintenant ont montré que les concentrations d'exposition produites se situaient toujours à $\pm 3\%$ des concentrations visées au départ (17).

4.1.1.4 Protocole pour l'évaluation neuropsychologique des effets du styrène

Les effets du styrène ont été évalués par le biais d'une comparaison intra-sujets; ainsi les performances obtenues aux tests passés avant l'exposition ont été comparées aux performances obtenues aux tests passés après les expositions aux différentes concentrations (moyennes et pics).

Les tests permettant d'évaluer les performances des sujets avant exposition ont été administrés le matin avant l'entrée dans la chambre. Pour chaque volontaire, il y a eu au moins 14 jours entre chaque journée d'exposition. Cette mesure répétée nous a donné une indication de la performance moyenne de base de chacun des sujets ainsi qu'une mesure de la fidélité test-retest des différentes épreuves. Une seconde prise de mesure des performances de base est provenue de l'évaluation qui a suivi la journée en chambre avec exposition nulle ($5 \text{ mg}/\text{m}^3$). Notons qu'une mesure a aussi été effectuée avant l'entrée dans la chambre pour cette exposition « nulle ». Cette mesure a permis de contrôler l'effet

fatigue ainsi que l'effet chronobiologique. Enfin, les sujets ont été testés immédiatement après les différents scénarios d'exposition afin d'en évaluer les effets. Un même sujet passait ses séances le même jour de la semaine.

Ce plan a permis de comparer les effets de différents scénarios d'exposition entre eux ainsi qu'en référence à la ligne de base qui correspond à l'absence d'exposition. Il a permis de plus d'avoir un contrôle de la stabilité des mesures. Ni les travailleurs, ni les personnes administrant les tests n'ont été informés du scénario d'exposition.

4.1.1.4.1 Description des tests

La batterie de tests contient les tests proposés par l'Organisation mondiale de la santé ainsi que des tests qui se sont montrés sensibles aux effets neurotoxiques (18, 19). Les différentes tâches ont été choisies pour répondre aux critères suivants:

- sensibilité aux effets neurotoxiques précoces
- stabilité test-retest
- mesures détaillées
- mesures précises
- standardisation des consignes et des conditions de passation
- effet d'apprentissage réduit
- durée de l'évaluation ne dépassant pas 1h30
- contrôle de l'effet de fatigue

Trois catégories d'épreuves ont été utilisées : des tests sensoriels, des tests neuropsychologiques et des questionnaires subjectifs d'évaluation. Les tests suivants (présentés par catégories) ont été utilisés:

Tests sensoriels

a) Vision des couleurs : capacité de discrimination chromatique - test de vision des couleurs désaturées Lanthony D-15. Le sujet doit replacer par ressemblance chromatique 15 pastilles de couleur disposées au hasard devant lui. Les mesures sont effectuées de façon monoculaire. L'indice sans erreur est de 1.

b) Vision des contrastes : seuils de sensibilité des contrastes mesurés par le test Vistech VCTS 6000.

c) Perception olfactive : seuil de perception olfactif (Olfactory Threshold test no11TM, Olfactolabs, Berkeley, CA.)

Tests neuropsychologiques

Tous les tests neuropsychologiques ont été présentés par ordinateur, ce qui permet de garantir une standardisation stricte des conditions de passation. Les tests sont issus de la batterie SPES de Iregren et al., mise au point à l'Institut national de santé au travail de

Suède (19). La fiabilité des tests retenus varient de 0,70 à 0,94 ce qui peut être considéré comme de très bon à excellent. Les épreuves suivantes ont été proposées à chaque sujet :

a) Temps de réaction simple: répondre à l'aide d'une manette de jeu le plus vite possible dès qu'un carré apparaît sur l'écran. Les mesures obtenues sont la moyenne et l'écart type (variabilité) des temps de réactions.

b) Temps de réaction aux stimuli congruents : les noms de quatre couleurs apparaissent un à la fois à l'écran et les lettres peuvent être des quatre couleurs différentes. Le sujet doit presser la touche de réponse uniquement lorsque le nom correspond à la couleur des lettres. Nous avons utilisé une version testant la capacité d'inhibition de la réponse (75% des stimuli sont des réponses correctes et l'intervalle interstimuli est de 1.5 sec). Les mesures pour le test d'inhibition sont le temps de réaction moyen pour les bonnes réponses et le nombre de bonnes réponses.

c) Vitesse perceptivo-motrice (test de substitution de symboles) : sur une première rangée, une série de 9 symboles sont associés de façon aléatoire aux chiffres de 1 à 9. Le sujet doit inscrire le plus rapidement possible le chiffre correspondant aux symboles présentés dans une seconde rangée. Un total de 10 rangées sont présentées. Les mesures sont le temps de réaction moyen et le nombre d'erreurs.

d) Empan de chiffres : une série de chiffres est présentée à l'écran, un chiffre à la fois en restant une seconde chacun à l'écran. Le sujet doit reproduire sur le clavier la série de chiffres. Selon le succès ou l'échec, la série suivante est augmentée ou diminuée. La mesure est la longueur maximale de l'empan (nombre maximal de chiffres correctement rapportés au moins trois fois).

e) Poursuite visuo-motrice : un rectangle se déplace sur l'écran selon un trajet inconnu du sujet. Le sujet doit maintenir un curseur le plus près possible du centre du rectangle. La mesure est la déviation moyenne par rapport au centre du rectangle durant la tâche qui dure 5 minutes.

Questionnaires d'auto-évaluation

a) Auto-évaluation de l'humeur: 12 adjectifs décrivant l'humeur sont proposés et le sujet doit dire, pour chaque descripteur, où il se situe par rapport à une échelle en 7 catégories allant de pas du tout à tout à fait.

b) Auto-évaluation des symptômes: l'échelle d'évaluation des symptômes comprend 17 symptômes. Le sujet doit répondre en donnant l'intensité qu'il ressent sur une échelle en 7 points.

4.1.1.4.2 Déroulement de l'évaluation.

Les épreuves sensorielles et neuropsychologiques ont été présentées selon un ordre déterminé par la méthode du carré latin afin de contrôler l'effet d'ordre de présentation. Afin de maximiser les ressources, chaque sujet a travaillé devant un ordinateur (cinq évaluations parallèles), sous la surveillance d'un évaluateur qui s'est assuré que tout se déroule selon le plan prévu. Chaque sujet a interrompu à un moment prédéterminé les évaluations neuropsychologiques afin de passer les épreuves sensorielles. Les tests visuels ont été présentés par un évaluateur alors que le test olfactif a été géré par les évaluateurs qui ont surveillé les tests à l'ordinateur. Cette organisation permet de standardiser les conditions de passation des tests tout en diminuant le coût d'achat des appareils pour les tests sensoriels.

Il a donc fallu prévoir cinq évaluateurs entraînés pour faire passer les tests neuropsychologiques informatisés et le test olfactif et un évaluateur spécialisé pour les tests visuels.

4.1.1.4.3 Analyse des résultats

Plusieurs analyses ont été effectuées sur les données neuropsychologiques et neurosensorielles. Des analyses de variance (ANOVA) ont permis d'établir la stabilité des scores à partir des mesures de base prises le matin. Les scores plus stables donnent une estimation plus fiable des effets neurotoxiques précoces. Des analyses de variance sur les mesures avant et après les expositions (MANOVA à trois facteurs : moment de la mesure x type d'exposition x niveau de concentration) ont permis de répondre à la question des effets potentiels de l'exposition au styrène, en tenant compte de l'indice de stabilité des mesures.

4.1.2 Résultats

4.1.2.1 Sujets

Les analyses sont faites sur l'ensemble des sujets pour les scénarios 1 à 5. Les données de la première exposition au scénario 5 (première journée dans la cabine d'exposition) n'ont pas été retenues. Elles sont considérées comme le reflet de l'adaptation à la situation et de la familiarisation avec les différents tests. En ce sens, elles ne constituent pas des données valides.

En tout, 42 sujets ont participé à l'expérience. Cependant, seuls les sujets ayant participé à tous les scénarios d'exposition ont été retenus pour les analyses puisque ces dernières comparent entre elles les mesures provenant de chaque scénario. Les données manquantes sont dues soit à l'absence des sujets lors d'une séance, soit à des problèmes

factuels d'enregistrement des mesures. Les données complètes sont disponibles pour 24 sujets.

Ces 24 sujets se répartissent en 13 cols bleus, 7 cols blancs et 4 sans emploi. Ils habitent Montréal ou la proche banlieue. La moyenne d'âge est de 35 ans (écart-type : 9, 17 ans; minimum : 18 ans; maximum : 50 ans). Quinze sujets se situent dans le groupe de scolarité inférieur au collégial. Ils ont entre 2 et 5 années de secondaire. Sept sujets ont un niveau collégial et 2 sujets ont débuté une première année universitaire. Les sujets ne sont pas exposés au styrène dans leur travail. Sur les 24 sujets, 5 déclarent manipuler à l'occasion des solvants de peinture. Les sujets sont non-fumeurs à l'exception de deux qui déclarent fumer de 12 à 15 cigarettes par jour. Aucun sujet ne consomme quotidiennement de l'alcool.

4.1.2.2 Tests sensoriels

Le résumé des résultats aux tests sensoriels se trouve dans le tableau 1 et les figures correspondantes sont placées en annexe.

a) Vision des couleurs (test de vision des couleurs désaturées Lanthony D-15).

Pour les mesures à l'œil droit, les données de 23 sujets sont disponibles alors que pour l'œil gauche les données de 24 sujets sont disponibles. Ni pour l'œil droit, ni pour l'œil gauche, on n'observe d'effet du moment de la mesure, du type d'exposition ou du niveau de concentration.

b) Mesure de la sensibilité visuelle aux contrastes (Vistech)

Les données de 27 sujets sont disponibles pour l'œil gauche et pour l'œil droit. Les analyses n'indiquent aucun résultat significatif: la sensibilité aux contrastes ne varie ni avec le moment de la mesure, ni avec le type d'exposition, ni avec le niveau de concentration.

c) Mesure du seuil olfactif

Les données de 24 sujets sont disponibles pour ce test. On ne remarque aucun effet du moment de la mesure, du type d'exposition, ou du niveau de concentration.

Tableau 1. Résumé des résultats aux tests sensoriels

Expositions		106 mg/m ³ stable		106 mg/m ³ pics		5 mg/m ³		213 mg/m ³ stable		213 mg/m ³ pics	
Moments		Pré M (sd)	Post M (sd)	Pré M (sd)	Post M (sd)	Pré M (sd)	Post M (sd)	Pré M (sd)	Post M (sd)	Pré M (sd)	Post M (sd)
Vision (Lanthony) indice de Bowman Œil gauche		70.4 (14.84)	67 (14.64)	71.9 (20.17)	70.2 (17.43)	65.8 (9.64)	71.0 (20.32)	72.9 (22.45)	71.8 (15.76)	69.7 (24.17)	70.2 (18.37)
Vision (Lanthony) indice de Bowman / Œil droit		74.71 (22.76)	70.89 (17.31)	67.34 (16.42)	69.31 (19.81)	66.84 (15.70)	72.44 (22.21)	69.50 (14.44)	71.05 (20.96)	69.60 (17.95)	70.80 (19.66)
Vision contrastes (Vistech) cycles/ degrés Œil gauche	1.5	5.12 (0.44)	5.08 (0.82)	5.12 (0.61)	4.92 (0.97)	5.45 (0.93)	5.45 (1.17)	5.12 (1.11)	5.29 (0.80)	5.20 (1.21)	5.16 (1.09)
	3	5.73 (0.54)	5.69 (0.82)	5.78 (0.79)	5.60 (0.72)	5.91 (1.08)	5.95 (0.92)	5.60 (0.72)	5.86 (0.96)	5.78 (0.79)	5.78 (0.73)
	6	5.25 (1.13)	5.13 (1.29)	5.00 (1.27)	4.78 (1.31)	5.34 (1.52)	5.34 (1.36)	5.04 (1.49)	5.29 (1.25)	5.21 (1.47)	5.17 (1.46)
	12	4.73 (1.71)	4.82 (1.58)	4.65 (1.33)	4.56 (0.30)	5.17 (1.64)	5.43 (1.19)	5.08 (1.67)	5.26 (1.21)	5.21 (1.47)	5.13 (1.60)
	18	4.35 (1.59)	4.20 (1.43)	4.15 (1.59)	3.90 (1.83)	4.65 (1.63)	4.70 (1.65)	4.45 (1.79)	4.70 (1.59)	4.65 (1.53)	4.45 (1.66)
Vision contrastes (Vistech) cycles/ degrés Œil droit	1.5	5.04 (0.99)	5.20 (0.65)	5.20 (0.67)	5.25 (0.53)	5.58 (0.82)	5.66 (0.70)	5.29 (0.62)	5.37 (0.71)	5.33 (0.70)	5.20 (0.72)
	3	5.54 (0.77)	5.62 (0.57)	5.75 (0.67)	5.66 (0.70)	5.83 (0.86)	6.08 (0.92)	5.70 (0.95)	5.91 (0.65)	5.75 (0.73)	5.83 (0.76)
	6	5.25 (1.35)	5.41 (0.92)	5.41 (1.01)	5.25 (1.03)	5.70 (1.04)	5.87 (1.03)	5.45 (1.10)	5.75 (1.11)	5.66 (0.91)	5.45 (0.93)
	12	4.83 (1.63)	4.83 (1.37)	4.41 (1.28)	4.83 (1.52)	5.00 (1.47)	4.91 (1.28)	5.08 (1.50)	5.37 (1.24)	5.16 (1.20)	5.04 (1.36)
	18	4.04 (1.68)	4.33 (1.20)	3.91 (1.61)	4.04 (1.39)	4.66 (1.43)	4.50 (1.38)	4.45 (1.71)	4.62 (1.40)	4.58 (1.24)	4.58 (1.34)

Seuil olfactif (décismell)	14.58 (11.41)	14.79 (11.27)	12.08 (15.87)	14.16 (13.32)	15.62 (13.85)	13.75 (12.87)	15.41 (13.66)	11.04 (11.22)	16.87 (13.41)	13.12 (9.87)
-------------------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-----------------

4.1.2.3 Tests neurocognitifs

Le résumé des résultats aux tests neurocognitifs se trouve dans le tableau 2 et les figures correspondantes sont placées en annexe.

a) Temps de réaction simple

Les sujets (n=23) ne manifestent pas d'allongement des temps de réaction moyen (en millisecondes) calculé sur 5 minutes, quel que soit le moment de la mesure, le type d'exposition ou le niveau de concentration. Si l'on regarde de façon descriptive les résultats bruts, il semble y avoir une tendance à l'amélioration des temps de réaction. Cependant, cette différence est loin d'être statistiquement significative ($p=0.5986$). Une analyse a également été effectuée sur le temps de réaction de la dernière minute mais les résultats sont semblables. Les temps de réaction n'augmentent pas avec la fatigue. Le temps de réaction des sujets apparaît donc très stable.

b) Temps de réaction aux stimuli congruents: épreuve de vigilance.

Deux mesures ont été prises pour vérifier l'état de vigilance : le temps de réaction et l'exactitude des réponses. En ce qui concerne le temps de réaction moyen pour les bonnes réponses, les sujets (n = 23) ont une tendance significative ($p < 0.0001$) à réagir plus rapidement en fin de journée quel que soit le type d'exposition et le niveau de concentration. Il n'y a pas d'effet de ces deux dernières conditions.

Aucun effet significatif n'est observé dans l'analyse du nombre de bonnes réponses.

c) Vitesse perceptivo-motrice (test de substitution de symboles)

Il y a un effet significatif du type d'exposition ($p < 0.0001$) et du moment de la mesure ($p < 0.05$). Les sujets (n = 23) ont un temps de réponse plus rapide d'une séance à l'autre et plus rapide le soir que le matin. Ce résultat pourrait correspondre à un effet d'apprentissage de la tâche. Il n'y a pas d'effet significatif sur le nombre d'erreurs.

d) Empan de chiffres (test de mémoire de chiffres)

Les sujets (n=24) manifestent une tendance significative à augmenter le nombre qu'ils se rappellent avec les séances successives ($p < 0.05$). Il n'y a pas d'effet significatif du moment de la mesure ni du niveau de concentration.

e) Poursuite visuo-motrice

Aucun effet n'est observé chez les sujets (n=23).

Tableau 2. Résumé des résultats aux tests neurocognitifs

Expositions	106 mg/m ³ stable		106 mg/m ³ pics		5 mg/m ³		213 mg/m ³ stable		213 mg/m ³ pics	
	Pré M (sd)	Post M (sd)	Pré M (sd)	Post M (sd)	Pré M (sd)	Post M (sd)	Pré M (sd)	Post M (sd)	Pré M (sd)	Post M (sd)
Temps de réaction simple (5 minutes) (ms)	301 (64.31)	297 (53.12)	308 (58.87)	304 (48.17)	313 (74.73)	314 (66.37)	310 (59.90)	303 (61.48)	316 (72.17)	305 (60.42)
Temps de réaction simple (5ème minute) (ms)	289 (50.72)	299 (54.21)	317 (65.59)	303 (43.31)	312 (74.38)	311 (66.36)	321 (64.26)	303 (67.36)	320 (87.32)	314 (74.68)
Stimuli congruents. Temps de réponse (ms)	553 (41.76)	540 (54.05)	541 (43.85)	534 (45.95)	541 (60.29)	530 (57.87)	541 (50.91)	535 (51.08)	539 (46.93)	535 (49.29)
Stimuli congruents Bonnes réponses	131 (9.68)	131 (13.46)	129 (12.00)	132 (14.79)	128 (13.43)	130 (14.74)	127 (17.03)	129 (16.10)	125 (18.72)	125 (20.38)
Vitesse perceptivo-motrice (s)	2.49 (0.35)	2.39 (0.36)	2.37 (0.29)	2.33 (0.31)	2.33 (0.29)	2.26 (0.32)	2.27 (0.35)	2.27 (0.36)	2.29 (0.40)	2.23 (0.30)
Vitesse perceptivo-motrice (erreurs)	1.26 (1.60)	1.78 (2.89)	1.39 (2.42)	1.69 (1.98)	1.08 (1.53)	1.91 (1.99)	1.86 (2.54)	2.39 (3.07)	1.52 (3.04)	2.43 (6.28)
Empan de chiffres	7.66 (1.30)	7.70 (1.60)	7.58 (1.58)	7.91 (1.71)	7.79 (1.97)	7.83 (1.92)	8.45 (1.84)	8.04 (2.09)	8.04 (1.80)	8.12 (2.51)
Poursuite visuo-motrice (erreurs)	11.51 (3.42)	11.43 (3.35)	11.76 (5.17)	13.00 (7.05)	11.84 (4.42)	13.81 (9.28)	10.64 (2.88)	11.95 (6.93)	11.88 (7.03)	11.85 (6.94)

4.1.2.4 Réponse des sujets aux questionnaires

a) Mesure de l'humeur

Les données de 23 sujets ont été analysées. Aucun effet n'est significatif, ni le mode, ni la dose, ni le traitement ne modifie l'humeur des sujets, que ce soit sur les aspects stress ou les aspects attention-vigilance. Les résultats sont présentés dans le tableau 3 et les figures correspondantes sont placées en annexe.

b) Présence de symptômes

Les questionnaires sur les symptômes rapportés sont disponibles pour 23 sujets. Plusieurs sujets (de 14 à 17 sur 23 selon les journées) rapportent des symptômes lors de l'évaluation pré-exposition, le matin avant d'entrer dans la chambre d'inhalation. Étant donné ce fait, une analyse descriptive des changements du nombre de symptômes

rapportés a été faite. Les résultats sont présentés dans le tableau 4. Les chiffres dans les cellules représentent le nombre de sujets.

Le tableau 4 indique que le nombre de sujets qui rapportent une augmentation des symptômes est équivalent (scénario A et C) ou inférieur (scénario B, D et E) au nombre de sujets dont les symptômes n'augmentent pas ou diminuent. On ne peut donc pas conclure à un effet du styrène sur la présence de ces symptômes.

Tableau 3. Résumé des résultats au questionnaire de l'humeur

Expositions	106 mg/m ³ stable		106 mg/m ³ pics		5 mg/m ³		213 mg/m ³ stable		213 mg/m ³ pics	
	Pré M (sd)	Post M (sd)	Pré M (sd)	Post M (sd)	Pré M (sd)	Post M (sd)	Pré M (sd)	Post M (sd)	Pré M (sd)	Post M (sd)
Humeur stress+	12.00 (4.14)	11.60 (3.62)	10.47 (4.17)	11.60 (4.07)	11.95 (4.34)	11.82 (4.04)	12.43 (3.97)	11.47 (4.25)	12.34 (4.07)	11.26 (4.56)
Humeur stress-	2.52 (2.46)	2.60 (2.49)	3.60 (3.39)	2.47 (2.15)	2.52 (2.88)	1.95 (2.18)	2.47 (2.48)	2.39 (2.12)	2.82 (3.37)	2.43 (2.01)
Humeur vigilance+	11.69 (3.43)	11.00 (4.39)	11.52 (3.98)	11.30 (4.37)	11.69 (4.31)	11.17 (4.22)	10.86 (4.87)	10.73 (4.73)	11.69 (3.95)	10.73 (4.38)
Humeur vigilance-	4.34 (3.60)	4.82 (3.35)	4.08 (3.01)	4.30 (2.67)	4.26 (2.98)	4.26 (3.09)	5.04 (3.49)	4.13 (2.47)	4.43 (2.82)	4.86 (3.29)

Tableau 4. Résumé des résultats au questionnaire des symptômes

Scénario	A	B	C	D	E
Diminution	6	8	5	3	5
Égalité	5	7	11	8	10
Augmentation	12	8	7	12	8
Intensité (médiane)	3	1,5	2	2	3

4.1.3 Discussion

Les effets de l'exposition ont été évalués en comparant les moyennes du matin à celles du soir. Afin d'estimer l'effet chronobiologique, nous avons regardé la différence entre le matin et le soir pour la journée avec exposition nulle. La différence est alors quasi nulle.

Afin de contrôler l'effet d'apprentissage, nous avons pris deux précautions. D'abord, les résultats aux épreuves de la première journée n'ont pas été pris en compte dans l'analyse

des effets du styrène. Nous avons considéré que ces mesures reflétaient plus la familiarisation avec le dispositif expérimental que les mesures de performance réelle. Il est en effet connu que le premier contact avec des tests dans le cadre d'une évaluation ne donne pas la vraie mesure des capacités d'un sujet. Par rapport à l'objectif de l'étude, aucun effet n'était attendu puisque l'exposition lors de cette journée était minimale. La mesure de base a été prise lors de la deuxième exposition à cette même concentration. La seconde précaution tient au choix des tests eux-mêmes. Les tests choisis sont peu sensibles à l'apprentissage et présentent une fiabilité test-retest de 0,70 à 0,94, ce qui peut être considéré comme de très bonne à excellente (19). La très faible variation observée entre les mesures du matin en est une autre indication. Par contre, on observe quand même un effet sur certaines mesures. C'est le cas pour l'empan de chiffres, le test de substitution de symboles et le test de vigilance. Dans les deux derniers cas, on remarque une vitesse accrue le soir par rapport au matin. Tout se passe comme si la concentration et l'attention des sujets étaient meilleures en fin de journée, quelle que soit la concentration de styrène à laquelle ils ont été exposés. Si l'on considère le test de l'empan et le test de substitution de symboles, les sujets présentent également de meilleures performances d'une séance à l'autre. On pourrait dans ce cas soupçonner un effet d'apprentissage ou une modification des stratégies dont le résultat se traduit par de meilleurs résultats. Cependant, cette tendance est constante alors que les concentrations de styrène varient. On pourrait alors dire que les concentrations de styrène ne perturbent pas les performances à ces tâches.

Les résultats montrent que l'exposition à des concentrations moyennes de 25 ppm et de 50 ppm, produites de manière stable ou avec des pics, n'influence pas les performances neurosensorielles des sujets. Ni l'olfaction, ni la vision des couleurs, ni la discrimination des contrastes ne sont altérées par l'absorption de styrène à ces concentrations.

Ces résultats sont inattendus, étant donné que d'autres recherches ont montré que le styrène a des effets néfastes sur l'olfaction et la vision. Ces recherches comparaient des travailleurs en usine exposés à des travailleurs non exposés. La durée de l'exposition des travailleurs (plusieurs mois ou années) peut influencer les résultats. Dans ces recherches, les mesures sont le reflet d'une exposition à long terme.

Les sujets ayant participé à notre étude sont des travailleurs peu ou pas exposés à des solvants. Aucun n'est exposé au styrène. Les mesures prises reflètent donc l'effet d'une exposition limitée (6 h) se produisant de façon sporadique et non consécutive (minimum 14 jours entre les expositions). Les doses d'exposition aiguë ont été conformes aux normes en vigueur. En ce sens, nos résultats montrent qu'une exposition aiguë, faible et limitée au styrène, peu importe le scénario d'exposition (notamment avec ou sans pics), n'affecte pas les capacités sensorielles olfactives et visuelles.

Les résultats montrent également que les modes d'exposition au styrène tels que réalisés dans notre protocole n'affectent pas négativement au terme de 6 heures d'exposition les capacités cognitives des sujets, que ce soit la mémoire, les temps de réaction, l'attention et la concentration. Cependant restent à étudier les effets immédiats d'une exposition forte et limitée dans le temps au styrène sur les capacités cognitives des sujets. Les

recherches utilisant des travailleurs en usine ne rapportent généralement pas de différence dans le fonctionnement cognitif entre les travailleurs exposés et les travailleurs non exposés au styrène. Cette partie de nos résultats n'est donc pas en contradiction avec les observations rapportées à propos des travailleurs exposés en usine.

Les résultats montrent que l'exposition au styrène telle que réalisée dans notre protocole n'a pas d'influence sur les variations de l'humeur. Ni l'état de stress ni l'état de l'attention ne sont modifiés par les types d'exposition et les modes de diffusion. De même, les différents scénarios d'expositions n'ont pas d'effet distinctif sur l'apparition des symptômes.

Pour les capacités cognitives comme pour les variations de l'humeur et des symptômes, une différence importante entre notre recherche en chambre d'inhalation et les recherches sur les travailleurs en usine tient vraisemblablement au fait que nos sujets n'ont exercé aucune activité physique durant la période d'exposition, avec une ventilation alvéolaire, un débit cardiaque, un débit sanguin et un état de fatigue différents des travailleurs. Ce facteur peut certainement influencer l'absorption du styrène de même que le niveau de fatigue. En ce sens, nos résultats ne sont pas comparables aux résultats obtenus avec des travailleurs en usine. Par contre, un des avantages majeurs de notre étude est l'excellent contrôle que nous avons exercé à tout moment sur les concentrations de styrène dans la chambre d'inhalation.

Le manque de puissance statistique pourrait être invoqué comme explication de l'absence de signification des résultats sur le plan neurosensoriel. Cependant, les différences observées sont minimales et la variation est faible. Cette observation plaide dans le sens d'une absence d'effet.

En résumé, plusieurs facteurs ont pu influencer les résultats de notre étude : le fait que les sujets n'aient jamais été exposés au styrène, le fait que la durée d'exposition n'ait été que de 6 heures, et le fait que les sujets aient été au repos lors de l'exposition. Afin de corroborer nos résultats, une étude avec des travailleurs exposés en usine semble indispensable.

4.1.4 Conclusion

Les résultats de l'absorption du styrène en chambre d'inhalation montrent que dans les conditions d'exposition selon les quantités et les modalités prévues par notre protocole, les volontaires ne subissent pas d'effets neurotoxiques apparents. Des contrôles avec les mêmes conditions d'exposition devraient être effectués en respectant les autres conditions auxquelles les travailleurs sont soumis dans la réalité des usines.

4.2 Surveillance biologique de l'exposition et modélisation

4.2.1 Méthodes

4.2.1.1 Exposition des volontaires

Les expositions au styrène ont été réalisées suivant les scénarios décrits précédemment (sections 4.1.1.2 et 4.1.2.3).

Les expositions ont eu lieu dans une chambre d'inhalation possédant un volume de 18 m³. Les concentrations de styrène ont été produites par dilution de vapeurs de styrène dans un volume d'air mélangé à l'air pré-purifié entrant dans la chambre à un débit de 4,5 m³/minute (30).

La concentration de styrène dans la chambre a été vérifiée par deux méthodes distinctes: la première consistant à injecter, à des intervalles de 2 à 5 minutes, un volume précis d'air provenant de la chambre (1ml) dans un chromatographe en phase gazeuse; la deuxième méthode consistait à mesurer la concentration, en continu, à l'aide d'un spectrophotomètre à infrarouge de type Miran-1-A .

4.2.1.2 Surveillance biologique de l'exposition

L'exposition des sujets volontaires a été évaluée à partir de la mesure des métabolites urinaires du styrène [acide mandélique (AM) et acide phénylglyoxylique (AP)] de même que sur la détermination du styrène inchangé dans l'air alvéolaire. Des échantillons d'urine et d'air expiré (1 à 2 litres) ont été prélevés à divers moments durant chacune des séances d'exposition.

Les urines, une fois recueillies, ont été congelées (-20°C) jusqu'à l'analyse. Les métabolites du styrène ont été mesurés à l'aide de la méthode développée par les laboratoires de l'IRSST (Méthode # 106-1, 108-1) laquelle est basée sur la chromatographie liquide à haute performance (HPLC). Les concentrations des métabolites sont exprimées en fonction de l'excrétion urinaire de la créatinine.

L'air alvéolaire a été transféré dans un sac spécial prévu à cet effet (Tedlar[®], SKC Inc.). Une fois le prélèvement complété, nous avons procédé, dans les 20 minutes suivantes, à la mesure du styrène par chromatographie en phase gazeuse.

Les résultats de ces dosages des métabolites urinaires sont présentés dans le tableau 5. Ils ont permis de vérifier l'exposition de chaque volontaire sur une base individuelle. Ils ont été utilisés pour développer un modèle toxicocinétique à base physiologique (TCBP) qui a servi à prédire la cinétique (sang et cerveau) du styrène chez des sujets humains soumis aux divers scénarios d'exposition testés dans cette étude.

Tableau 5: Comparaison entre les résultats expérimentaux d'AM et d'AP urinaires et les valeurs prédites par modèle TCBP (Moyenne \pm erreur-type).

	Conc. Exposition	AM mmol/mol créatinine					
		Résultats				Simulation	
Scénario	Styrène (ppm)	0-3 hr	(n)	3-6 hr	(n)	0-3 hr	3-6 hr
Blanc	5	0,28 \pm 0,20	(18)	5,2 \pm 1,2	(37)	6,7	21, 2
1	50	37,97 \pm 7,0	(16)	173,3 \pm 15,1	(33)	65,4	206,2
2	40 -100	39,30 \pm 7,0	(14)	177,3 \pm 9,6	(29)	54,2	202,9
3	25	3,65 \pm 1,6	(15)	68,5 \pm 7,4	(31)	33,3	104,8
4	20-50	6,75 \pm 2,1	(15)	85,1 \pm 7,1	(32)	29,6	109,5

	Conc. Exposition	AP mmol/mol créatinine					
		Résultats				Simulation	
Scénario	Styrène (ppm)	0-3 hr	(n)	3-6 hr	(n)	0-3 hr	3-6 hr
Blanc	5	4,55 \pm 1,09	(18)	7,68 \pm 0,80	(37)	2,81	9,98
1	50	23,14 \pm 2,61	(16)	79,14 \pm 4,27	(33)	27,34	97,3
2	40 -100	22,54 \pm 3,25	(14)	79,02 \pm 4,34	(29)	22,46	94,6
3	25	8,07 \pm 1,21	(15)	40,05 \pm 2,60	(31)	13,92	49,4
4	20-50	10,0 \pm 1,21	(15)	42,75 \pm 2,,78	(32)	12,25	51,1

50 ppm = 213 mg/m³

4.2.1.3 Modélisation toxicocinétique à base physiologique (TCBP) de l'exposition au styrène

La cinétique du styrène chez les volontaires humains a été décrite à l'aide d'un modèle toxicocinétique à base physiologique (TCBP) (Figure 1) que nous avons adapté à partir de celui proposé par Perbellini et coll. (31) et Ramsey and Andersen (32), auquel nous avons ajouté un compartiment identifié au cerveau. Les équations différentielles utilisées ont été résolues à l'aide du logiciel ACSL (Pharsight Co. CA). Une copie du modèle est fournie en annexe.

Le modèle TCBP (substance mère) permet de décrire l'absorption pulmonaire du styrène. Il est constitué de cinq compartiments, nommément les tissus adipeux, richement perfusés, pauvrement perfusés, le foie et le cerveau (Figure 1). Le styrène est distribué à travers les différents compartiments par la circulation sanguine et l'absorption est déterminée par les paramètres physico-chimiques, dont le coefficient de partage sang:air spécifique au styrène. Le métabolisme saturable est limité au foie et décrit par une équation de type Michaëlis-Menten. Le modèle que nous avons utilisé permet, entre autres choses, de prédire les concentrations de styrène inchangé dans le sang, l'air alvéolaire, le cerveau et dans les différents compartiments, ainsi que les quantités de métabolites formés et excrétés dans l'urine.

La figure 1 présente une version simplifiée des différentes voies métaboliques du styrène, telles que décrites par Bond (33). Le modèle, tel que conçu, ne permet pas de décrire spécifiquement la formation du styrène 7, 8-oxide et suppose que le phényléthylène glycol provient exclusivement du métabolisme oxydatif du styrène. Le phényléthylène glycol est transformé instantanément en AM et autres métabolites. Subséquemment l'AM est transformé en AP ou excrété directement dans l'urine. Deux compartiments ont été ajoutés au modèle de base afin de décrire plus spécifiquement l'excrétion des métabolites urinaires (AM et AP), à savoir un compartiment aqueux et un compartiment urinaire. La principale modification au modèle de Perbellini et coll.(31) a été de relier la synthèse de l'AM directement au métabolisme du styrène, contrairement au modèle initial où les auteurs utilisaient des constantes de premier ordre individuelles, lesquelles multipliaient la concentration de styrène hépatique (figure 2). Nous avons estimé à 0,923 la fraction du taux de biotransformation du styrène en AM et AP ([% des métabolites excrété sous forme d'AM + AP (56,9 + 33 = **89,9%**)] ÷ [% total de la dose absorbée excrété dans l'urine sous forme de AM + AP + autres (56,9 + 33 + 7,5 = **97,4%**)] = 0,923), en prenant en considération les données publiées par Guillemin et Berode (34). Ces auteurs ont rapporté que l'excrétion par l'air expiré représente 2,6% de la dose absorbée, l'acide mandélique, 56,9%, l'acide phénylglyoxylique, 33,0% et, finalement l'acide hippurique (et autres produits) 7,5%.

Le choix des paramètres physiologiques dépend de l'intensité de l'activité physique (charge de travail) exercée durant et après une exposition. Ceci est particulièrement important lors d'une exposition à des composés volatils organiques par inhalation, étant donné que les débits alvéolaire et cardiaque jouent un rôle prédominant et sont sous l'influence directe de l'activité physique. Les volontaires exposés, dans la présente étude, ont été soumis à une activité physique faible (repos). Les différents paramètres physiologiques (repos), physico-chimiques et métaboliques utilisés ont été obtenus à partir de la littérature et sont décrits aux tableaux 6 et 7. Les constantes d'excrétion urinaire des métabolites apparaissent dans la figure 2.

Tableau 6 : Paramètres physiologiques, utilisés dans le modèle TCBP.

Paramètres	Valeur ¹
Poids corporel	70,0
Ventilation alvéolaire (litre/h/kg)	18,0 ²
Débit cardiaque (litre/h/kg)	18,0 ²
<i>Fraction du débit cardiaque correspondant à chaque compartiment</i>	
Foie	0,26
Tissus richement perfusés	0,30
Cerveau	0,14 ³
Tissus pauvrement perfusés	0,25
Tissus adipeux	0,05
<i>Fraction du volume correspondant à chaque compartiment</i>	
Foie	0,026
Tissus richement perfusés	0,030
Cerveau	0,020 ³
Tissus pauvrement perfusés	0,620
Tissus adipeux	0,190

1. Tardif R. et coll. (40)
2. Extrapolation du débit cardiaque et alvéolaire : * P.C.^{0.7}
3. Rowland and Tozer, (41)

Tableau 7 : Paramètres physico-chimiques et métaboliques du styrène.

Paramètres ¹	Valeur ¹
<i>Coefficients de partage</i>	
Sang: air	52,0
Foie :air	140,0
Richement perfusés : air	296,4
Cerveau :air	109,2 ²
Pauvrement perfusés : air	52,0
Gras :air	2600,0
<i>Paramètres métaboliques</i>	
Vitesse du métabolisme (mg/hr/kg)	6,69 ³
Constante d'affinité (mg/L)	0,36
Constante d'excrétion urinaire de la créatinine(mg/hr/kg)	1,365 ⁴

1. Ramsey and Andersen (32)
2. Pierce C.H et coll. (16)
3. Extrapolation de la vitesse de métabolisme : * P.C. ^{0.75}
4. Laparé S. et coll. (37) ; extrapolation de la constante d'excrétion de la créatinine : * P.C. ^{0.9}

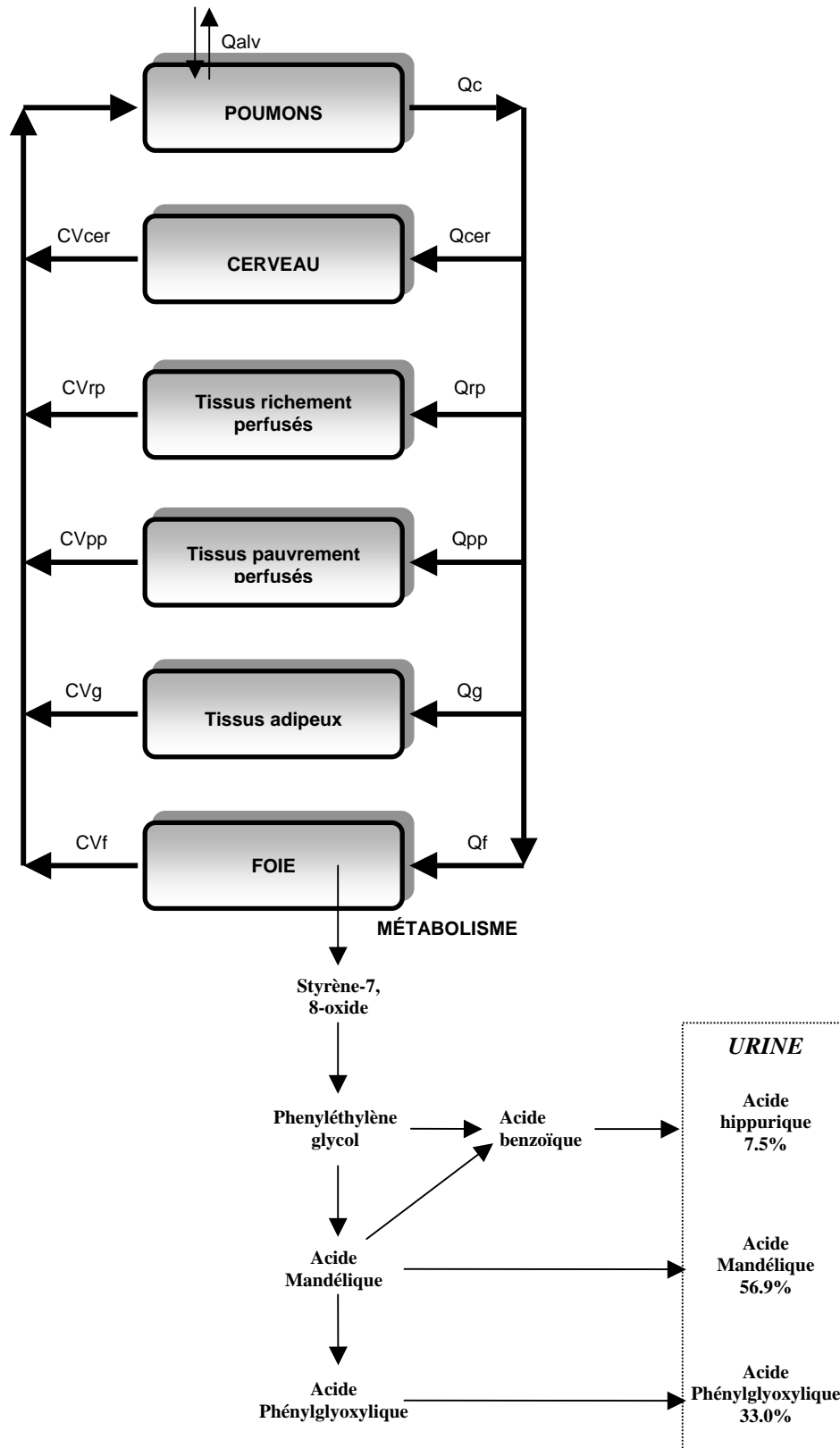


Figure 1 : Représentation schématisée du modèle TCBP pour le styrène. Q_{alv} : débit alvéolaire; Q_c : débit cardiaque; Q_{cer} , Q_{rp} , Q_{pp} , Q_g et Q_f , représentent respectivement les débits cardiaques aux compartiments décrivant le cerveau, les tissus richement perfusés, pauvrement perfusés, adipeux et le foie; CV_{cer} , CV_{rp} , CV_{pp} , CV_g et CV_f : concentration veineuse de styrène à la sortie des compartiments, cerveau, tissus richement perfusés, pauvrement perfusés, adipeux et hépatique.

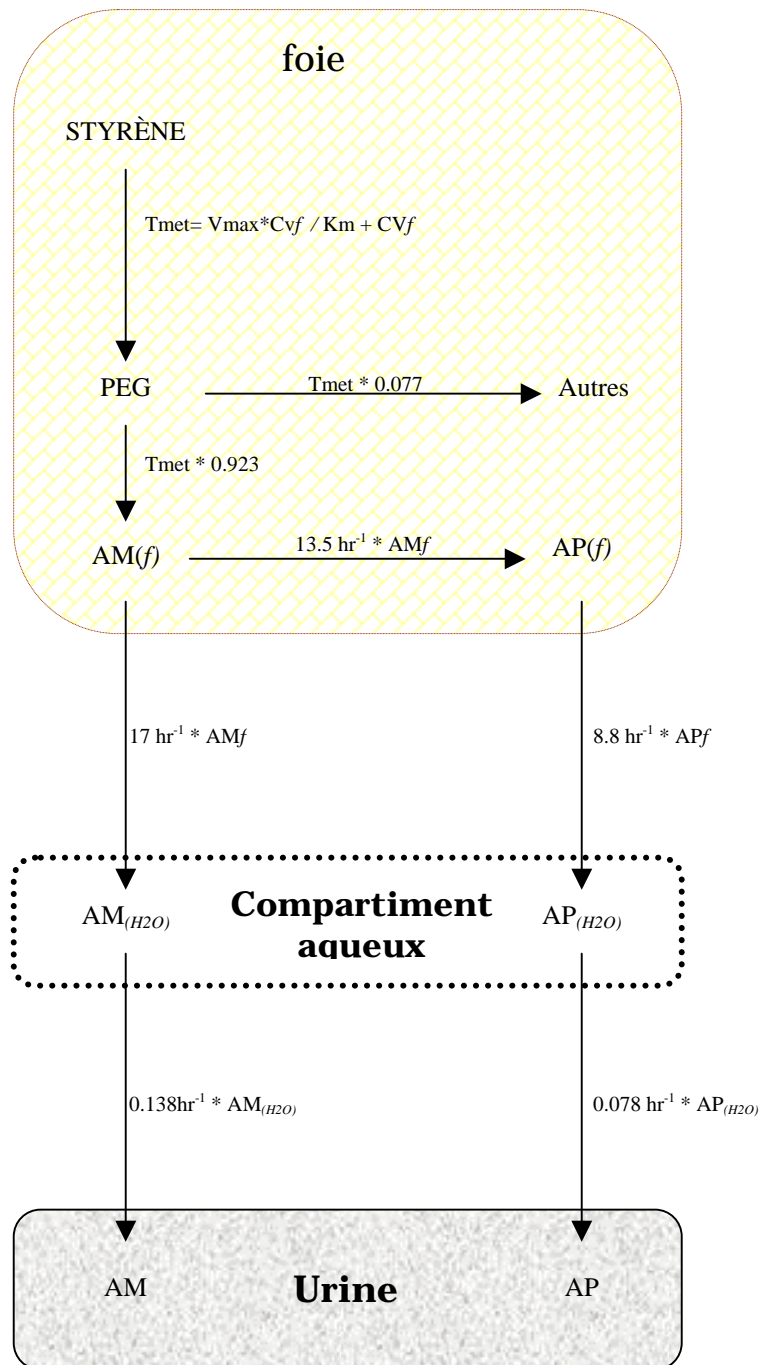


Figure 2 . Représentation schématisée des compartiments décrivant la biotransformation du styrène et l'excrétion urinaire des métabolites. PEG : phényléthylène glycol; AM : acide mandélique; AP : acide phénylglyoxylique; T_{met} : taux de métabolisme du styrène.

4.2.2 Résultats et discussion

4.2.2.1 Comparaison avec les indicateurs biologiques d'exposition du styrène

Le modèle impliquant une faible intensité d'activité (repos) ne permet pas de décrire adéquatement certaines des valeurs d'excrétion des métabolites du styrène (AM et AP) qui ont été jusqu'à maintenant rapportées dans la littérature ou encore les valeurs des indices biologiques d'exposition (IBE) de l'ACGIH (35) et l'IRSST. Cela est probablement dû au fait que les données rapportées correspondent à des valeurs d'excrétion mesurées chez des travailleurs plus actifs. Afin de comparer les valeurs d'excrétion des métabolites prédites par le modèle aux IBE actuels, nous avons modifié les paramètres physiologiques du modèle de base pour les adapter à une intensité d'activité équivalant à 50 watts (W) (période de 12 h à 50 W, suivie d'une période de 12 h au repos) ce qui correspond à une légère charge de travail. Pour ce faire, nous avons augmenté la valeur de la ventilation alvéolaire de 352 L/h à 1323 L/h, le débit cardiaque de 352 L/h à 602 L/h, et modifié les débits sanguins à chacun des compartiments selon Thomas et coll.(36). Ces modifications se traduisent, entre autres, par une augmentation importante de la dose absorbée. Les valeurs d'AM et d'AP retrouvées dans la littérature varient de 612 à 1280 mmol/mol de créatinine pour l'AM, et de 140 à 350 mmol/mol de créatinine pour l'AP, mesurées à la fin de la période d'exposition.

Tableau 8. Comparaison des valeurs estimées d'AM et d'AP, par modélisation, avec les valeurs d'IBE correspondant à des mesures faites en fin de quart de travail, après 5 jours d'exposition (8 h/jour) à 50 ppm (213 mg/m³).

IBE AM (mmol/mol créat.)	Modèle TCBP AM (mmol/mol créat.)			
	Jour #1		Jour #5	
Fin de quart de travail	Repos	50 watts	Repos	50 watts
600 mmol/mol créat.	295	670,1	339,0	816,5
IBE AP (mmole/mole créat)	Modèle TCBP AP (mmole/mole créat)			
	Jour #1		Jour #5	
Fin de quart de travail	Repos	50 watts	Repos	50 watts
180 mmole/mole créat	148,6	339,3	208,7	525,3

Elles ont été calculées à partir des droites de régression reliant la concentration d'exposition aux valeurs excrétées d'AM et d'AP. Elles correspondent à une exposition à 50 ppm (213 mg/m³) de styrène durant 8 h/jour, pendant 5 jours consécutifs. Le tableau 8 permet de comparer les valeurs prédites par le modèle TCBP (homme de 70 kg, au repos et à 50 W) aux valeurs d'IBE de l'ACGIH et de l'IRSST. On remarque, entre autres, que le modèle prédit des valeurs d'excrétion qui s'éloignent sensiblement des IBE proposés pour le styrène.

4.2.2.2 Simulations de la cinétique du styrène dans l'air expiré

La figure 3 présente les valeurs des concentrations de styrène dans le sang artériel et l'air alvéolaire prédites par le modèle TCBP et celles rapportées par Ramsey and Andersen (32), pour un homme au repos. Les concentrations alvéolaires prédites sont légèrement surestimées comparativement aux données expérimentales rapportées par ces auteurs.

La figure 4 présente les concentrations alvéolaires mesurées dans la présente étude. Les valeurs prédites avec le modèle (homme au repos) sont nettement inférieures aux données expérimentales. Deux raisons peuvent expliquer ces différences: 1) il est possible que le niveau réel d'activité physique des volontaires durant les expositions ait été légèrement supérieur à celui décrit dans le modèle (repos). À cet égard on a déjà rapporté qu'une augmentation de l'activité physique se traduit parallèlement par un accroissement des concentrations sanguines et alvéolaires pour les solvants volatils (37, 38). Il est également possible que le phénomène de désorption du styrène à partir des muqueuses tapissant les voies respiratoires supérieures ait pu contribuer à augmenter la quantité de styrène dans l'air provenant de l'espace alvéolaire (phénomène de «wash-in - wash-out»). Une telle sous-estimation a d'ailleurs été rapportée récemment par Jang et coll. (39), pour le styrène.

4.2.2.3 Simulations des concentrations de styrène dans le sang et le cerveau

L'ajout d'un compartiment «cerveau» permet d'estimer la concentration de styrène dans cet organe (cible des effets neurotoxiques) en fonction des divers scénarios d'exposition. Les valeurs du coefficient de partage cerveau:air (109,2) (16) et du débit sanguin à cet organe (14% du débit cardiaque total) (41) ont été utilisés pour incorporer ce compartiment au modèle de base.

Les figures 5 et 6 présentent les simulations des concentrations de styrène, dans le sang veineux et le cerveau en fonction des divers profils de concentrations de styrène mesurés dans la chambre pour chacun des scénarios d'exposition. Alors que les concentrations de styrène dans le sang veineux et le cerveau varient proportionnellement avec la concentration d'exposition mesurée dans la chambre, la concentration au cerveau est nettement plus élevée (~ 3 fois) que la concentration sanguine. Les profils de ces concentrations et les surfaces sous la courbe (SSC) - décrivant l'évolution de ces concentrations fonction du temps - sont équivalents pour les scénarios d'exposition (figure 5 B et C, figure 6 B et C), avec ou sans pics, et les concentrations sont proportionnelles aux niveaux d'expositions moyens (figures 5A et 6A).

4.2.2.4 Simulations de la cinétique des métabolites urinaires du styrène

Les valeurs d'excrétion moyennes d'AM et d'AP urinaires prédites par le modèle TCBP comparées aux valeurs expérimentales mesurées chez les volontaires sont présentées au

tableau 4. Bien que le modèle prédise de façon relativement adéquate les concentrations d'AP pour les deux périodes d'exposition, 0-3 h et 3-6 h, les valeurs d'AM, en revanche, sont nettement surévaluées pour la période de 0-3 h. Cette différence est particulièrement importante durant cette même période entre le scénario d'exposition à 25 ppm (3,65 mmol /mol créat) et le scénario à 50 ppm (37,97 mmol /mol créatinine), contrairement à la dernière période (3-6h); cela suggère que les phénomènes impliqués dans l'excrétion urinaire des AM et AP sont plus complexes, du moins dans les premières heures de l'exposition, que la description qui en est faite dans le modèle. Néanmoins, il existe une bonne corrélation entre les concentrations de métabolites urinaires (AM et AP) mesurées lors des expositions des volontaires et les prédictions du modèle (figure 7).

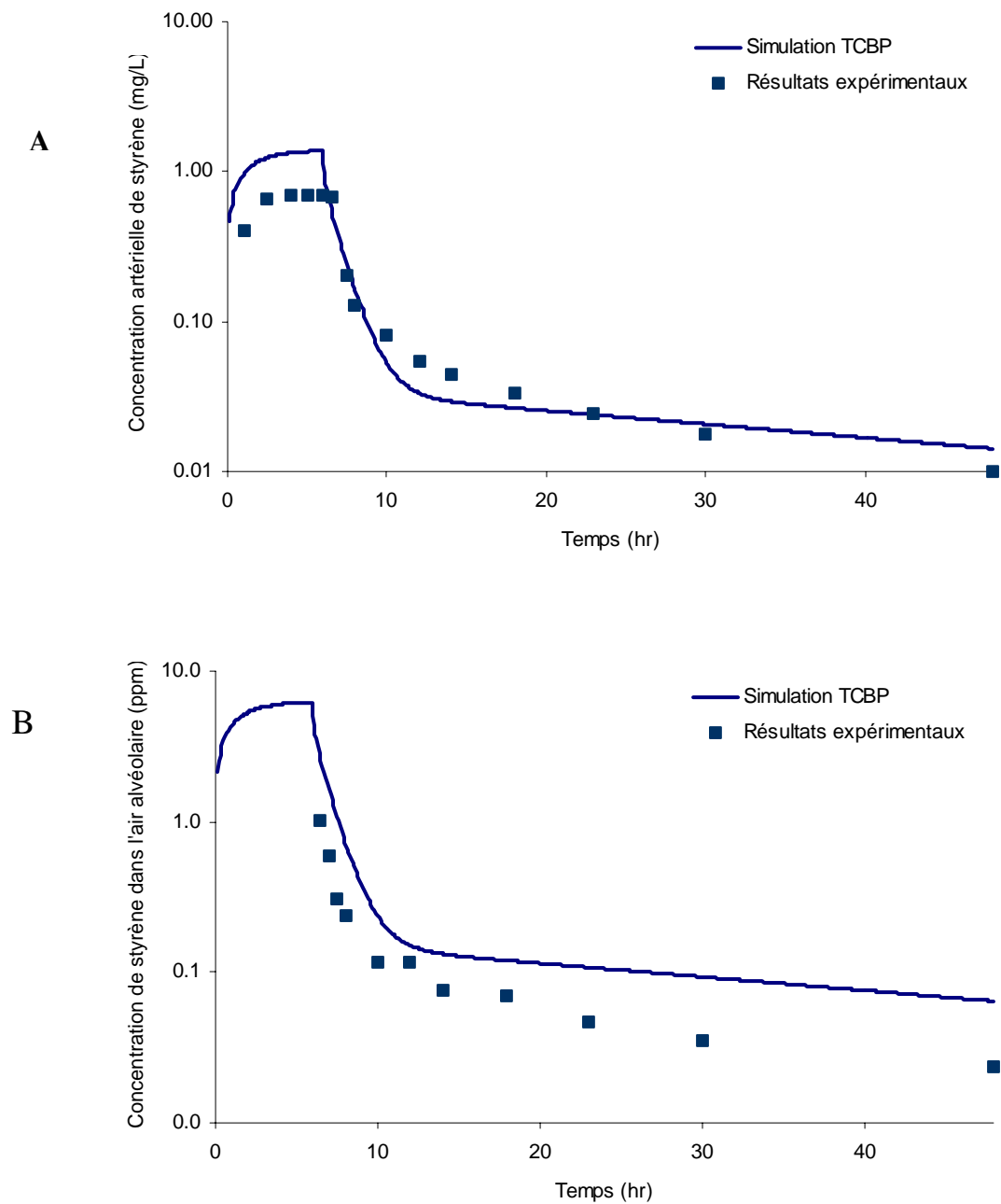


Figure 3. Concentration artérielle (A) et avéolaire (B) de styrène mesurées chez des volontaires humains, exposés par inhalation à 80 ppm de styrène durant 6 heures. Les points représentent la moyenne des concentrations obtenues chez 4 sujets (32). Les lignes représentent la simulation TCBP pour un homme de 83kg.

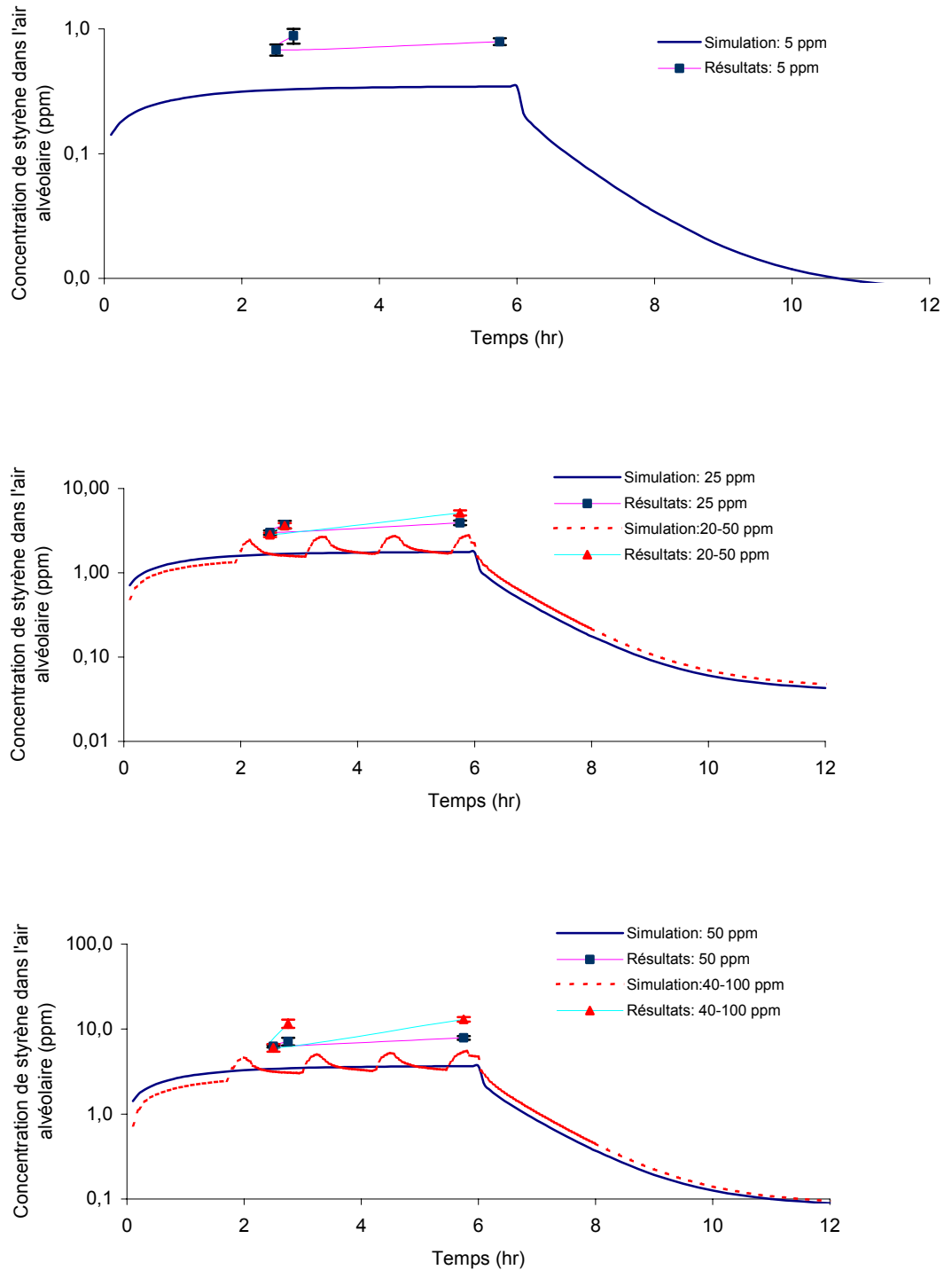


Figure 4 . Concentrations de styrène dans l'air alvéolaire chez des volontaires, exposés par inhalation à différents scénarios (I à V) durant la présente étude. Les points représentent la moyenne (\pm erreur-type) des concentrations obtenues chez les sujets (n=14 à 32). Les lignes représentent la simulation TCBP pour un homme de 70 kg, au repos.

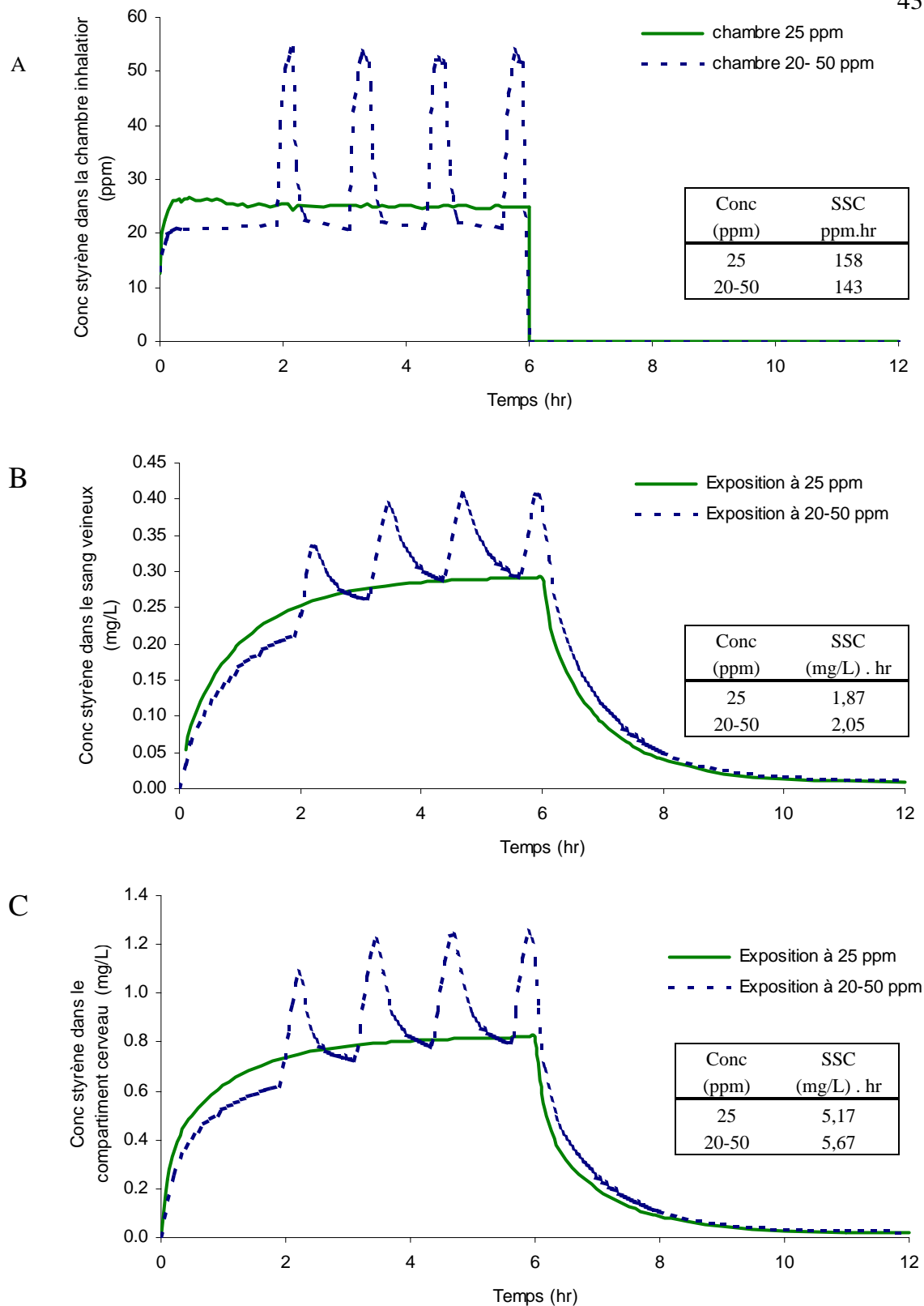


Figure 5 . Concentrations de styrène dans la chambre d'inhalation (A), dans le sang (B) et dans le cerveau (C). Les lignes représentent la simulation TCBP pour un homme de 70 kg, au repos. Les tableaux présentent les SSC calculées pour une concentration stable de 25 ppm et une concentration variable (avec pics) de 20-50 ppm de styrène.

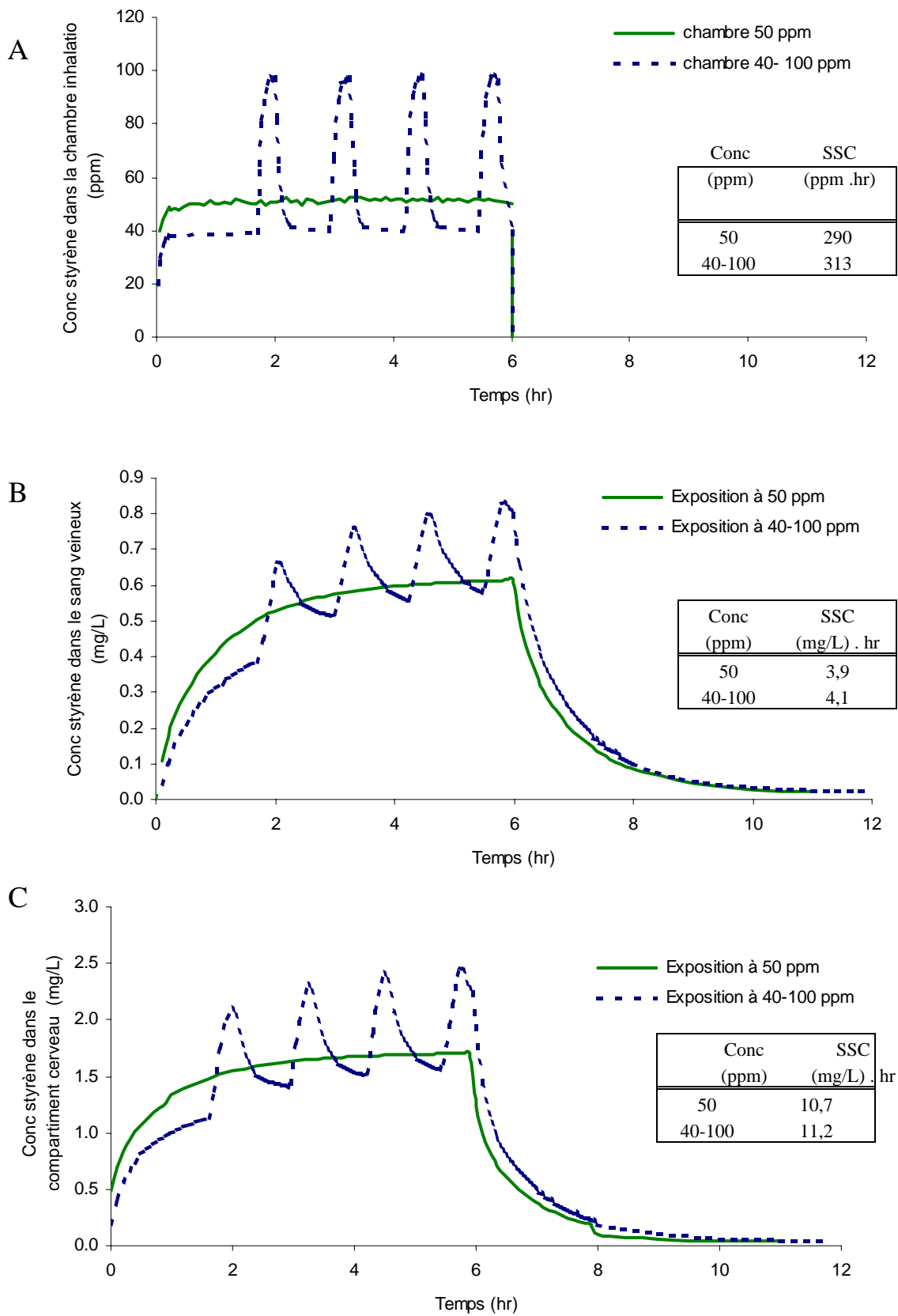


Figure 6 . Concentrations de styrène dans la chambre d'inhalation (A), dans le sang (B) et dans le cerveau (C). Les lignes représentent les valeurs simulées pour un homme de 70 kg, au repos. Les tableaux présentent les surfaces sous la courbe des concentrations (SSC) pour une concentration d'exposition stable de 50 ppm et une concentration variable de 40-100 ppm (avec pics) de styrène.

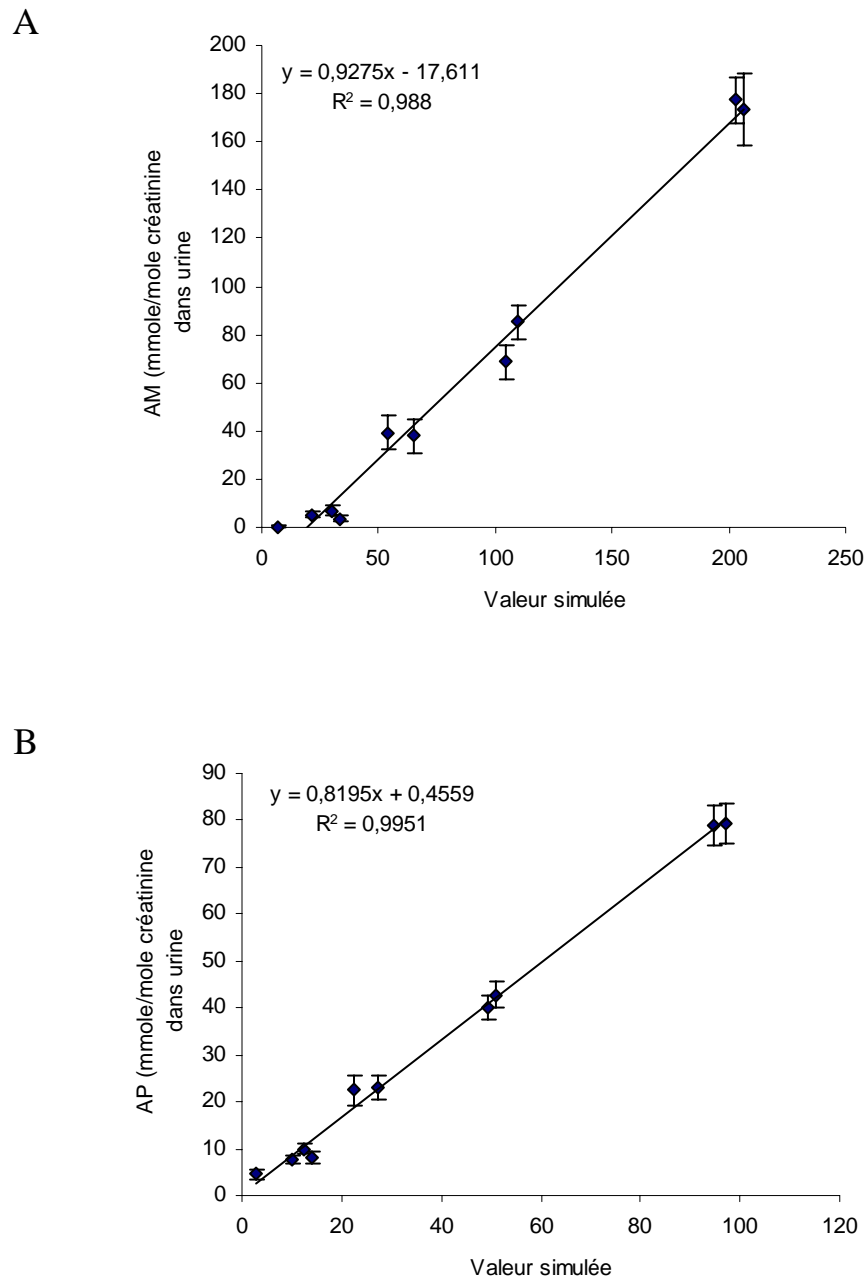


Figure 7. Corrélation entre les concentrations urinaires d'AM (A) et AP (B) mesurées chez les volontaires et les valeurs prédites par le modèle TCBP, pour l'ensemble des scénarios (Moyenne \pm erreur-type).

4.2.3 Conclusions

Les résultats de la surveillance biologique de l'exposition basée sur la mesure des métabolites urinaires montrent 1) que les valeurs varient considérablement ($CV \geq 30\%$) entre les individus et que, 2) les doses internes de styrène découlant de l'exposition aux deux concentrations stables sont pratiquement similaires à celles après exposition aux mêmes concentrations moyennes pondérées avec des pics de concentration.

La mesure de la concentration de styrène dans l'air alvéolaire bien que reflétant, l'exposition interne au styrène, est difficilement interprétable; le modèle TCBP utilisé dans cette étude n'a pas permis de décrire adéquatement la cinétique du styrène dans ce compartiment.

Le modèle montre clairement que les concentrations de styrène dans le cerveau varient en fonction des divers scénarios testés dans cette étude, notamment en ce qui concerne l'impact rapide des pics d'exposition sur les niveaux de styrène inchangé estimés dans cet organe cible.

Finalement l'excrétion des deux principaux métabolites urinaires du styrène est décrite de façon relativement acceptable malgré une légère surestimation des valeurs prédites comparativement aux valeurs expérimentales.

5 VOLET B : Mesurage de l'exposition en milieu de travail

5.1 Méthodes

Nous avons prévu étudier l'exposition au styrène dans une dizaine d'usines. En plus de l'exposition chronique, il a été nécessaire d'établir le profil d'exposition au styrène de quelques travailleurs représentatifs de chacun des postes de travail à l'intérieur des usines étudiées afin d'établir avec précision, dans le temps, le nombre et le niveau des divers pics de concentration.

L'estimation de l'exposition au cours des dernières années des travailleurs de chaque usine a été effectuée à partir des données des mesurages effectués par les équipes du secteur public dans le passé et à partir de notre mesurage de la concentration moyenne sur 20 jours en poste fixe dans chacune des entreprises. Cette stratégie a été choisie en raison du coût prohibitif qu'aurait entraîné une estimation de l'exposition personnelle à long terme de plusieurs travailleurs de chaque usine. Les concentrations de styrène à long terme ont été établies en échantillonnant l'air des locaux de travail pendant un mois dans au moins deux postes fixes dans chacune des dix usines à raison de huit heures par jour et cinq jours par semaine (ou selon l'horaire précis des entreprises en question).

L'échantillonnage a été effectué en utilisant des canettes SUMMA selon une méthode élaborée par le United States Environmental Protection Agency (42) telle que modifiée par Simon et Farant (43). Les canettes ont été placées le plus près possible des postes de travail des pulvérisateurs, des mouilleurs ou des lamineurs (2 mètres et plus du poste de travail). L'analyse du styrène a été faite par chromatographie en phase gazeuse.

L'utilisation des canettes SUMMA est avantageuse parce qu'elle permet que le travail d'échantillonnage se fasse sans la supervision d'un technicien : un responsable, rémunéré spécifiquement pour ce travail dans chaque usine, a eu la tâche d'ouvrir et de fermer des valves le matin et le soir en notant l'heure exacte. L'intervention de l'hygiéniste industriel de l'équipe de recherche n'a eu lieu qu'au tout début pour la mise en place des appareils.

La détermination de l'exposition des travailleurs aux pics de concentration de styrène a été faite lors d'une ou de deux journées de travail dans chacune des usines. Un chromatographe en phase gazeuse portable a été utilisé à cette fin. L'appareil était couplé à un micro-ordinateur portable. Un technicien maintenait la sonde d'échantillonnage à tout moment le plus près possible de la zone respiratoire du travailleur. Tout au long de l'échantillonnage les diverses tâches effectuées par le travailleur visé ont été systématiquement notées en fonction du temps. Le chromatographe a été déplacé durant la journée pour permettre de suivre l'exposition de quelques travailleurs (notamment lamineur, peintre, débulleur, pulvérisateur). Ce travail d'échantillonnage a exigé la présence d'un technicien pour la manipulation du chromatographe et d'un hygiéniste industriel pour l'observation des travailleurs et la prise de notes. L'évaluation de l'exposition n'a été effectuée que chez des travailleurs ne portant pas de protection respiratoire contre le styrène.

Suite à l'évaluation de l'exposition, les travailleurs ont été classés dans un des 4 groupes qui seront formés pour la deuxième partie de notre étude : groupe faiblement exposé ($\frac{1}{2}$ VEMP) sans les pics, groupe faiblement exposé ($\frac{1}{2}$ VEMP) avec les pics, groupe fortement exposé (VEMP) sans les pics et groupe fortement exposé (VEMP) avec les pics.

5.2 Exposition des travailleurs au styrène dans les entreprises individuelles

5.2.1 Généralités

Dans notre évaluation, nous avons comparé les concentrations moyennes mesurées pendant la durée des cycles de travail avec la VECD de 426 mg/m^3 . Nous sommes conscients que la comparaison est approximative, car la VECD est réglementée pour une durée de 15 minutes. Dans notre étude, la durée des cycles variait entre 3 et 67 minutes avec 66 % des cycles d'une durée inférieure à 15 min, 26 % entre 15 et 30 min et seulement 8 % supérieure à 30 min. Donc, dans la majorité des cas, la concentration moyenne de 15 minutes devrait être plus basse, car ce n'est que pendant ces cycles de travail que les travailleurs sont exposés aux plus hautes concentrations de styrène.

Également, les expositions moyennes (mesurées avec les dosimètres passifs) durant la demi-journée de travail (à l'exception de l'entreprise E où la durée était de 8 heures) étaient comparées avec la VEMP de 8 heures (213 mg/m^3) en supposant que ces concentrations sont représentatives de l'exposition pendant toute la journée de travail.

Seules les concentrations de courte durée (mesurées avec le micro-GC) qui ont dépassé 2 fois et plus la concentration moyenne de la journée, mesurée chez des travailleurs directement exposés dans l'entreprise (dernière mesure parmi les données historiques ; tableau 10), étaient considérées comme des «pics de concentration». Cette décision est justifiée par le ratio entre la VECD et la VEMP qui égale aussi 2.

5.2.2 Entreprise A

Caractéristiques de l'entreprise

L'entreprise A (tableau 9) produit des pièces d'autobus (secteur 1) et des motos marines (secteur 2). Il s'agit d'une grande usine de 300 travailleurs, dont 45 sont directement exposés au styrène. Le procédé de laminage utilisé consiste à déverser la résine manuellement ou avec un dispositif hydraulique. On peut aussi projeter la résine à l'aide d'un pistolet robotisé. L'usine est divisée en deux secteurs qui ont été évalués séparément. La résine utilisée contient 30 à 35 % de styrène dans le secteur 1 et 30 à 60 % dans le secteur 2. La ventilation générale assure 6 et 9 changements d'air/heure dans les deux secteurs respectifs. Le système de ventilation locale est constitué de ventilateurs

à pales installés à 4,5 m du sol et des plénums poussant l'air. La ventilation reste la même pendant toute l'année, donc l'exposition des travailleurs ne change pas avec la saison. Les secteurs où des travailleurs sont directement exposés au styrène occupent la moitié de l'entreprise. Le volume des aires de travail où il y a exposition au styrène est de 11 065 m³ dans le secteur 1 et de 6 242 m³ dans le secteur 2.

Exposition dans le passé

L'échantillonnage dans cette entreprise n'a été effectué que cette année, dont celle dans le secteur 1 pendant notre mesurage (tableau 10). L'exposition pendant 2,5 à 4 heures de travail a été mesurée, en utilisant les dosimètres passifs (3M #3500), chez 8 lamineurs, 4 mouilleurs, 1 débulleur et chez 1 responsable du robot dans le secteur 1 et chez 6 débulleurs dans le secteur 2. Selon les précédents rapports d'hygiène industrielle reçus, les résultats étaient représentatifs de l'exposition réelle des travailleurs. Néanmoins, l'exposition peut varier selon le nombre et le type de pièces fabriquées ainsi que la méthode utilisée (pulvérisation, débullage, mouillage et laminage par contact). L'exposition a été comparable dans les deux secteurs, variant entre 155 et 325 mg/m³ (moyenne de 243 mg/m³) dans le secteur 1 et entre 140 et 320 mg/m³ (moyenne de 220 mg/m³) dans le secteur 2. L'exposition du responsable de robot a été de 265 mg/m³. La VEMP a été dépassée dans 10 cas sur 14 dans le secteur 1 et dans 3 cas sur 6 dans le secteur 2.

Exposition mesurée pendant notre étude

Dans le secteur 1, nous avons mesuré neuf cycles chez des lamineurs, mouilleurs et débulleurs et 1 cycle chez l'opérateur de robot. Dans le secteur 2, les débulleurs ont été échantillonnés pendant 3 cycles (tableau 11A). La durée des cycles variait largement (3 à 67 minutes) dans le secteur 1, mais pas dans le secteur 2 (14 à 16 minutes), car dans ce secteur le travail est effectué à la chaîne.

Les concentrations moyennes de styrène mesurées pendant la durée de chaque cycle varient entre 55 et 294 mg/m³ dans le secteur 1, ne dépassant jamais la VECD. La concentration de styrène mesurée pendant 20 minutes dans le milieu ambiant (pause entre deux cycles de laminage) s'abaissait de 144 à 97 mg/m³, indiquant que les lamineurs sont toujours exposés au moins à la moitié de la VEMP s'ils restent dans ce secteur de laminage. Dans le secteur 2, toutes les concentrations moyennes étaient au niveau de la moitié de la VECD.

L'exposition dans l'endroit où se trouve le robot peut varier largement dépendant de la pièce fabriquée. L'exposition moyenne d'un opérateur de robot pendant la durée d'un cycle de 20 minutes était basse (89 mg/m³), mais le lendemain, la concentration moyenne mesurée dans le milieu ambiant de ce robot pendant 9 minutes était de 239 mg/m³ dû à des opérations de laminage ayant cours à proximité.

Les concentrations dépassant respectivement 486 mg/m^3 ($243 \text{ mg/m}^3 \times 2$) et 440 mg/m^3 ($220 \text{ mg/m}^3 \times 2$) dans les secteurs 1 et 2 étaient considérées comme des pics. Aucun pic n'a été identifié pendant nos mesures.

Nos mesures des expositions moyennes sur 21 jours avec les canettes SUMMA ont été effectuées à 4 postes fixes dans le secteur 1 (tableau 12). Les concentrations ont varié entre 2 et 92 mg/m^3 avec une moyenne de 48 mg/m^3 . Cette valeur a été 5 fois plus basse que la concentration moyenne de 243 mg/m^3 mesurée avec des dosimètres passifs.

Conclusion

Les travailleurs dans cette usine sont exposés au niveau de la VEMP; dans plusieurs cas l'exposition moyenne dépasse la norme. L'exposition de courte durée ne dépasse pas la VECD et aucun pic n'a été identifié.

Pour la deuxième phase de notre étude, les travailleurs de cette entreprise pourront former le groupe fortement exposé (au niveau de la VEMP) sans pics de concentration.

5.2.3 Entreprise B

Caractéristiques de l'entreprise

L'entreprise B (tableau 9) produit des pièces pour les camions lourds. Il s'agit d'une petite usine avec 6 travailleurs, dont 2 sont directement exposés au styrène. Le procédé de laminage utilisé consiste à projeter manuellement la résine à l'aide d'un pistolet Magnum® de la dernière génération. La résine utilisée contient 40 à 70 % de styrène. La ventilation générale est assurée par une unité d'air de remplacement de $283 \text{ m}^3/\text{min}$. La ventilation locale utilise 3 caissons de captation (57 à $141 \text{ m}^3/\text{min}$). La ventilation reste la même pendant toute l'année, donc l'exposition des travailleurs ne change pas avec la saison. Les secteurs où des travailleurs sont directement exposés au styrène occupent 20 % de la surface de l'entreprise. Le volume des aires de travail avec exposition au styrène est de 2814 m^3 .

Exposition dans le passé

L'échantillonnage dans cette entreprise n'a été effectué que cette année, le jour de notre mesurage (tableau 10). L'exposition pendant 3,6 heures de travail a été mesurée en utilisant des dosimètres passifs (3M #3500), chez un débulleur - lamineur et chez un pulvérisateur - lamineur. Selon les précédents rapports d'hygiène industrielle reçus, les résultats étaient représentatifs de l'exposition réelle des travailleurs. Néanmoins, l'exposition peut varier selon le nombre et le type de pièces fabriquées ainsi que la méthode utilisée (pulvérisation, débullage). L'exposition a été comparable dans la salle de pulvérisation et dans le secteur de débullage (220 et 215 mg/m^3 , moyenne de 218 mg/m^3) dépassant légèrement la VEMP.

Exposition mesurée pendant notre étude

Nous avons suivi les travailleurs pendant 7 cycles (tableau 11B). La durée des cycles était courte (3 à 10 minutes). Les concentrations moyennes de styrène mesurées pendant la durée de chaque cycle varient entre 73 et 159 mg/m³ bien au-dessous de la VECD.

Les concentrations dépassant 436 mg/m³ (218 mg/m³ x 2) mg/m³ étaient considérées comme pics. Aucune concentration de courte durée ne dépassait cette valeur.

Nos mesures des expositions moyennes sur 20 jours avec les canettes SUMMA ont été effectuées à 2 postes fixes (tableau 12). Les concentrations ont varié entre 91 et 94 mg/m³ avec une moyenne de 93 mg/m³. Cette valeur est plus de 2 fois plus basse que la concentration moyenne de 218 mg/m³ mesurée avec des dosimètres passifs.

Conclusion

Selon les résultats provenant des dosimètres passifs, les deux travailleurs dans cette usine sont exposés au niveau de la VEMP. L'exposition de courte durée pendant tous les cycles de travail échantillonnés était au-dessous de la VECD, aucun pic n'était enregistré. Contrairement à nos attentes, l'exposition moyenne de la journée de travail mesurée par les dosimètres passifs est plus haute que l'exposition de courte durée. Cette disparité pourrait être expliquée par d'autres opérations, que nous n'avons pas mesurées pendant notre échantillonnage que 80 minutes au total. Néanmoins, selon les informations obtenues, les cycles échantillonnés devraient être représentatifs de la journée de travail.

Pour la deuxième phase de notre étude, les travailleurs de cette entreprise pourront être inclus dans le groupe fortement exposé (au niveau de la VEMP) sans pics de concentration.

5.2.4 Entreprise C

Caractéristiques de l'entreprise

L'entreprise C (tableau 9) produit des bains et des douches. Il s'agit d'une usine de taille moyenne avec 17 travailleurs, dont 6 sont directement exposés au styrène. Le procédé de laminage consiste à projeter manuellement la résine à l'aide d'un pistolet Magnum® de la dernière génération. La résine utilisée contient de 30 à 60 % de styrène. La ventilation générale est assurée par une unité d'air de remplacement de 226 m³/min. La ventilation locale utilise 2 caissons de captation dans les deux salles de pulvérisation (1,2 à 1,6 changements d'air/min). La ventilation reste la même pendant toute l'année, donc l'exposition des travailleurs ne change pas avec la saison. Les secteurs où des travailleurs sont directement exposés au styrène occupent 35 % de l'atelier. Le volume des aires de travail avec exposition au styrène est de 2453 m³.

Exposition dans le passé

L'échantillonnage dans cette entreprise a été effectué l'année passée et cette année, trois semaines après notre propre échantillonnage (tableau 10). L'exposition pendant 4 heures de travail a été mesurée en utilisant des dosimètres passifs (3M #3500). Selon les précédents rapports d'hygiène industrielle reçus, les résultats étaient représentatifs de l'exposition réelle des travailleurs. Néanmoins, l'exposition peut varier selon le nombre et le type de pièces fabriquées ainsi que selon la méthode utilisée (pulvérisation, débullage). L'année passée, l'exposition mesurée dans la salle de pulvérisation a été de 127 mg/m^3 , tandis que dans le secteur de débullage, elle a été 115 et 166 mg/m^3 . Cette année, l'exposition a été mesurée chez 6 travailleurs. L'exposition moyenne dans la salle de pulvérisation a été au niveau de la VEMP (210 et 220 mg/m^3), tandis que dans le secteur du débullage, elle a été plus élevée (170 , 265 , 305 et 370 mg/m^3), dépassant la VEMP dans 3 cas. L'exposition moyenne de tous les échantillonnages a été de 217 mg/m^3 .

Exposition mesurée pendant notre étude

Nous avons suivi les travailleurs pendant 7 cycles (tableau 11 C). La durée des cycles était courte (3 à 15 minutes).

Les concentrations moyennes de styrène mesurées pendant la durée de chaque cycle varient entre 63 et 233 mg/m^3 bien au-dessous de la VECD.

Les concentrations dépassant 434 mg/m^3 ($217 \text{ mg/m}^3 \times 2$) étaient considérées comme pics. Les pics variaient entre 459 et 546 mg/m^3 , dépassant plus de 2 fois la concentration moyenne de la journée et aussi la VECD. Leur durée variait entre 2 et 6 minutes. Nos mesures des expositions moyennes sur 22 jours avec les canettes SUMMA ont été effectuées à 1 poste fixe (tableau 12). La concentration de 38 mg/m^3 a été plus de 6 fois plus basse que la concentration moyenne de 217 mg/m^3 mesurée avec des dosimètres passifs.

Conclusion

Selon les résultats provenant des dosimètres passifs, les travailleurs dans cette usine sont exposés au niveau de la VEMP. L'exposition de courte durée pendant tous les cycles de travail échantillonnés était au-dessous de la VECD. Contrairement à nos attentes, l'exposition moyenne de la journée de travail mesurée par les dosimètres passifs est plus haute que l'exposition de courte durée. Par exemple, selon nos mesures, l'exposition des pulvérisateurs aurait dû être le double de celle mesurée par des dosimètres passifs cette année. Cette disparité pourrait être expliquée par d'autres opérations, que nous n'avons pas mesurées pendant notre échantillonnage qui n'a duré que 77 minutes au total. Néanmoins, selon les informations obtenues, les cycles échantillonnés devraient être représentatifs de la journée de travail.

Pour la deuxième phase de notre étude, les travailleurs de cette entreprise pourront être inclus dans le groupe fortement exposé (au niveau de la VEMP) avec des pics de concentration.

5.2.5 Entreprise D

Caractéristiques de l'entreprise

L'entreprise D (tableau 9) produit des pièces d'autobus et de camions. Il s'agit d'une grande usine avec 102 travailleurs, dont 15 sont directement exposés au styrène. Le procédé de laminage consiste à déverser la résine manuellement ou avec un dispositif hydraulique. On peut aussi projeter la résine à l'aide d'un pistolet suivi du débullage au rouleau. L'usine est divisée en deux secteurs qui ont été évalués séparément. La résine utilisée dans le secteur 1 contient de 30 à 35 % de styrène et dans le secteur 2 de 20 à 60 %. La ventilation générale assure 12 et 8,5 changements d'air à l'heure dans les deux secteurs respectifs. La ventilation locale utilise les ventilateurs à pales installés à 4,5 m du sol. La ventilation reste la même pendant toute l'année, donc l'exposition des travailleurs ne change pas avec la saison. Le volume des aires de travail avec exposition au styrène est de 6289 m³ dans le secteur 1 et de 13621 m³ dans le secteur 2.

Exposition dans le passé

L'échantillonnage a été effectué au printemps et à l'été 1998 dans le secteur 2 et au printemps 2000, le jour de notre mesurage, dans le secteur 1 (tableau 10). L'exposition pendant 4 heures de travail a été mesurée en utilisant les dosimètres passifs (3M #3500). Selon les précédents rapports d'hygiène industrielle reçus, les résultats étaient représentatifs de l'exposition réelle des travailleurs. Néanmoins, l'exposition peut varier selon le nombre et le type de pièces fabriquées ainsi que selon la méthode utilisée (pulvérisation, débullage, mouillage et laminage par contact).

L'exposition de 8 travailleurs échantillonnés dans le secteur 2 variait entre 78 et 174 mg/m³. Le neuvième travailleur a été exposé à 324 mg/m³ dépassant la VEMP. La concentration moyenne était de 136 mg/m³. En excluant le travailleur fortement exposé, la moyenne était de 112 mg/m³. L'exposition de 4 travailleurs échantillonnés dans le secteur 1 était au-dessous de la VEMP, variant entre 56 et 170 mg/m³ (moyenne de 116 mg/m³).

Exposition mesurée pendant notre étude

Nous avons suivi un opérateur de robot pendant 1 cycle couvrant plusieurs tâches et les débulleurs pendant 6 cycles dans le secteur 1 et les lamineurs pendant 13 cycles dans le secteur 2 (tableau 11 D). Dans le secteur 1, la durée des cycles variait entre 4 et 10 minutes pour les débulleurs. L'opérateur de robot a été échantillonné pendant 66 minutes. Dans le secteur 2, la durée des tâches variait entre 6 et 46 minutes.

Les concentrations moyennes de styrène mesurées pendant la durée de chaque cycle varient entre 57 et 565 mg/m³ dans le secteur 1, dépassant dans un cas la VECD. L'exposition de l'opérateur de robot a été relativement basse (89 mg/m³). La concentration de styrène mesurée pendant 36 minutes dans le milieu ambiant (pause de robot) diminuait de 77 à 26 mg/m³ (moyenne de 27 mg/m³) indiquant que les débulleurs sont exposés à des bas niveaux de styrène entre les opérations. Dans le secteur 2, toutes les concentrations moyennes étaient au-dessous de la VECD, variant entre 64 et 256 mg/m³. Pendant la pause de 25 minutes, la concentration de styrène diminuait de 60 à 30 mg/m³ (moyenne de 38 mg/m³) indiquant que même dans ce secteur les lamineurs sont exposés à des bas niveaux de styrène entre les opérations.

Les concentrations dépassant respectivement 232 mg/m³ (116 mg/m³ x 2) et 224 mg/m³ (112 mg/m³ x 2) dans les secteurs 1 et 2, étaient considérées comme pics. Dans le secteur 1, la hauteur des pics variait entre 247 et 1657 mg/m³, dépassant de 2,1 à 14,3 fois la concentration moyenne de la journée et aussi dans plusieurs cas la VECD. Dans le secteur 2, la hauteur de pics variait entre 262 et 1781 mg/m³, dépassant de 2,3 à 15,9 fois la concentration moyenne, mais seulement dans deux cas la VECD. La durée de pics variait entre 2 et 11 minutes.

Nos mesures des expositions moyennes sur 20 jours avec les canettes SUMMA ont été effectuées à 4 postes fixes dans le secteur 2 (tableau 12). Les concentrations ont varié entre 5 et 32 mg/m³ avec la moyenne de 21 mg/m³. Cette valeur a été 6,5 fois plus basse que la concentration moyenne de 136 mg/m³ mesurée avec des dosimètres passifs.

Conclusion

Les travailleurs dans cette usine sont exposés dans la majorité de cas à une concentration moyenne de styrène variant entre 25 et 80 % de la VEMP. Un seul travailleur a dépassé la VEMP pendant les mesures faites dans le passé. Lorsque prise globalement, l'exposition de courte durée pendant 5 de 7 cycles dans le secteur 1 et pendant 10 de 13 cycles dans le secteur 2 ne semble pas dépasser 25 % de la VECD et 60 % pour le reste de cycles échantillonnés (à l'exception d'un seul cycle dans le secteur 1 où la VECD pourrait être dépassée). Les pics de concentrations sont importants dans cette entreprise. Dans la deuxième partie de notre étude, les travailleurs de cette entreprise pourront être inclus dans les groupes faiblement exposés (1/2 VEMP) avec des pics et fortement exposé (VEMP) avec des pics.

5.2.6 Entreprise E

Caractéristiques de l'entreprise

L'entreprise E (tableau 9) produit des bateaux de plaisance (longueur jusqu'à 8,5 m). Il s'agit d'une grande usine avec 120 travailleurs, dont 15 sont directement exposés au styrène. Le procédé de laminage consiste à déverser la résine manuellement ou avec un

dispositif hydraulique. On peut aussi projeter la résine à l'aide d'un pistolet suivi du débullage au rouleau. La résine utilisée contient de 30 à 40 % de styrène. La ventilation générale est assurée par 5 hottes (capacité totale de 882 m³/min). L'admission d'air frais chauffé est de 882 m³/min. Il n'y a pas de la ventilation locale. La ventilation reste la même pendant toute l'année, donc l'exposition des travailleurs ne change pas avec la saison. Le volume des aires de travail avec l'exposition au styrène est de 8040 m³.

Exposition dans le passé

L'échantillonnage a été effectué au printemps 2000, une semaine après notre échantillonnage (tableau 10). L'exposition pendant toute la journée de travail (8 heures) a été mesurée, en utilisant des dosimètres passifs. L'exposition de 4 travailleurs (peintre, lamineur, opérateur de pistolet hachoir et démouleur) échantillonnés variait entre 271 et 453 mg/m³ (moyenne de 374 mg/m³) dépassant dans tous les cas la VEMP.

Exposition mesurée pendant notre étude

Les travailleurs ont été suivis pendant 12 tâches incluant 2 cycles de peinture (gel coat) et une mesure chez un tailleur de tissus. Seul le peintre portait un masque (tableau 11 E). La durée des cycles variait largement entre 13 et 88 minutes parmi les 9 tâches concernant la pulvérisation, débullage, mouillage et laminage. Les concentrations moyennes de styrène mesurées pendant la durée de ces tâches variaient entre 114 et 894 mg/m³, dont plusieurs fortement au-dessus de la VECD. L'exposition moyenne du peintre pendant deux tâches d'une durée de 16 et 18 minutes, était de 371 et 519 mg/m³. Un tailleur de tissus a été suivi pendant 6 minutes et sa concentration moyenne de styrène était de 168 mg/m³. Cette concentration correspondait à la concentration de styrène dans l'air de la zone de laminage. La mesure d'une durée de 9 minutes dans un endroit de l'usine sans exposition directe a donné une concentration moyenne de 19 mg/m³.

Les concentrations dépassant 748 mg/m³ (374 mg/m³ x 2) mg/m³ étaient considérées comme pics. En tout, vingt et un pics ont été identifiés et leur hauteur variait entre 754 et 2284 mg/m³, dépassant de 2 à 6,1 fois la concentration moyenne de la journée et dans tous les cas la VECD. La durée de pics variait entre 2 et 11 minutes.

Nos mesures des expositions moyennes sur 20 jours avec les canettes SUMMA ont été effectuées à 4 postes fixes (tableau 12). Les concentrations ont varié entre 14 et 58 mg/m³ avec une moyenne de 38 mg/m³. Cette valeur a été 9,8 fois plus basse que la concentration moyenne de 374 mg/m³ mesurée avec des dosimètres passifs.

Conclusion

Selon les résultats provenant des dosimètres passifs, certains travailleurs dans cette usine sont exposés à des concentrations moyennes dépassant largement la VEMP (même plus de 2 fois). Dans 50 % des tâches, l'exposition de courte durée dépasse la VECD, dans

certains cas même 2 fois. Les pics de concentration sont très importants dans cette entreprise, dépassant jusqu'à 5,4 fois la VECD. Dans la deuxième partie de notre étude, certains travailleurs moins exposés de cette entreprise pourront être inclus dans le groupe fortement exposé (VEMP) avec des pics.

5.2.7 Entreprise F

Caractéristiques de l'entreprise

L'entreprise F (tableau 9) produit des balcons et des escaliers. Il s'agit d'une petite usine avec 2 travailleurs, dont 1 est directement exposé au styrène. Le procédé de laminage consiste à projeter la résine à l'aide d'un pistolet suivi du débullage au rouleau ou à déverser la résine manuellement. Le travailleur porte un masque à cartouche chimique pendant la pulvérisation. La résine utilisée contient 35 à 45 % de styrène. L'usine ne possède pas de ventilation locale ou générale. Pendant la journée d'échantillonnage, la porte de garage a été ouverte pendant toute la journée.

Exposition dans le passé

L'échantillonnage au moyen de dosimètre passif a été effectué le même jour que notre mesurage (tableau 10). L'exposition moyenne pendant toute la journée de travail, mesurée en utilisant le dosimètre passif chez un pulvérisateur- débulleur, était de 170 mg/m^3 , soit une valeur située au-dessous de la VEMP.

Exposition mesurée pendant notre étude

Nous avons suivi le travailleur pendant 6 cycles (tableau 11 F). La durée des cycles était assez longue variant entre 21 et 39 minutes. Pendant une tâche exceptionnelle (réparation d'embarcation représentant un espace restreint ; répétition 3 fois par an) d'une durée de 39 minutes, la concentration moyenne a dépassé 1,5 fois la VECD. Mais pendant les cycles qui se répètent chaque jour, la concentration moyenne variait entre 77 et 184 mg/m^3 , bien au-dessous de la VECD.

Les concentrations dépassant 340 mg/m^3 ($170 \text{ mg/m}^3 \times 2$) étaient considérées comme pics. En tout, 8 pics (dont 6 pendant une tâche exceptionnelle) ont été identifiés et leur hauteur variait entre 395 et 2671 mg/m^3 , dépassant de 2,3 à 15,7 fois la concentration moyenne de la journée et dans 7 cas la VECD. La durée de pics variait entre 2 et 9 minutes.

Conclusion

Pendant la journée d'échantillonnage, le travailleur a été exposé en moyenne au-dessous de la VEMP. Pendant les cycles de travail habituels, son exposition était aussi au-dessous de la VECD. Seulement 2 pics ont été identifiés, dont un d'une longue durée (14 minutes)

dépassant 2,9 fois la concentration moyenne et légèrement la VECD. Ce n'est que pendant une tâche exceptionnelle effectuée dans un espace restreint où il y a eu 6 pics allant jusqu'à 6,3 fois la VECD. Il faut noter que dans cette entreprise la ventilation est assurée par l'ouverture de la porte de garage, donc en hiver l'exposition est sûrement plus élevée. Nous avons appris que l'entreprise devrait déménager; l'exposition dans le futur ne sera pas probablement la même; donc en ce moment, nous pouvons pas classer le travailleur pour la 2^e phase.

5.2.8 Entreprise G

Caractéristiques de l'entreprise

L'entreprise G produit des pièces pour les petits camions (tableau 9). Il s'agit d'une petite usine avec 8 travailleurs, dont 7 sont directement exposés au styrène. Le procédé de laminage consiste à projeter la résine à l'aide d'un pistolet suivi du débullage au rouleau ou à déverser la résine manuellement. La résine utilisée contient 40 % de styrène. La ventilation est assurée par aspiration locale avec retour de l'air préchauffé. Étant donné que cette usine est en reconstruction, nous n'avons pas reçu plus de détail. Pour instant, il devrait y avoir une différence entre l'exposition des travailleurs en été et en hiver car en été les fenêtres et les portes de garage sont ouvertes.

Exposition dans le passé

Des mesures environnementales préliminaires, faites avec des tubes colorimétriques GASTEC, ont été réalisées en octobre 2000 (tableau 10). Ces mesures sur de très courtes périodes ont montré une fluctuation importante des concentrations de styrène dans la salle de pulvérisation.

Un autre échantillonnage a été effectué en novembre 2000, le jour de notre échantillonnage (tableau 10). L'exposition pendant toute la journée de travail a été mesurée, en utilisant les dosimètres passifs, chez 4 personnes. L'exposition de 3 lamineurs échantillonnés était de 230, 230 et 817 mg/m³ dépassant dans tous les cas la VEMP. Une personne travaillant dans d'« autres secteurs » avait une concentration moyenne de 115 mg/m³. Dans ces secteurs de l'entreprise, quatre autres travailleurs sont exposés à des niveaux semblables. Le rapport de l'hygiéniste a indiqué des fluctuations importantes dans l'exposition des débulleurs et des pulvérisateurs, puisque ces activités ne sont pas réalisées en continu dans le temps.

Exposition mesurée pendant notre étude

Nous avons mesuré les concentrations de styrène pendant 10 cycles comprenant la peinture, la pulvérisation et le débullage (tableau 11 G). La durée des cycles variait entre 5 et 34 minutes. Les concentrations moyennes de styrène mesurées pendant la durée de chaque cycle varient entre 55 et 1234 mg/m³ dépassant dans deux cas la VECD. La

concentration moyenne de styrène mesurée deux fois (pendant 48 et 120 minutes) dans le milieu hors du secteur de laminage était de 155 mg/m^3 , indiquant que les cinq autres travailleurs, non directement exposés, paraissent généralement exposés à la moitié de la VEMP.

Les concentrations dépassant 852 mg/m^3 ($426 \text{ mg/m}^3 \times 2$) étaient considérées comme pics. Les pics variaient entre 1093 et 3578 mg/m^3 , dépassant jusqu'à 8,4 fois la concentration moyenne de la journée et la VECD. Leur durée variait entre 7 et 17 minutes. Dans un cycle de pulvérisation et de débullage d'une durée de 21 minutes, la concentration moyenne a dépassé presque 3 fois la VECD et un pic de concentration d'une durée de 16 minutes a monté jusqu'à 3578 mg/m^3 .

Conclusion

Selon les résultats provenant des dosimètres passifs, les travailleurs directement exposés ont des expositions journalières au-dessus de la VEMP. L'exposition de courte durée était au-dessous de la VECD pendant 8 de 10 cycles de travail échantillonnés, mais pendant 2 cycles, les travailleurs étaient fortement surexposés. Les pics de concentrations sont importants dans cette entreprise. Les travailleurs non directement exposés sont toujours exposés à la moitié de la VEMP. Étant donné que cette usine est en reconstruction, il est bien possible que l'exposition des travailleurs change dans les prochains mois. Dans la deuxième partie de notre étude, les travailleurs de cette entreprise pourront être inclus dans les groupes faiblement exposés ($\frac{1}{2}$ VEMP) sans pics et fortement exposé (VEMP) avec des pics.

5.2.9 Entreprise H

Caractéristiques de l'entreprise

L'entreprise H produit des cabines de camion (tableau 9). Il s'agit d'une petite usine avec 5 travailleurs, dont 4 sont directement exposés au styrène (1 peintre-lamineur, 1 démouleur et 2 préposés à la finition). Le procédé de laminage consiste à projeter la résine à l'aide d'un pistolet à haute pression suivi du débullage au rouleau ou à déverser la résine manuellement. La résine utilisée contient 50 à 80 % de styrène. La ventilation générale est naturelle (portes et fenêtres ouvertes). La ventilation locale est de type « push-pull » dans les chambres de peinture et de laminage et un ventilateur à pales est placé au plafond dans l'aire de séchage. Une protection respiratoire à adduction d'air est portée pendant la peinture et un masque pendant la projection. L'exposition est semblable en été et en hiver pour le peintre-lamineur et plus faible en été pour les autres postes. Portes et fenêtres sont ouvertes continuellement en été seulement. Le volume des aires de travail avec exposition au styrène est de 379 m^3 .

Exposition dans le passé

Les données sur l'exposition sont disponibles à partir de l'année 1986 (tableau 10). Les niveaux moyens d'exposition ont progressivement diminué de 758 mg/m³ en 1986 à 295 mg/m³ en 1997. Les échantillonnages effectués chez un travailleur au printemps et en été 1999 ont donné les mêmes résultats (concentrations moyennes de 302 et 299 mg/m³).

Cette année l'échantillonnage a été effectué en avril 2000. L'exposition pendant toute la journée de travail a été mesurée, en utilisant les dosimètres passifs, chez 2 personnes. L'exposition moyenne d'un travailleur œuvrant dans la section de la pulvérisation et du laminage était de 497 mg/m³, tandis que le travailleur affecté dans la section de la préparation des moules était exposé à 83 mg/m³. La concentration moyenne mesurée pendant les deux dernières années dans le secteur de la pulvérisation et du laminage était donc 398 mg/m³. Il faut néanmoins noter que le peintre-lamineur porte un masque pendant la peinture et la pulvérisation, donc son exposition sera en réalité plus basse que celle mesurée avec le dosimètre passif. Aucune surveillance biologique n'a été effectuée lors des dernières années pour évaluer l'exposition réelle du peintre-lamineur.

Exposition mesurée pendant notre étude

Nous avons suivi le peintre-lamineur pendant deux cycles de pulvérisation + débullage + laminage (tableau 11 H). La durée des cycles était relativement longue (29 et 39 minutes) et les concentrations moyennes de styrène mesurées pendant chaque cycle étaient très élevées (821 et 994 mg/m³), mais ne correspondaient pas à son exposition réelle à cause de l'utilisation de protection respiratoire pendant la pulvérisation.

Les concentrations dépassant 796 mg/m³ (398 mg/m³ x 2) étaient considérées comme pics. Les pics variaient entre 1172 et 4503 mg/m³, dépassant jusqu'à 11,3 fois la concentration moyenne de la journée et jusqu'à 10,6 fois la VECD. Leur durée variait entre 5 et 13 minutes. Les plus hauts pics (4503 et 3770 mg/m³) étaient atteints pendant la pulvérisation quand le travailleur portait un masque. Mais même pendant le reste des cycles (masque enlevé) les pics de concentration dépassaient jusqu'à 4,6 fois la VECD.

Dans la zone de préparation des moules et de finition (séchage), l'exposition des travailleurs était au niveau de la VEMP. Les concentrations moyennes mesurées pendant 14 et 16 minutes étaient de 184 et 246 mg/m³, certaines valeurs ponctuelles atteignaient la VECD, mais aucun pic n'a été identifié.

Conclusion

Étant donné que le peintre-lamineur porte une protection respiratoire, il sera exclu de la deuxième partie de l'étude. Trois autres travailleurs avec exposition au niveau de la VEMP seront inclus dans le groupe exposé au niveau de la VEMP sans pics de concentration.

5.2.10 Entreprise I

Caractéristiques de l'entreprise

L'entreprise I (tableau 9) produit des douches et des baignoires. Il s'agit d'une usine de taille moyenne avec 46 travailleurs, dont 19 sont directement exposés au styrène. Le procédé de laminage consiste à projeter la résine à l'aide d'un pistolet (pistolet à haute et à basse pression) suivi du débullage au rouleau ou à déverser la résine manuellement. La résine utilisée contient 20 à 50 % de styrène. La ventilation générale est naturelle (portes et fenêtres) et mécanique. Nous n'avons pas reçu plus d'information. La ventilation locale utilise des ventilateurs axiaux installés sur les murs près des lamineurs. Selon les précédents rapports d'hygiène industrielle reçus, l'exposition des travailleurs est légèrement plus faible à tous les postes en été. Le volume des aires de travail avec exposition au styrène est de 1100 m³.

Exposition dans le passé

Les données sur l'exposition sont disponibles à partir de l'année 1986 (tableau 10). Les concentrations moyennes d'exposition ont diminué de 978 mg/m³ en 1986 à 170 mg/m³ en 1989. À partir de l'année 1991 l'exposition des travailleurs reste stable variant entre 267 et 297 mg/m³ sans variations saisonnières importantes.

Le dernier échantillonnage a été effectué en décembre 1999. L'exposition a été mesurée pendant 7 heures en utilisant des dosimètres passifs. L'exposition moyenne chez 9 personnes variait entre 195 et 342 mg/m³ (concentration moyenne de 269 mg/m³). L'exposition de 6 travailleurs a dépassé la VEMP.

Exposition mesurée pendant notre étude

Les travailleurs ont été suivis pendant 11 cycles incluant 3 cycles de peinture (gel coat) (tableau 11 I). Pendant la peinture, les travailleurs portaient un masque, donc ces trois cycles n'ont pas été pris en considération pour l'évaluation de l'exposition des travailleurs. La durée des cycles variait largement entre 9 et 56 minutes parmi les 8 tâches concernant la pulvérisation, le débullage et le laminage. Les concentrations moyennes de styrène mesurées pendant la durée de ces tâches variaient entre 154 et 630 mg/m³, dont un au-dessus de la VECD. La concentration de styrène dans l'air de la zone de laminage était de 115 mg/m³. Une mesure d'une durée de 75 minutes dans un secteur de l'usine sans exposition directe a donné une concentration moyenne de 55 mg/m³.

Les concentrations dépassant 538 mg/m³ (269 mg/m³ x 2) mg/m³ étaient considérées comme pics. En tout, 4 pics ont été identifiés pendant 3 cycles et leur hauteur variaient entre 756 et 1165 mg/m³, dépassant de 2,8 à 4,3 fois la concentration moyenne de la journée et dans tous les cas la VECD. La durée de pics variait entre 4 et 8 minutes.

Nos mesures des expositions moyennes sur 19 jours avec les canettes SUMMA ont été effectuées à 4 postes fixes (tableau 12). Les concentrations ont varié entre 39 et 111 mg/m³ avec une moyenne de 84 mg/m³. Cette valeur est 3,2 fois plus basse que la concentration moyenne de 269 mg/m³ mesurée avec des dosimètres passifs.

Conclusion

Selon les résultats provenant des dosimètres passifs, plus de la moitié des pulvérisateurs et des lamineurs dans cette usine sont exposés à des concentrations moyennes dépassant la VEMP (jusqu'à 1,6 fois). Mais seulement pendant 1 tâche (durée de 9 minutes), l'exposition de courte durée a dépassé la VECD. Les pics de concentration dépassant jusqu'à 4,3 fois la VECD ont été identifiés dans 3 de 8 cycles mesurés. Dans la deuxième partie de notre étude, certains travailleurs moins exposés de cette entreprise pourront être inclus dans les groupes fortement exposés (VEMP) avec ou sans pics.

5.2.11 Entreprise J

Caractéristiques de l'entreprise

L'entreprise J (tableau 9) produit des douches, des bains, des bateaux et des glissades d'eau. Il s'agit d'une usine de la taille moyenne avec 20 à 50 travailleurs (selon les contrats obtenus), dont 6 à 14 sont directement exposés au styrène. Le procédé de laminage consiste à projeter la résine à l'aide d'un pistolet suivi du débullage au rouleau ou à déverser la résine manuellement. La résine utilisée contient 55 à 65% de styrène. La ventilation générale est naturelle (portes) et mécanique (ventilateurs axiaux sur les murs). Nous n'avons pas reçu plus d'information sur la ventilation. Il n'y a pas de ventilation locale. Selon les informations reçues, l'exposition des travailleurs est plus faible à tous les postes en été à cause des portes ouvertes. Le volume des aires de travail avec exposition au styrène est de 675 m³.

Exposition dans le passé

Les données sur l'exposition sont disponibles à partir de l'année 1992 (tableau 10). Les concentrations moyennes d'exposition n'ont pas diminué depuis ce temps. Le dernier échantillonnage a été effectué en août 1999. L'exposition a été mesurée pendant 7 heures en utilisant des dosimètres passifs. Selon la documentation reçue, les résultats étaient représentatifs de l'exposition réelle des travailleurs. Néanmoins, l'exposition peut varier selon le nombre et le type de pièces fabriquées ainsi que la méthode utilisée (pulvérisation, laminage, débullage). L'exposition moyenne chez 11 personnes effectuant la pulvérisation, le laminage et la finition variait entre 133 et 827 mg/m³ (concentration moyenne de 558 mg/m³). L'exposition de deux peintres a été de 351 et de 622 mg/m³. L'exposition de 11 travailleurs a dépassé largement (jusqu'à 4,6 fois) la VEMP. Mais il faut noter que les travailleurs ont porté souvent des masques à cartouches chimiques.

Exposition mesurée pendant notre étude

Les travailleurs ont été suivis pendant 7 cycles incluant 1 cycle de peinture (gel coat) (tableau 11 J). La durée des cycles a varié largement entre 15 et 61 minutes parmi les 6 tâches concernant la pulvérisation, le débouillage et le laminage. Les concentrations moyennes de styrène mesurées pendant la durée de ces cycles ont varié entre 229 et 895 mg/m³, dont quatre au-dessus de la VECD.

La concentration de styrène dans l'air ambiant de la zone de laminage a été très élevée allant jusqu'à 404 mg/m³. Dans 5 sur 7 mesurages effectués, les concentrations ont dépassé la VEMP. Même si les mesurages ont été de courte durée, les résultats indiquent que les travailleurs sont en moyenne exposés à des concentrations dépassant la VEMP, s'ils se trouvent dans la zone de laminage. Il faut cependant noter que les travailleurs portaient souvent un masque pendant la peinture, la pulvérisation et le laminage.

Les concentrations dépassant 1116 mg/m³ (558 mg/m³ x 2) ont été considérées comme pics. En tout, 12 pics ont été identifiés pendant 4 cycles et leur hauteur variaient entre 1380 et 2450 mg/m³, dépassant de 2,1 à 5,2 fois la concentration moyenne de la journée et dans tous les cas la VECD (2,7 à 5,8 fois). La durée des pics variait entre 2 et 11 minutes.

Nos mesures des expositions moyennes sur 12 jours avec les canettes SUMMA ont été effectuées à 4 postes fixes (tableau 12). Les concentrations ont varié entre 24 et 1195 mg/m³ avec une moyenne de 346 mg/m³. Cette valeur a été 1,6 fois plus basse que la concentration moyenne de 558 mg/m³ mesurée avec des dosimètres passifs.

Conclusion

Selon les résultats provenant des dosimètres passifs, l'exposition des travailleurs dépasse largement la VEMP. Nos mesures indiquent que même la VECD peut être dépassée pendant la majorité des opérations. Les pics de concentration dépassant jusqu'à 5,8 fois la VECD ont été identifiés dans 4 de 6 cycles de laminage mesurés. Il faut cependant noter que les travailleurs portent souvent un masque pendant la peinture, la pulvérisation et le laminage. Nous ne pourrions pas inclure la majorité des travailleurs directement exposés dans la deuxième partie de notre étude à cause des expositions très élevées (dépassant la VEMP et la VECD) et à cause de l'utilisation des masques pendant certaines opérations exécutées.

5.3 Conclusion générale

L'exposition des travailleurs a été évaluée dans 10 entreprises québécoises. Parmi ces entreprises, une est de grande taille (45 travailleurs directement exposés), quatre sont de taille moyenne (14 à 19 travailleurs directement exposés) et cinq de petite taille (1 à 7 travailleurs directement exposés). Les entreprises produisent des pièces d'autobus et de

camions, des bains et des douches, des bateaux, des balcons, des glissades et des escaliers. Le procédé de laminage utilisé consiste à déverser la résine manuellement ou avec un dispositif hydraulique. On peut aussi projeter la résine à l'aide d'un pistolet guidé manuellement ou robotisé. Toutes les entreprises utilisent une résine avec une concentration de styrène variant entre 20 et 80 %. Cinq entreprises utilisent un système de ventilation locale et générale assurant les mêmes conditions d'exposition des travailleurs en été et en hiver.

Les données historiques sur l'exposition des travailleurs ont démontré que dans une entreprise l'exposition moyenne des travailleurs est à la moitié de la VEMP, dans 3 entreprises, elle est au niveau de la VEMP et dans six entreprises, elle dépasse la VEMP. Dans deux entreprises, l'exposition moyenne est le double de la VEMP et dans une entreprise elle dépasse 2,6 fois la VEMP.

Notre mesurage des expositions de courte durée (mesurages pendant les différents cycles de travail d'une durée variant entre 3 et 88 minutes) a démontré que dans 7 entreprises les concentrations moyennes pendant certains cycles ont dépassé la VECD, dont dans quatre entreprises, plus de deux fois cette valeur (tableau 13).

Des pics de concentration importants (plus du double de la concentration moyenne de 8 heures) ont été mesurés dans 8 entreprises. Les pics ont atteint jusqu'à 16 fois la VEMP. La durée de pics variait entre 2 et 17 minutes, dont la majorité entre 2 et 5 minutes (tableau 13).

Dans une entreprise avec une concentration moyenne de la moitié de la VEMP, les concentrations de pics ont atteint 1781 mg/m^3 (4 fois la VECD) indiquant que la mesure des concentrations moyennes de 8 heures avec les dosimètres passifs n'est pas toujours suffisante pour évaluer l'exposition des travailleurs. Dans certains cas, l'exposition de courte durée peut largement dépasser la VECD même dans les entreprises où la concentration moyennes de 8 heures est bien au-dessous de la VEMP.

Nos mesures des expositions moyennes sur 12 à 21 jours, en utilisant les canettes SUMMA en poste fixe (distance de 2 mètres et plus du poste de travail), ont montré que les concentrations moyennes de styrène dans les aires de travail des travailleurs directement exposés sont 2 à 10 fois plus basses que les concentrations moyennes mesurées avec les dosimètres passifs dès qu'on s'éloigne de 2 à 5 mètres du poste de pulvérisation, de laminage ou de mouillage. Nos résultats correspondent bien à ceux de Niemela et coll. (32) qui ont observé que les concentrations de styrène dans la zone respiratoire des travailleurs (dosimètre passif) étaient de 1,5 à 4,6 fois plus élevées que celles mesurées un poste fixe (analyseur infrarouge) pendant une période de 8 heures. On ne peut donc pas utiliser cette méthode (SUMMA) pour l'évaluation de l'exposition des travailleurs directement exposés.

Nous n'avons procédé qu'à un seul mesurage par entreprise pour les raisons suivantes :

- 1) dans cinq entreprises (A à E) les conditions d'expositions sont les mêmes pendant toute l'année;

- 2) une entreprise (F) devrait déménager ;
- 3) une entreprise (G) est en reconstruction ;
- 4) dans une entreprise (J) l'exposition de la majorité des travailleurs a été au-dessus des normes et en plus les travailleurs portent des masques, ce qui nous empêche de les inclure dans notre prochaine phase du projet ;
- 5) dans deux entreprises (H et I), l'exposition est seulement légèrement plus faible en été qu'en hiver.

À partir des données recueillies sur l'exposition des travailleurs, nous pourrions inclure dans la deuxième phase de notre étude approximativement 50 sujets dans le groupe fortement exposé (VEMP) sans pics, une vingtaine de sujets dans le groupe fortement exposés avec des pics et une quinzaine de sujets dans le groupe faiblement exposé ($\frac{1}{2}$ VEMP) sans pics. Il faudra poursuivre la recherche dans d'autres usines pour trouver des sujets faiblement exposés sans et avec des pics.

En conclusion, l'évaluation de l'exposition dans dix usines de l'IPRFV a démontré que les travailleurs sont exposés, dans beaucoup de cas, à des concentrations dépassant la VEMP et la VECD. Des pics de concentrations importants ont été identifiés dans la majorité des entreprises. Dans certains cas, l'exposition de courte durée peut largement dépasser la VECD même dans les entreprises où la CMP sur 8 heures est bien inférieure à la VEMP. Cette situation peut avoir un impact sur l'apparition d'effets neurotoxiques précoces du styrène. La méthode d'échantillonnage utilisant les canettes SUMMA en poste fixe ne peut pas remplacer l'échantillonnage personnel utilisant des dosimètres passifs ou des pompes. Compte tenu des résultats, les efforts de prévention visant la réduction à la source des émanations de styrène doivent se poursuivre.

Tableau 9. Caractéristique des entreprises

Identification des entreprises	Nombre de travailleurs directement exposés/ total ^a	Volume de l'aire de laminage (m ³)	Type de produits	Technologie de laminage	% de styrène dans la résine	Quantité de résine utilisée	Ventilation		Remarques
							Général	Local	
A	25 + 20 / 300	17 300	Secteur 1 : Pièces d'autobus et carrosseries Secteur 2 : Sea-doo	Procédé à la main (déversement hydraulique et manuel) Procédé par projection (robot)	Secteur 1: 30-35 % Secteur 2: 30-60 %	Secteur 1 1200 kg/quart Secteur 2 2200 kg/quart	Secteur 1: 6 changements d'air/heure Secteur 2: 9 changements d'air/heure	Secteurs 1 et 2: Ventilateurs à pales à 4,5 m du sol; caissons poussant l'air (61 m ³ /min)	Même ventilation en été et en hiver
B	2/6	2 800	Pièces pour camions lourds	Projections avec un pistolet Magnum dernière génération	40-70 %	224 kg/quart	Unité d'air de remplacement de 283 m ³ /min	3 caissons de captation (57 - 141 m ³ /min)	Même ventilation en été et en hiver
C	6 / 17	2 450	Bains et douches	Projections avec un pistolet Magnum dernière génération	30-60 %	760 kg/quart	Unité d'air de remplacement de 226 m ³ /min	2 caissons de captation (1,2 à 1,6 changements d'air/min)	Même ventilation en été et en hiver
D.	15 / 102	19 910	Pièces pour autobus et camions	Procédé à la main (déversement hydraulique et manuel) Procédé par projection (robot)	Secteur 1: 30-35 % Secteur 2: 20-30 %; 30-60 %.	Secteur 1 450 kg / quart Secteur 2 600 kg / quart	Secteur 1 12 changements d'air / heure Secteur 2 8,5 changements d'air / heure	Ventilateurs à pales à 4,5 m du sol	Même ventilation en été et en hiver
E	15 / 120	8 040	Bateaux de plaisance de 18 à 28 pieds	Procédé à la main (déversement hydraulique et manuel) Procédé par projection	30 à 40 %	675 kg/quart	5 hottes (capacité totale 882 m ³) Admission d'air frais chauffé (882 m ³)	NON	Même ventilation en été et en hiver
F	1 / 2	ND	Balcons, escaliers	Procédé à la main (déversement hydraulique et manuel)	35 à 45 %	?	Fenêtres et portes	NON	Usine devrait déménager

G	7 / 8	ND ^b	Pièces pour petits camions (pick-up)	Procédé à la main (déversement hydraulique et manuel)	40 %	132 kg/quart	Fenêtres et portes	Aspiration locale avec retour d'air préchauffé	Portes ouvertes en été. Usine en construction
H	4 / 5	379	Cabines de camion	Procédé à la main (déversement manuel) Procédé par projection	50 à 80 %	60 kg/quart	Fenêtres et portes	« Push-pull » dans les chambres de peinture et de laminage	Portes et fenêtres ouvertes en été
I	19/46	1 000 (estimation)	Bains et douches	Procédé à la main (déversement hydraulique et manuel) Procédé par projection	20 à 50 %	756 kg/quart	Fenêtres et portes; ventilation mécanique (données non disponibles)	Ventilateurs axiaux sur les murs près des lamineurs	Portes et fenêtres ouvertes en été
J	6 à 14/ 20 à 50	675	Bains, douches, bateaux, glissades d'eau	Procédé à la main (déversement manuel) Procédé par projection	55 à 65 %	320 kg/quart	Ventilateurs axiaux sur les murs Portes – en été	Aucune	Portes ouvertes en été

Densité de résine = 1.1 g/mL ; ND = non déterminé

^a total = nombre total des employés de l'entreprise

^b usine en reconstruction

Tableau 10. Données historiques sur l'exposition des travailleurs

Identification de l'entreprise	Date (A/M/J)	Secteurs de l'entreprise ou poste	Méthode d'échantillonnage	n	Concentration de styrène (mg/m ³)		Remarques
					Moyenne	Min. - Max.	
A	00-03-28	2 - débullage	Dosimètres passifs	6	220	140 - 320	
	00-04-13	1- laminage, mouillage, débullage		13	242	155 - 325	
		1 - responsable de robot		1	265		
B	00-04-14	Salle de pulvérisation	Dosimètres passifs	1	220		
		Secteur de débullage		1	215		
C	99-12-01	Salle de pulvérisation	Dosimètres passifs	1	127		
		Secteur débullage		2	141	115 - 166	
	00-05-04	Salle de pulvérisation		2	215	210 - 220	
		Secteur débullage		4	278	170 - 370	
D	98-04-02	2	Dosimètres passifs	3	169	78 - 324	
	98-08-18	2		6	119	96 - 174	
	00-03-23	1		4	116	56 - 170	
E	00-05-31	Salle n'a pas de murs entre les sections	Dosimètres passifs	4	374	271 - 453	271, 338, 435, 453 mg/m ³
F	00-06-20	Salle n'a pas de murs entre les sections	Dosimètres passifs	1	170		Mesure faite le jour du mesurage avec le micro-GC
G	00-10-09	Salle de pulvérisation	Tubes colorimétriques	?	-	340 - 1300	Mesures sur courtes périodes, précision limitée
		Salle de débullage		?	-	170 - 260	
		Autres secteurs		?	-	43 - 170	
	00-11-03	Pulvérisation du Gel-Coat et débullage	Dosimètres passifs	1	230		
		Pulvérisation de fibre de verre et débullage		1	817		
		Préparations des renforts et débullage		1	230		
	Autres secteurs	1	115				
H	86-10-03	Pulvérisation et laminage	Pompes	2	758	500 - 1015	
	87-12-7	Pulvérisation et laminage	Pompes	2	440	360 - 520	
	90-08-30	Pulvérisation et laminage	Pompes	2	398	269 - 526	
	97-12-03	Pulvérisation et laminage	Dosimètres passifs	1	295		
		Autres secteurs		4	119	95 - 166	
	99-03-01	Pulvérisation et laminage	Dosimètres passifs	1	302		
		Autres secteurs	Dosimètres passifs	2	80	29-131	

	99-06-17	Pulvérisation et laminage	Dosimètres passifs	1	299		
		Préparation des moules	Dosimètres passifs	1	30		
	00-04-20	Pulvérisation et laminage	Dosimètres passifs	1	497		
		Préparation des moules	Dosimètres passifs	1	83		
I	86-10-30	Lamineur, opérateur, démouleur	Pompe	3	978	440 - 1340	
	89-06-01	Pulvérisation et laminage	Pompe	4	170	151 - 208	
	91-05-06	Pulvérisation et laminage	Pompe	3	296	202 - 420	
	94-11-15	Pulvérisation et laminage	Pompe	4	267	117 - 512	
	99-11-18	Pulvérisation et laminage	Dosimètres passifs	4	297	250 - 366	
		Démoulage (air ambiant)	Dosimètres passifs	1	38		
	00-12-20	Pulvérisation et laminage	Dosimètres passifs	9	269	195 - 342	
J	92-02-27	Peinture et laminage	Pompe	1	576		Échantillonnage pendant 1 à 1,5 heures. Résultats représentatifs de la journée de travail.
		Découpage	Pompe	1	50		
		Laminage	Pompe	1	517		
		Laminage et démoulage	Pompe	1	315		
		Finition	Pompe	1	215		
	98-05-14	Laminage	Dosimètres passifs	4	412	267 - 496	Échantillonnage pendant 7 heures. Les travailleurs portent souvent des masques à cartouches chimiques.
		Peintre (gelcoat - fusil)	Dosimètres passifs	2	420	360 - 480	
		Peintre (gelcoat - pinceau)	Dosimètres passifs	2	294	278 - 310	
		Autres secteurs	Dosimètres passifs	12	25	13 - 35	
	99-08-26	Peintre	Dosimètres passifs	2	487	351 - 622	
		Pulvérisation et laminage	Dosimètres passifs	2	660	643 - 677	
		Laminage	Dosimètres passifs	4	827	774 - 972	
		Laminage - chef d'équipe	Dosimètres passifs	2	443	249 - 638	
		Laminage	Dosimètres passifs	1	335		
		Laminage - chef d'équipe	Dosimètres passifs	1	166		
		Finition	Dosimètres passifs	1	133		

n = nombre d'échantillons

Tableau 11A. Données actuelles sur l'exposition des travailleurs - entreprise A - mesurages avec le Micro GC

Date A/M/J	Secteurs de l'entreprise	Postes	Taille de la pièce (cm)	Durée d'échantillonnage ^a (min)	Concentration de styrène (mg/m ³)		Pics de concentration			
					Moyenne	Début – fin ^b	Nombre	Concentration (mg/m ³) min. - max.	Durée (min) min.-max.	P/M ^c
00-04-13	1	Laminage 1	200 x 200	67	268	174 – 305				
	1	Laminage 2	200 x 100	28	240	304 – 129				
	1	Laminage 3	60 x 40	3	166	200 – 145				
	1	Laminage-milieu ambiant 4	-	20	119	144 – 97				
	1	Laminage 5	100 x 75	8	98	95 – 100				
	1	Laminage 6	150 x 100	13	55	113 – 153				
	1	Mouilleur 7	100 x 75	5	170	173 – 233				
	1	Mouilleur 8	-	5	157	168 – 154				
	2	Débullage 9	200 x 100	14	215	134 – 208				
	2	Débullage 10	200 x 100	14	206	67 – 216				
	2	Débullage 11	200 x 100	16	213	284 – 196				
	1	Opérateur-robot 12	400 x 200	20	89	22 – 144				
00-04-14	1	Débullage 13	150 x 150	10	175	112 – 209				
	1	Débullage 14	250 x 200	20	294	217 – 375				
	1	Robot-milieu ambiant	-	9	239	373 - 196				

^a Durée d'échantillonnage correspond à la durée de cycle (de l'opération ou de la tâche exécutée sur une pièce donnée)

^b Concentration au début et à la fin de l'échantillonnage

^c Concentration de pic/concentration moyenne de 8 h mesurée avec les dosimètres passifs (243 mg/m³ dans le secteur 1 et 220 mg/m³ dans le secteur 2)

Tableau 11B. Données actuelles sur l'exposition des travailleurs - entreprise B - mesurages avec la Micro GC

Date A/M/J	Secteurs de l'entreprise	Postes ^a	Taille de la pièce (cm)	Durée d'échantillonnage ^b (minutes)	Concentration de styrène (mg/m ³)		Pics de concentration			
					Moyenne	Début – fin ^c	Nombre	Concentration (mg/m ³) min. - max.	Durée (min) min.-max.	P/M ^d
00-04-14		Débullage 1	180 x 70	4	73	53 – 104	-	-	-	-
		Débullage 2	200 x 100	10	128	127 – 129	-	-	-	-
		Laminage 3	200 x 30	10	91	88 – 110	-	-	-	-
		Débullage 4	100 x 50	6	118	110 – 126	-	-	-	-
		Pulvérisation 5	100 x 50	3	117	126 – 111	-	-	-	-
		Débullage 6	100 x 50	6	159	111 – 259	-	-	-	-
		Débullage 7	180 x 70	3	124	177 – 87	-	-	-	-

^a Les mêmes deux personnes ont exécuté tous les cycles échantillonnés.

^b Durée d'échantillonnage correspond à la durée de cycle (l'opération ou la tâche exécutée sur une pièce donnée)

^c Concentration au début et à la fin d'échantillonnage

^d Concentration de pic/concentration moyenne de 8 h mesurée avec les dosimètres passifs (218 mg/m³)

Tableau 11C. Données actuelles sur l'exposition des travailleurs - entreprise C - mesurages avec le Micro GC

Date A/M/J	Secteurs de l'entreprise	Postes	Taille de la pièce (cm)	Durée d'échantillonnage ^a (min)	Concentration de styrène (ppm)		Pics de concentration			
					Moyenne	Début – fin ^b	Nombre	Concentration (mg/m ³) min. - max.	Durée (min) min.- max.	P/M ^c
00-04-14		Pulvérisation 1	150 x 80	4	63	62 – 68	-	-	-	-
		Débullage 2	150 x 80	5	233	68 –156	1	546	5	2,5
		Pulvérisation 3	150 x 100	4	98	107 - 87	-	-	-	-
		Pulvérisation 4	150 x 100	3	101	99 – 88	-	-	-	-
		Débullage 5	150 x 100	6	230	88 –460	1	459	>2	2,1
		Pulvérisation 6	200 x 200	15	177	239 – 75	1	461	6	2,1
		Débullage 7	200 x 200	8	83	80 - 97	-	-	-	-

^a Durée d'échantillonnage correspond à la durée de cycle (de l'opération ou la tâche exécutée sur une pièce donnée)

^b Concentration au début et à la fin de l'échantillonnage

^c Concentration de pic/concentration moyenne de 8 h mesurée avec les dosimètres passifs (217 mg/m³)

Tableau 11D. Données actuelles sur l'exposition des travailleurs - entreprise D - mesurages avec le Micro GC

Date A/M/J	Secteurs de l'entreprise	Postes ^a	Taille de la pièce (cm)	Durée d'échantillonnage ^b (min)	Concentration de styrène (mg/m ³)		Pics de concentration			
					Moyenne	Début – fin ^c	Nombre	Concentration (mg/m ³) min. - max.	Durée (min) min.-max.	P/M ^d
00-03-22 et 00-03-23	1	Opérateur de robot-pause	-	36	27	77 – 26	-	-	-	-
	1	Opérateur de robot ^e	-	66	89	21 – 72	3	247 - 856	2.5-5	2,1 – 7,4
	1	Débullage 1	200 x 150	10	57	64 – 68	-	-	-	-
	1	Débullage 2	200 x 150	9	62	55 – 68	-	-	-	-
	1	Débullage 3	200 x 150	11	66	47 – 47	-	-	-	-
	1	Débullage 4	100 x 100	5	66	55 – 68	-	-	-	-
	1	Débullage 5	100 x 100	4	239	51 – 115	1	450	4	3,9
	1	Débullage 6	100 x 100	6	565	77 – 456	1	1657	5	14,3
	2	Laminage 1	130 x 100	18	77	47 – 85	-	-	-	-
	2	Laminage 2	130 x 100	15	98	77 – 81	-	-	-	-
	2	Pause	-	25	38	60 – 30	-	-	-	-
	2	Laminage 4	300 x 300	21	98	43 – 111	1	277	6	2,5
	2	Laminage 5	300 x 300	38	144	81 – 273	2	262 - 533	5 - 11	2,3 – 4,8
	2	Laminage 6	400 x 300	46	256	111 – 175	5	285 - 1781	3 - 6	2,5 – 15,9
2	Laminage 7	400 x 300	32	124	55 – 89	-	-	-	-	
2	Laminage 8	100 x 70	21	64	38 – 89	-	-	-	-	
2	Mouillage 9	100 x 50	12	107	102 – 77	-	-	-	-	
2	Laminage 10	400 x 40	8	81	107 – 72	-	-	-	-	
2	Laminage 11	300 x 100	18	98	77 – 107	1	337	2	2,5	
2	Laminage 12	100 x 100	27	77	60 – 77	1	-	-	-	
2	Laminage 13	400 x 100	12	85	107 – 81	-	-	-	-	
2	Laminage 14	400 x 100	6	136	115 - 119	-	-	-	-	

^a Plus d'une personne peut occuper le même poste.

^b Durée d'échantillonnage correspond à la durée de cycle (de l'opération ou la tâche exécutée sur une pièce donnée)

^c Concentration au début et à la fin de l'échantillonnage

^d Concentration de pics/concentration moyenne de 8 h mesurée avec les dosimètres passifs (116 mg/m³ dans le secteur 1 et 112 mg/m³ dans le secteur 2)

^e Durée d'échantillonnage couvre toutes les tâches d'un opérateur de robot

Tableau 11E. Données actuelles sur l'exposition des travailleurs - entreprise D - mesurages avec le Micro GC

Date A/M/J	Secteurs de l'entreprise	Postes ^a	Taille de la pièce (cm)	Durée d'échantillonnage ^b (min)	Concentration de styrène (mg/m ³)		Pics de concentration			
					Moyenne	Début – fin ^c	Nombre	Concentration (mg/m ³) min. - max.	Durée (min) min.-max.	P/M ^d
00-05-23 et 00-05-24		Pulvérisation 1	660 x 400	88	329	9 - 417	3	754 - 903	6-13	2,0 - 2,4
		Peinture 2 ^e	600 x 300	18	371	162 - 457	-	-	-	-
		Peinture 3 - répétition 2 ^e	600 x 300	16	519	307 - 672	2	746 - 830	4 - 5	2,0 - 2,2
		Endroit sans exposition 4	-	19	19	37 - 17	-	-	-	-
		Débullage 5	660 x 400	50	514	47 - 379	6	778 - 1738	2 - 5	2,1 - 4,6
		Débullage 6 - répétition 5	660 x 400	44	589	194 - 559	3	958 - 2281	7 -12	2,6 - 6,1
		Peinture 7 ^e	540 x 400	13	869	393 -1161	2	1332-1555	4	3,6 - 4,1
		Peinture 8 - répétition 7 ^e	600 x 400	10	894	290 -1205	2	1446-1462	4 - 8	3,8 - 3,9
		Laminage 9	-	31	853	170 -1563	3	1220-2284	4 - 7	3.3 - 6,1
		Laminage - soudage 11	-	20	211,8	147 - 278	-	-	-	-
		Tailleur de tissus 12	-	6	168	167 - 164	-	-	-	-
		Mouilleur 13	-	22	114	55 - 142	-	-	-	-
		Mouilleur 14	-	26	271	175-508	-	-	-	-

^a Plus d'une personne peut occuper le même poste.

^b Durée d'échantillonnage correspond à la durée de cycle (de l'opération ou la tâche exécutée sur une pièce donnée)

^c Concentration au début et à la fin de l'échantillonnage

^d Concentration de pics/concentration moyenne de 8 h mesurée avec les dosimètres passifs (374 mg/m³)

^e Pendant la peinture, les travailleurs portent des masques à cartouche chimique

Tableau 11F. Données actuelles sur l'exposition des travailleurs - entreprise F - mesurages avec le Micro GC

Date A/M/J	Secteurs de l'entreprise	Postes ^a	Taille de la pièce (cm)	Durée d'échantillonnage ^b (min)	Concentration de styrène (mg/m ³)		Pics de concentration			
					Moyenne	Début – fin ^c	Nombre	Concentration (mg/m ³) min. - max.	Durée (min) min.-max.	P/M ^d
00-06-20		Pulvérisation + débullage 1	400 x 200	28	77	12-95	-	-	-	-
		Pause 2	-	21	53	95-41	-	-	-	-
		Réparation embarcation 3	150 x 150	39	626	27-930	6	650-2671	2-9	3,8-15,7
		Pulvérisation + débullage 4	200 x 100	35	184	203-170	1	395	6	2,3
		Pulvérisation + débullage 5	400 x 200	26	108	29-140	-	-	-	-
		Pulvérisation + débullage 6	200 x 100	28	143	122-133	-	-	-	-
		Laminage 7	400 x 200	21	165	23-166	1	497	14	2,9
		Air ambiant - bureau 8	-	19	26	34-23	-	-	-	-

^a Plus d'une personne peut occuper le même poste.

^b Durée d'échantillonnage correspond à la durée de cycle (de l'opération ou la tâche exécutée sur une pièce donnée)

^c Concentration au début et à la fin de l'échantillonnage

^d Concentration de pics/concentration moyenne de 8 h mesurée avec le dosimètre passif (170 mg/m³)

Tableau 11G. Données actuelles sur l'exposition des travailleurs - entreprise G - mesurages avec le Micro GC

Date A/M/J	Secteurs de l'entreprise	Postes ^a	Taille de la pièce (cm)	Durée d'échantillonnage ^b (min)	Concentration de styrène (mg/m ³)		Pics de concentration			
					Moyenne	Début – fin ^c	Nombre	Concentration (mg/m ³) min. - max.	Durée (min) min.-max.	P/M ^d
00-11-03		Pulvérisation 1	250 x 60	5	85	44-160	-	-	-	-
		Débullage 2	150 x 80	10	119	85-122	-	-	-	-
		Peinture 3 ^e	-	11	626	81-984	1	1093	7	2,6
		Débullage 4	300 x 200	19	230	194-186	-	-	-	-
		Débullage 5	150 x 80	6	125	137-156	-	-	-	-
		Débullage 6	150 x 80	5	162	141-239	-	-	-	-
		Pulvérisation + débullage 7	300 x 200	21	1234	137-418	1	3578	16	8,4
		Air ambiant 8	-	39	130	209-121	-	-	-	-
		Pulvérisation + débullage 9	350 x 250	34	1022	121-373	2	2036-2199	10-17	4,8-5,2
		Préparation de la résine 10	60 x 60	8	326	182-412	-	-	-	-
		Air ambiant 11	-	120	153	366-119	-	-	-	-
		Débullage 12	300 x 200	11	373	122-246	1	1105	10	2,6

^a Plus d'une personne peut occuper le même poste.

^b Durée d'échantillonnage correspond à la durée de cycle (de l'opération ou la tâche exécutée sur une pièce donnée)

^c Concentration au début et à la fin de l'échantillonnage

^d Concentration de pics/concentration moyenne de 8 h mesurée avec les dosimètres passifs (426 mg/m³)

^e Les travailleurs portent des masques à cartouche chimique pendant la peinture

Tableau 11H. Données actuelles sur l'exposition des travailleurs - entreprise H - mesurages avec le Micro GC

Date A/M/J	Secteurs de l'entreprise	Postes ^a	Taille de la pièce (cm)	Durée d'échantillonnage ^b (min)	Concentration de styrène (mg/m ³)		Pics de concentration			
					Moyenne	Début – fin ^c	Nombre	Concentration (mg/m ³) min. - max.	Durée (min) min.-max.	P/M ^d
00-09-13		Zone de séchage 3	-	16	246	213-170	-	-	-	-
		Pulvérisation + débullage 4	300 x 250	39	994	189-424	3	1636-4503	5-12	4,1 – 11,3
		Zone de préparation	-	14	184	424-90	-	-	-	-
		Pulvérisation + débullage 6	300 x 250	29	821	38-384	2	1172-3770	8-13	2,9-9,5

^a Plus d'une personne peut occuper le même poste.

^b Durée d'échantillonnage correspond à la durée de cycle (de l'opération ou la tâche exécutée sur une pièce donnée)

^c Concentration au début et à la fin de l'échantillonnage

^d Concentration de pics/concentration moyenne de 8 h mesurée avec les dosimètres passifs (398 mg/m³)

Tableau 11 I. Données actuelles sur l'exposition des travailleurs - entreprise I - mesurages avec le Micro GC

Date A/M/J	Secteurs de l'entreprise	Postes ^a	Taille de la pièce (cm)	Durée d'échantillonnage ^b (min)	Concentration de styrène (mg/m ³)		Pics de concentration			
					Moyenne	Début – fin ^c	Nombre	Concentration (mg/m ³) min. - max.	Durée (min) min.-max.	P/M ^d
00-08-25		Pulvérisation + laminage 1	180 x 100	10	202	143-241	-	-	-	-
		Pulvérisation + laminage 2	180 x 100	15	258	159-256	1	756	8	2,8
		Pulvérisation + laminage 3	180 x 100	11	337	173-679	1	981	4	3,6
		Laminage 4	180 x 100	9	630	409-397	2	780-1165	4-5	2,9-4,3
		Pause 5	-	22	180	371-110	-	-	-	-
		Laminage 6	180 x 100	24	166	110-216	-	-	-	-
		Air ambiant – laminage 7	-	11	115	157-75	-	-	-	-
		Peinture 8 ^f	-	9	353	299-365	1	587	5	2,2
		Peinture 9 ^f	-	8	350	532-490	-	-	-	-
		Air ambiant 10 ^e	-	75	55	66-33	-	-	-	-
		Pulvérisation + laminage 11	240 x 200	56	161	90-161	-	-	-	-
		Pulvérisation + laminage 12	240 x 200	19	179	66-291	-	-	-	-
		Pulvérisation + laminage 13	240 x 200	16	306	309-229	-	-	-	-
		Laminage 14	250 x 150	52	154	123-123	-	-	-	-

^a Plus d'une personne peut occuper le même poste.

^b Durée d'échantillonnage correspond à la durée de cycle (de l'opération ou la tâche exécutée sur une pièce donnée)

^c Concentration au début et à la fin de l'échantillonnage

^d Concentration de pics/concentration moyenne de 8 h mesurée avec les dosimètres passifs (269 mg/m³)

^e Aire sans exposition directe

^f Pendant la peinture, les travailleurs portent des masques à cartouche chimique.

Tableau 11 J. Données actuelles sur l'exposition des travailleurs - entreprise J - mesurages avec le Micro GC

Date A/M/J	Secteurs de l'entreprise	Postes ^{a,e}	Taille de la pièce (cm ²)	Durée d'échantillonnage ^b (min)	Concentration de styrène (mg/m ³)		Pics de concentration			
					Moyenne	Début – fin ^c	Nombre	Concentration (mg/m ³) min. - max.	Durée (min) min.-max.	P/M ^d
00-08-25		Pulvérisation + laminage 1	1 500	15	229	15-265	-	-	-	-
		Pulvérisation + laminage 2	900	16	812	254-526	1	2118	10	3,8
		Pause entre 2 opérations 3		21	300	431-171	-	-	-	-
		Pulvérisation + laminage 4	1350	37	390	208-348	-	-	-	-
		Air ambiant – laminage 5	-	8	241	289-195	-	-	-	-
		Laminage 6	1350	61	863	195-265	6	1159 - 2450	2 - 11	2,1 – 4,4
		Pulvérisation + laminage 7	ND	23	766	84-807	3	1380 - 2190	2 - 5	2,5 – 3,9
		Air ambiant – laminage 8	-	10	404	390-323	-	-	-	-
		Air ambiant – laminage 9	-	10	256	279-213	-	-	-	-
		Air ambiant – laminage 10	-	11	202	304-83	-	-	-	-
		Air ambiant – laminage 11	-	10	56	67-48	-	-	-	-
		Air ambiant – laminage 12	-	36	-	-	-	-	-	-
		Peinture 13	1350	4	338	457-277	-	-	-	-
		Pulvérisation + laminage 14	2400	20	895	112-747	2	1855-2890	4 - 5	3,3 – 5,2

^a Plus d'une personne peut occuper le même poste.

^b Durée d'échantillonnage correspond à la durée de cycle (de l'opération ou la tâche exécutée sur une pièce donnée)

^c Concentration au début et à la fin de l'échantillonnage

^d Concentration de pics/concentration moyenne de 8 h mesurée avec les dosimètres passifs (558 mg/m³)

^e Les travailleurs portent souvent des masques à cartouche chimique.

Tableau 12. Données actuelles sur l'exposition des travailleurs - mesures par canettes Summa

Identification de l'entreprise	Date d'échantillonnage (A/M/J)	Secteurs de l'entreprise	Durée d'échantillonnage (jours)	Concentration moyenne de styrène (mg/m ³)	Remarques
A	00-05-24 à 00-06-21		21	2 78 20 92	
B	00-05-19 à 00-06-16		20	94 91	
C	00-05-23 à 00-06-19		22	< LD 38	
D	00-08-07 à 00-09-01	2; Mouillage 1 2; Mouillage 2 2; Laminage 1 2; Laminage 2	19	20 26 5 32	
E	00-09-13 à 00-10-11		20	44 14 58 37	Pas de cloisons, aire ouverte, peinture sans cabine.
F	PAS DE MESURES	-	-	-	
G	00-11-00 à 00-12-01		20		
H	PAS DE MESURES	-	-	-	
I	00-09-14 à 00-10-12		19	42 142 39 111	
J	01-01-08 à 01-01-25		12	24 61 105 1195	

LD = limite de détection

Tableau 13. Données sommaires sur l'exposition des travailleurs

Usine	Secteur	Concentrations historiques de styrène			Mesurage de styrène avec les canettes ^a			Mesurage de styrène avec le Micro-GC							
		Dates (A/M)	n	Conc. moyenne (mg/m ³)	Dates (A/M)	n	Conc. moyennes (mg/m ³) Min. - max.	Date (A/M)	Concentrations moyennes ^b			Pics			
									n	Conc. ^c (mg/m ³) Min.- max.	Durée ^d (minutes) Min.-max	n	Conc. (mg/m ³) Min. - max	Durée (minutes) Min.-max.	P/M ^e Min.-max.
A	1	00-04	14	243	00-05	4	48 (2-92)	00-04	10	55 - 294	3 - 67	-	-	-	-
	2	00-03	6	220			-	00-04	3	206 - 215	14 - 16				
B		00-04	2	218	00-05	2	93 (91-94)	00-04	7	73 - 159	3 - 10	-	-	-	-
C		99-12 et 00-05	9	217	00-05	1	38	00-04	7	63 - 233	3 - 15	3	459 - 546	2 - 6	2,1 - 2,5
D	1	00-03	4	116	-	-	-	00-03	7	57 - 565	4 - 10 ^e	5	247 - 1657	3 - 5	2,1 - 14,3
	2	98-04 et 98-08	9	136 (112)^f	00-08	4	21 (5-32)	00-03	13	64 - 256	6 - 46	10	262 - 1781	2 - 11	2,3 - 15,9
E		00-05	4	374	00-09	4	38	00-05	12	114 - 894	6 - 88	21	754 - 2284	2 - 13	2,0 - 6,1
F		00-06	1	170	-	-	-	00-06	6	77-626	21- 39	8	395 - 2671	2 - 9	2,3 - 15,7
G		00-11	3	426				00-11	10	85 - 1234	5 - 34	5	1093 - 2199	7 - 17	2,6 - 8,4
H		00-04 et 99-06	2	398	-	-	-	00-09	2	821 - 994	29 - 39	5	1172 - 3770	5 - 13	2,9 - 11,3
I		00-12	9	269	00-09	4	84	00-08	8	154 - 630	9 - 56	4	756 - 1165	4 - 8	2,8 - 4,3
J		99-08	11	558	01-01	4	346	01-01	6	229 - 895	15 - 61	12	1159 - 2890	2 - 11	2,1 - 4,5

n = nombre de mesurages; conc. = concentration; A = année; M = mois

^a Concentration moyenne de 20 jours de travail (8 h/jour) mesurée dans les aires de laminage.

^b Concentration moyenne mesurée pendant la durée d'un cycle (de l'opération ou la tâche exécutée sur une pièce donnée); les mesures dans les salles de peinture, pendant les pauses et dans l'air ambiant ne sont pas incluses.

^c Concentrations moyennes minimale et maximale parmi tous les cycles mesurés

^d Durée de cycle minimale et maximale parmi tout les cycles mesurés

^d Concentration de pic/concentration moyenne de 8 h mesurée avec les dosimètres passifs

^e Opérateur de robot a été échantillonné pendant toutes les tâches (durée de 66 min)

^f En excluant un travailleur fortement exposé, la moyenne de 8 travailleurs a été de 112 mg/m³

6 Bibliographie

1. Vyskocil,A., Viau,C., Brodeur, J. et Gérin,M. (1997) Relation entre l'exposition au styrène et les effets à la santé - Analyse critique de la littérature. Rapport final présenté à l'IRSST.
2. Triebig, G., S. Lehl, D. Weltle, K. H. Schallera et H. Valentin. 1989. Clinical and neurobehavioural study of the acute and chronic neurotoxicity of styrene. *Br. J. Ind. Med.* 46:799-804.
3. Flodin, U., K. Ekberg et L. Andersson. 1989. Neuropsychiatric effects of low exposure to styrene. *Br. J. Ind. Med.* 46:805-808.
4. Mergler, D., D. Campagna, S. Bélanger, F. Larribe, G. Huel, G. Truchon, C. Ostiguy et D. Drolet. 1992. Surveillance des effets neurotoxiques de l'exposition au styrène en milieu de travail. II. Altérations neurophysiologiques et comportementales. *Travail et Santé* 8:S-16-S-21.
5. Edling, C., H. Anundi, G. Johanson et K. Nilsson. 1993. Increase in neuropsychiatric symptoms after occupational exposure to low levels of styrene. *Br. J. Ind. Med.* 50:843-850.
6. Sassine, M. P., D. Mergler, F. Larribe et S. Bélanger. 1996. Détérioration de la santé mentale chez des travailleurs exposés au styrène. *Rev. Epidémiol. Santé Publique* 44:14-24.
7. Kjellberg, A., E. Wigaeus, J. Engstrom, I. Astrand et E. Ljungquist. 1979. [Long term effects of exposure to styrene in a polyester plant]. *Arbete och Hals* 18:1-25.
8. Mackay, C. J. et G. R. Kelman. 1986. Choice reaction time in workers exposed to styrene vapour. *Hum. Toxicol.* 5:85-89.
9. Gotell, P., O. Axelsson et B. Lindelof. 1972. Field studies on human styrene exposure. *Work Environ. Health* 9:76-83.
10. Chia, S. E., J. Jeyaratnam, C. N. Ong, T. P. Ng et H. S. Lee. 1994. Impairment of color vision among workers exposed to low concentrations of styrene. *Am. J. Ind. Med.* 26:481-488.
11. Letz, R., F. C. Mahoney, D. L. Hershman, S. Woskie et T. J. Smith. 1990. Neurobehavioral effects of acute styrene exposure in fiberglass boatbuilders. *Neurotoxicol. Teratol.* 12:665-668.
12. Schoenhuber, R. et M. Gentilini. 1989. Influence of occupational styrene exposure on memory and attention. *Neurotoxicol. Teratol.* 11:585-586.

13. Lindstrom, K., H. Harkonen, et S. Hernberg. 1976. Disturbances in psychological functions of workers occupationally exposed to styrene. *Scand. J. Work Environ. Health* 2:129-139.
14. Mutti, A., A. Mazzucchi, P. Rustichelli, G. Frigeri, G. Arfini, et I. Franchini. 1984. Exposure-effect and exposure-response relationships between occupational exposure to styrene and neuropsychological functions. *Am. J. Ind. Med.* 5:275-286.
15. Moller, C., L Odkvist, B. Larsby, R. Tham, T. Ledin, and L. Bergholtz. 1990. Otoneurological findings in workers exposed to styrene. *Scand. J. Work Environ. Health* 16:189-194.
16. Pierce, C.H., Becker, C.E., Tozer, T.N., Owen, D.J. et So, Y. 1998. Modeling the acute neurotoxicity of styrene. *J. Occup. Environ. Med.* 40 : 230-240.
17. Tardif R, Laparé S, Plaa GL et Brodeur, J. 1991. Effect of simultaneous exposure to toluene and xylene on their respective biological exposure indices in humans. *Int Arch Occup. Environ. Health* 63: 279-284.
18. Anger, W.K., Cassitto, M.G., Liang, Y-X, Amador, R., Hooisma J., Chrislip, D.W., Mergler D., Keifer M., Hörtnagl J., Fournier L., Dudek B. et Zsögön E. 1993. Comparison of performance from three continents on the WHO-recommended neurobehavioral core test battery. *Env. Res.* 62 : 125-147.
19. Iregren, A., Gamberale F. et Kjellberg A. 1996. SPES : A psychological test system to diagnose environmental hazards. *Neurotoxicol. Teratol.* 18 : 485-491.
20. Hopkins W.G., 1998, A new view of statistics [Online]. Available: <http://www.sportsci.org/resource/stats/index.html> [1999, May 4].
21. Cohen, 1962 . The statistical power of abnormal-social psychological research: A review. *J. Abnor. Soc. Psychol.*, 65 : 145-153.
22. Lane D.M., 1999, Hyperstat online [Online]. Available: <http://www.ruf.rice.edu/~lane/hyperstat/index.html> [1999, May 4].
23. Amler R.W., Anger W.K. et Sizemore O.J., 1995, Adult environmental neurobehavioral test battery. US.DHHS, ATSDR, Atlanta, Georgia.
24. Zar J.H., 1984, Biostatistical Analysis, 2nd edition. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
25. Dagnélie P., 1984, Théorie et méthodes statistiques. Volume 2. 2^{ème} édition. Les Presses Agronomiques de Gembloux.

26. Power Analysis and Sample Size (PASS 6.0), NCSS software, Kaysville, Utah.
27. Cammarata, D., Lajoie, A., Ménard, L. et Ostiguy, C. 1994. Présentation des résultats d'analyses produits en 1992. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, Montréal .
28. MSSSQ. 1992. Les Systèmes d'Information du Domaine Socio-Sanitaire 2: Système SMEST, Surveillance Médico-Environnementale de la Santé des Travailleurs. Ministère de la Santé et des Services Sociaux, Québec.
29. Truchon, G., Ostiguy, C., Drolet, D., Mergler, D., Campagna, D., Bélanger, S., Larribe, F. et Huel, G. 1992. Surveillance des effets neurotoxiques de l'exposition au styrène en milieu de travail. I. Évaluation environnementale et surveillance biologique de l'exposition. *Travail et Santé* 8(2):S11-S14.
30. Laparé S., Tardif R. and Brodeur J. 1993. Effect of various exposure scenarios on the biological monitoring of organic solvents in alveolar air. I. Toluene and m-xylene. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 64:569-580.
31. Perbellini L., Mozzo P., Turri P.V., Zedde A. et Brugnone F. 1988. Biological exposure index of styrène suggested by a physiologico-mathematical model. *Int. Arc. Occup. Environ. Health.* 60:187-193.
32. Ramsey J.C. et Andersen M.E. 1984. A physiologically based description of the inhalation pharmacokinetics of styrène in rats and humans. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 73, 159-175.
33. Bond J. A. 1989. Review of the Toxicology of Styrene. *CRC Crit. Rev.Toxicol.* 19: 227-249.
34. Guillemin M.P. et Berode M. 1988. Biological Monitoring of Styene: A Review. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 49:497-505.
35. ACGIH 2000. Thershold limit values for chemical substances and physical agents biological exposure indices. Cincinnati.
36. Thomas R.S., Bigelow P.L., Keefe T.J. et Yang R.S. 1996. Variability in biological exposure indices using physiologically based pharmacokinetic modeling and Monte Carlo simulation. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 57:23-32.
37. Laparé S., Tardif R. and Brodeur J. 1995. Effect of various exposure scenarios on the biological monitoring of organic solvents in alveolar air II. 1-1-1-trichloroethane and trichloroethylene. *Int.Arch. Occup. Environ. Health.* 67:375-394.
38. Csanady G.A, Filser J.G. 2001. The relevance of physical activity for the kinetics of inhaled gaseous substances. *Arch. Toxicol.* 74 : 663-672.

39. Jang J.Y., Droz P.O. et Chung H.K. 1999. Uncertainties in physiologically based pharmacokinetic models caused by several input parameters. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 72:247-254.
40. Tardif R., Charest-Tardif G., Brodeur J. et Krishnan K. 1997. Physiologically based pharmacokinetic modeling of a ternary mixture alkyl benzenes in rats and humans. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 144:120-134.
41. Rowland M. et Tozer T.N. 1995. *Clinical Pharmacokinetics: Concepts and Applications* 3rd Ed. Philadelphia: Lea & Febiger , p.137-155.
42. USEPA (1997) Compendium Method TO-14A, Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Ambient Air Using Specially Prepared Canisters with Subsequent Analysis by Gas Chromatography, USEPA.
43. Simon, P., Farant, J.P, Harold,C. et Krasnec,J. May 7-9,1997. Innovative flow controller time integrated passive sampling using SUMMA canisters. 1997. *Proceedings of an International Speciality Conference*, Research Triangle Park, North Carolina .
44. Niemela, R., Saamanen,A., Karvinen, P., Pfaffli, P., Nylander,L. et Kalliokoski, P. Dilution ventilation to control styrene exposure in the reinforced plastics industry. *Proceedings of the 3rd International symposium on ventilation for contaminant control*. September 16-20, 1991, Cincinnati, Ohio.

7 Applicabilité des résultats

Les résultats de l'exposition au styrène en chambre d'inhalation montrent que dans les conditions d'exposition selon les quantités et les modalités prévues par notre protocole, les travailleurs ne subissent pas d'effets neurotoxiques apparents après une exposition de courte durée à des concentrations de styrène réglementées. Afin de corroborer nos résultats, une étude avec des travailleurs exposés en usine semble indispensable.

Les mesures des concentrations moyennes et des pics de styrène effectuées plusieurs fois et à long terme dans les usines de l'IPRFV au Québec nous permettent de dégager un portrait plus juste des expositions moyennes annuelles des travailleurs ainsi que de la durée, de l'importance et de la fréquence des pics de concentrations de styrène. Dans la phase deux de ce projet nous pourrions exactement évaluer la relation entre l'exposition chronique et les effets neurotoxiques pour pouvoir calculer le NOAEL et le LOAEL pour les effets neurotoxiques et la contribution des pics à ces effets.

8 Retombées éventuelles

Les résultats de cette phase de projet combinés aux résultats de la deuxième phase et d'autres études de la littérature scientifique permettront de réaliser une analyse des risques toxicologiques pour la santé découlant de l'exposition au styrène (les profils d'exposition) dans l'IPRFV. Une recommandation sera formulée concernant l'utilisation de la VEMP ou de la VECD pour la surveillance de l'exposition des travailleurs et travailleuses au styrène.

ANNEXES

Liste de 12 adjectifs utilisés pour l'auto-évaluation de l'humeur

Gradation des réponses

Pas du tout
 Presque pas
 Un peu
 Moyennement
 Assez fort
 Très fort
 Vraiment très fort

Qualificatifs décrivant l'humeur (dans l'ordre d'apparition)

Énergique
 Calme
 Passif
 Agressé
 Actif
 Repos
 Vulnérable
 Stress
 Concentré
 Décontracté
 Inefficace
 Tendus

Symptômes suggérés

Maux de tête
 Étourdissement
 Nausée
 Fatigue
 Douleur ou pression au thorax
 Toux constante
 Souffle court
 Irritation aux yeux
 Écoulement des yeux
 Vue trouble
 Irritation au nez
 Écoulement nasal
 Impression de mauvaise odeur
 Irritation de la gorge

Impression de goût déplaisant
Irritation de la peau
Vertige ou perte de conscience

Profils d'exposition dans les entreprises

Pour visualiser les détails des profils individuels, cliquer sur l'[hypertexte](#) dans les tableaux 11 A à 11 J.

Résultats - figures

Légende

Les barres indiquent la moyenne ± 1 écart-type

Les barres hachurées indiquent les résultats avant l'exposition, les barres pleines indiquent les résultats après l'exposition.

Les scénarios :

A = 106 mg / m³ sans pics

B = 106 mg / m³ avec pics

C = 5 mg / m³ sans pics (contrôle)

D = 213 mg / m³ sans pics

E = 213 mg / m³ avec pics

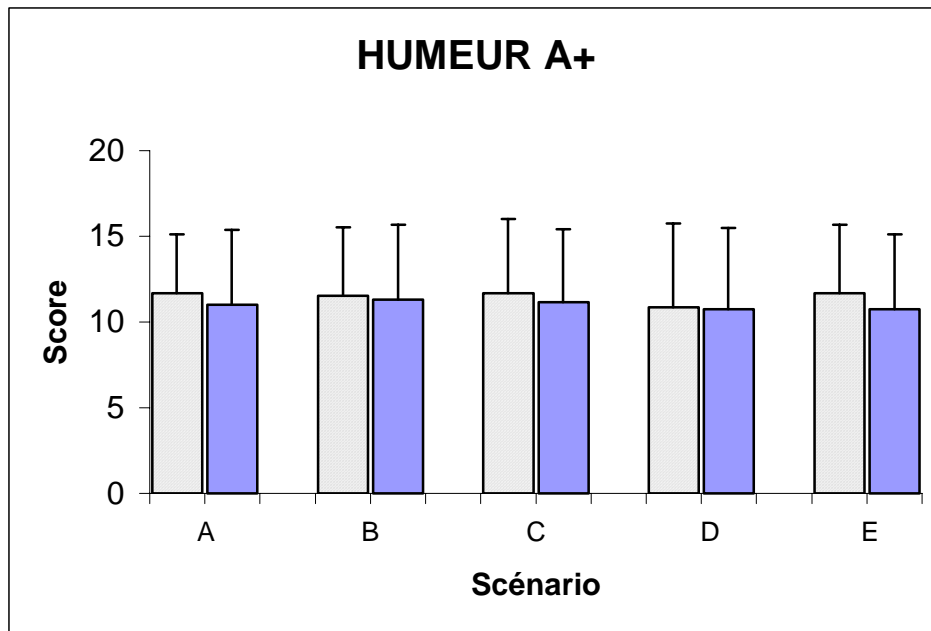


Figure 1 : Résultats de 23 sujets soumis au questionnaire de l'auto-évaluation de l'humeur.

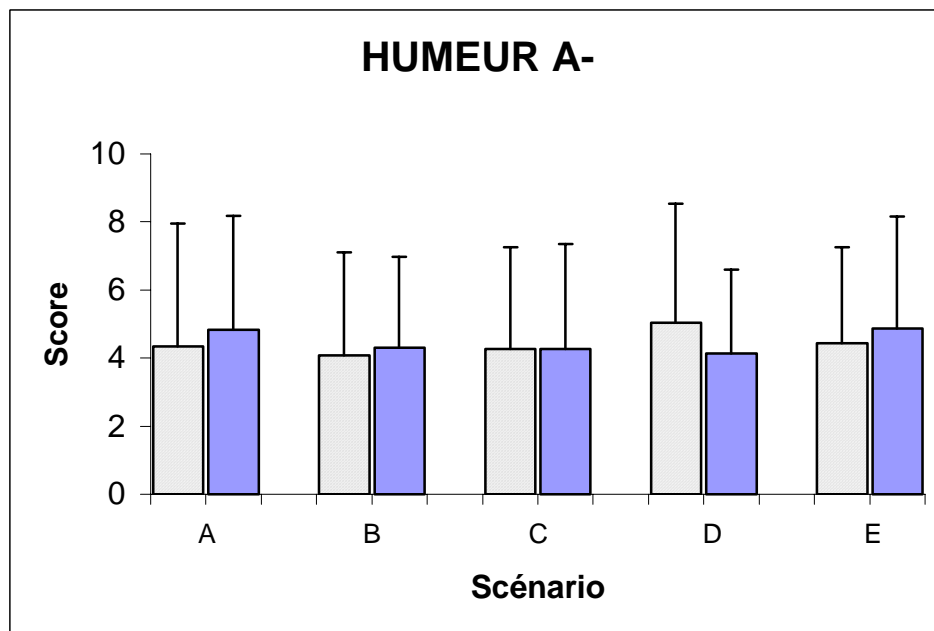


Figure 2 : Résultats de 23 sujets soumis au questionnaire de l'auto-évaluation de l'humeur.

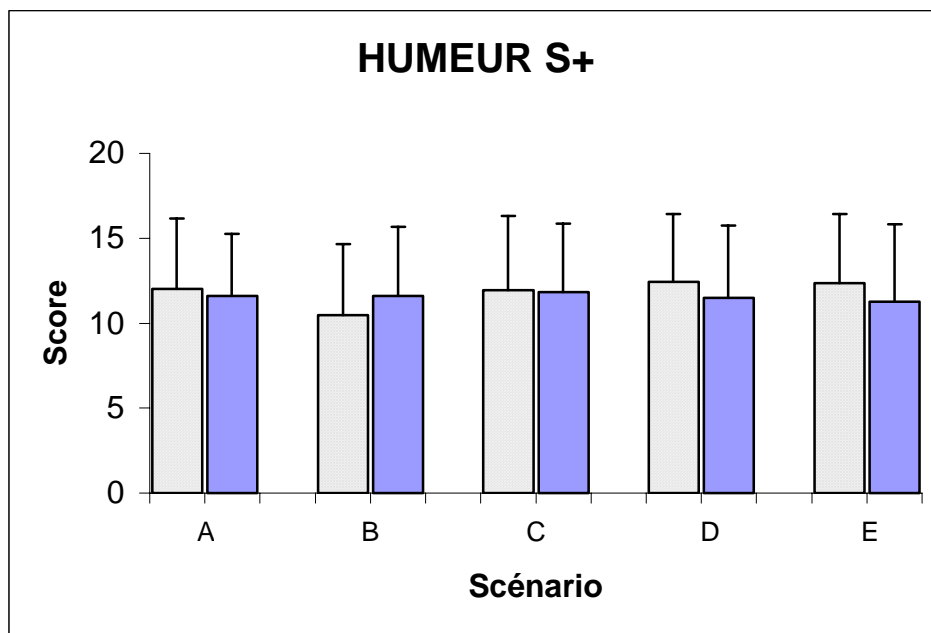


Figure 3 : Résultats de 23 sujets soumis au questionnaire de l'auto-évaluation de l'humeur.

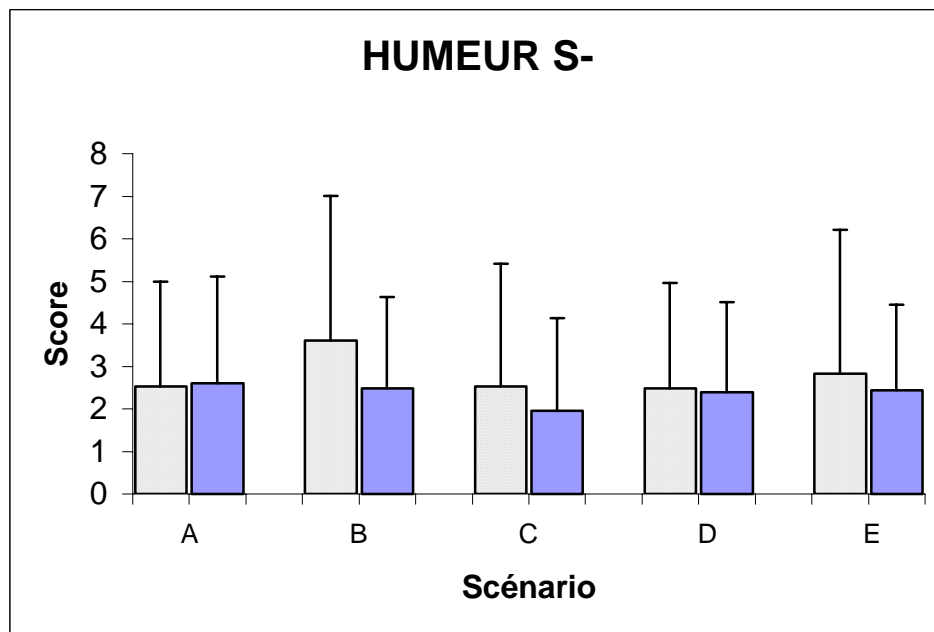


Figure 4 : Résultats de 23 sujets soumis au questionnaire de l'auto-évaluation de l'humeur.

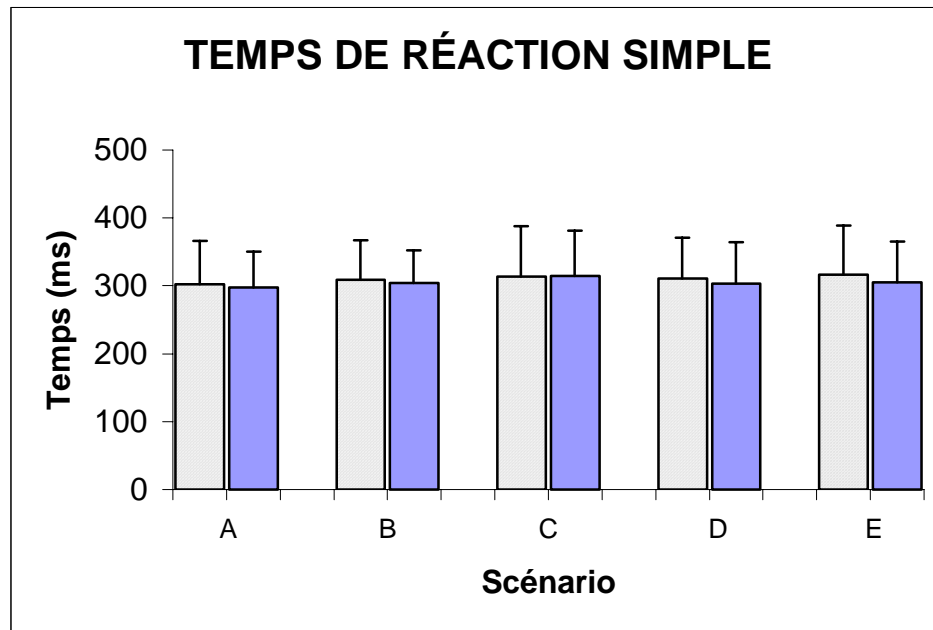


Figure 5 : Résultats de 23 sujets soumis au test du temps de réaction simple (moyenne de 5 minutes).

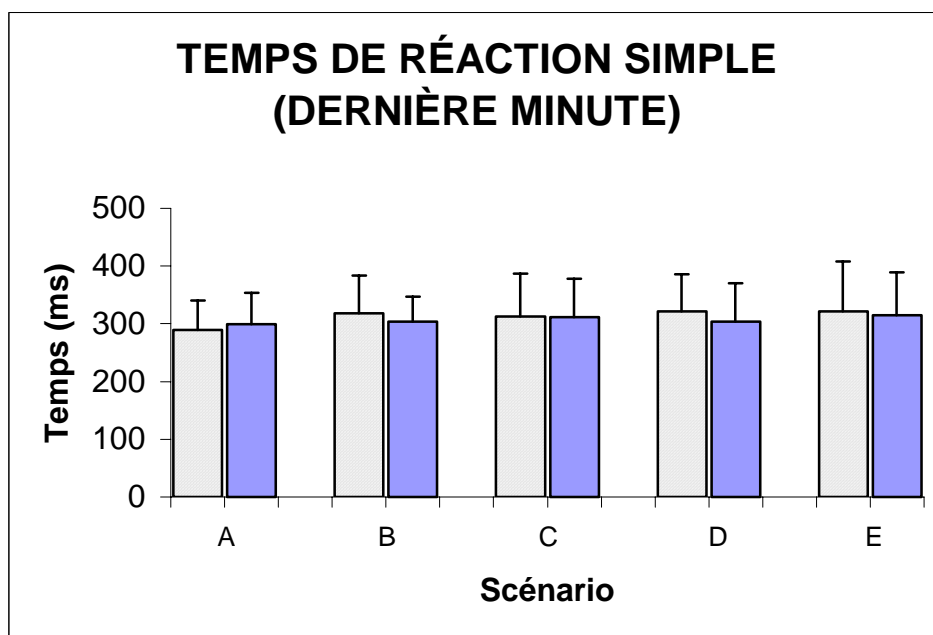


Figure 6 : Résultats de 23 sujets soumis au test du temps de réaction simple (moyenne de la dernière minute).

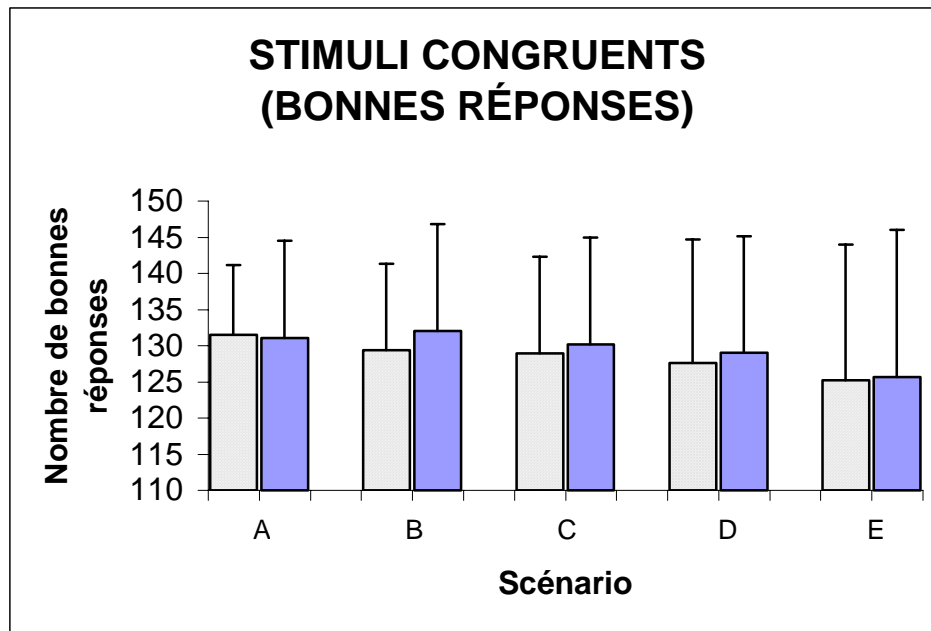


Figure 7 : Moyenne du nombre de bonnes réponses de 23 sujets soumis au test de vigilance.

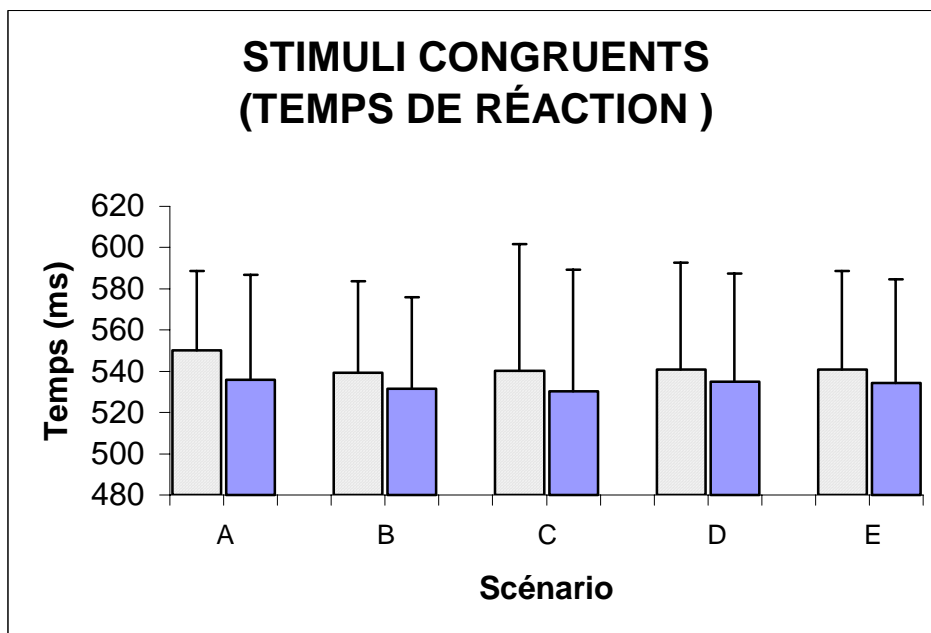


Figure 8 : Moyenne des temps de réaction de 23 sujets soumis au test de vigilance.

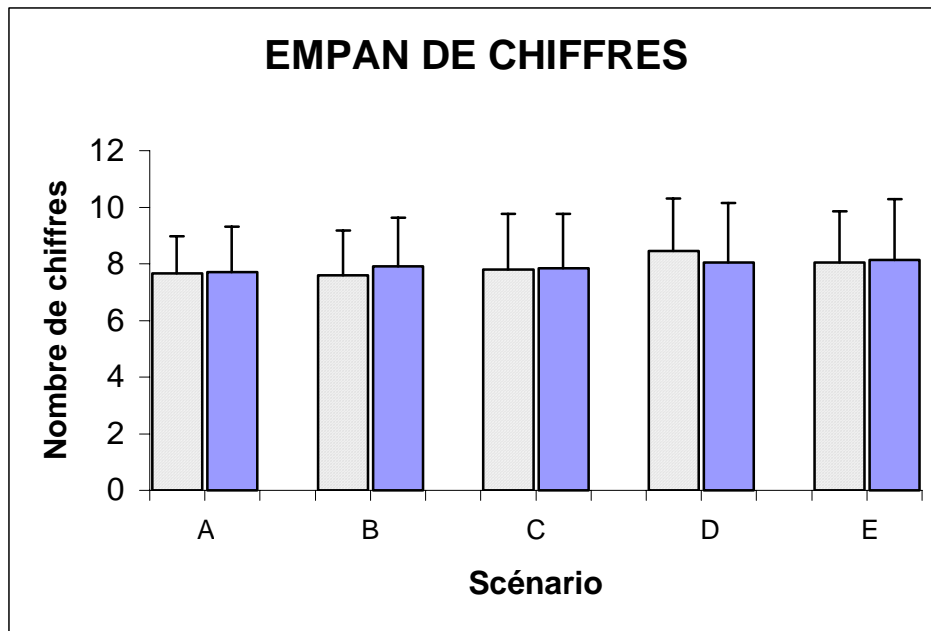


Figure 9 : Résultats de 24 sujets soumis au test de mémoire des chiffres (empan de chiffres).

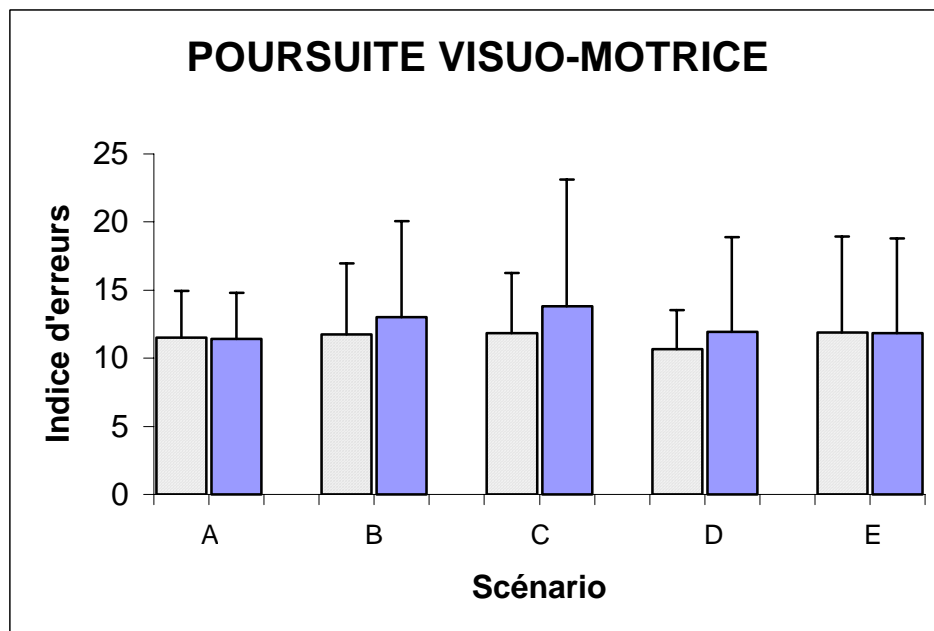


Figure 10 : Résultats de 23 sujets soumis au test de poursuite visuo-motrice (erreurs).

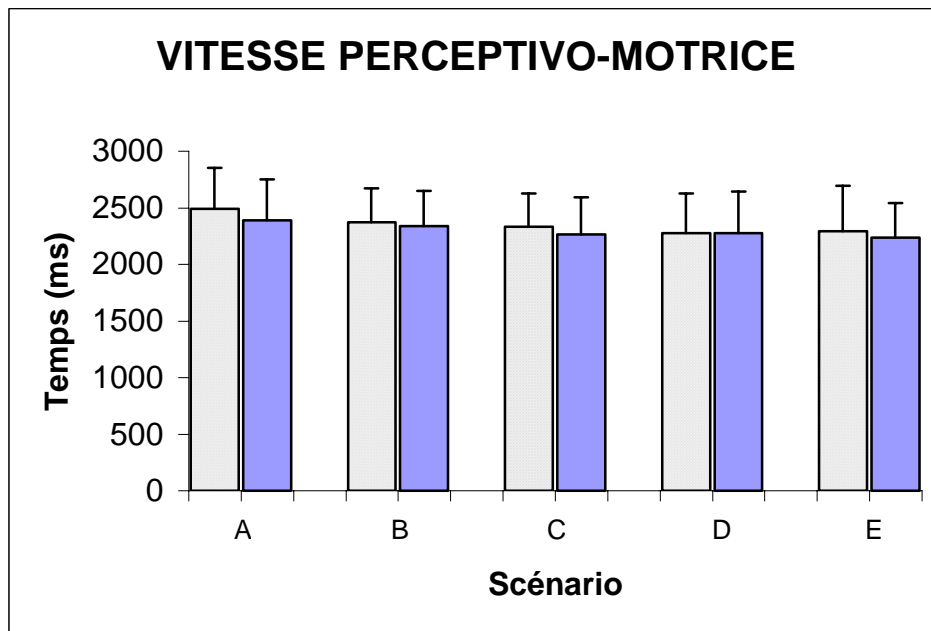


Figure 11 : Moyenne des temps de réaction de 23 sujets soumis au test de vitesse perceptivo-motrice.

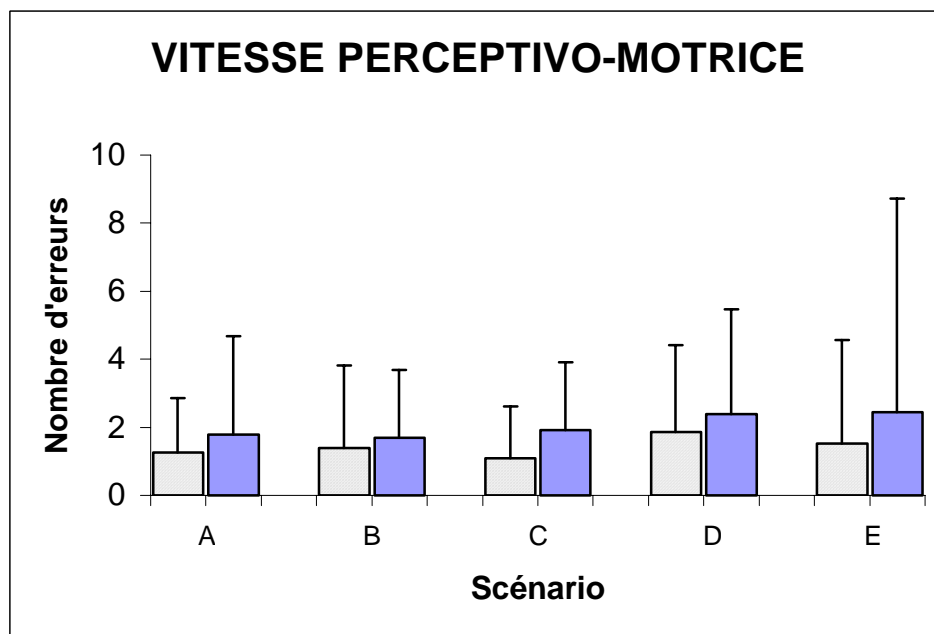


Figure 12 : Moyenne du nombre d'erreurs de 23 sujets soumis au test de vitesse perceptivo-motrice.

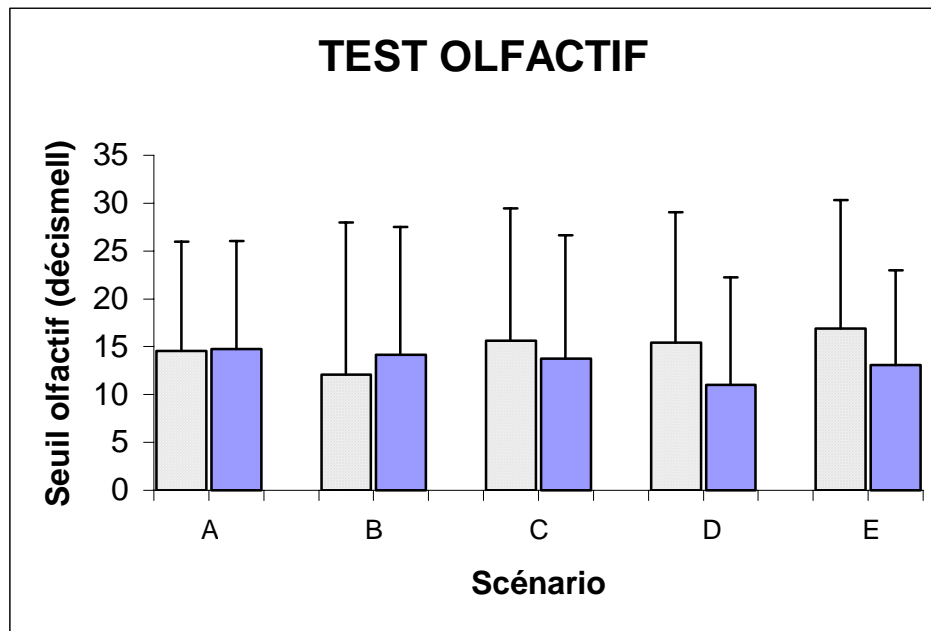


Figure 13 : Résultats de 24 sujets soumis au test de mesure du seuil olfactif (le seuil est déterminé après la première erreur).

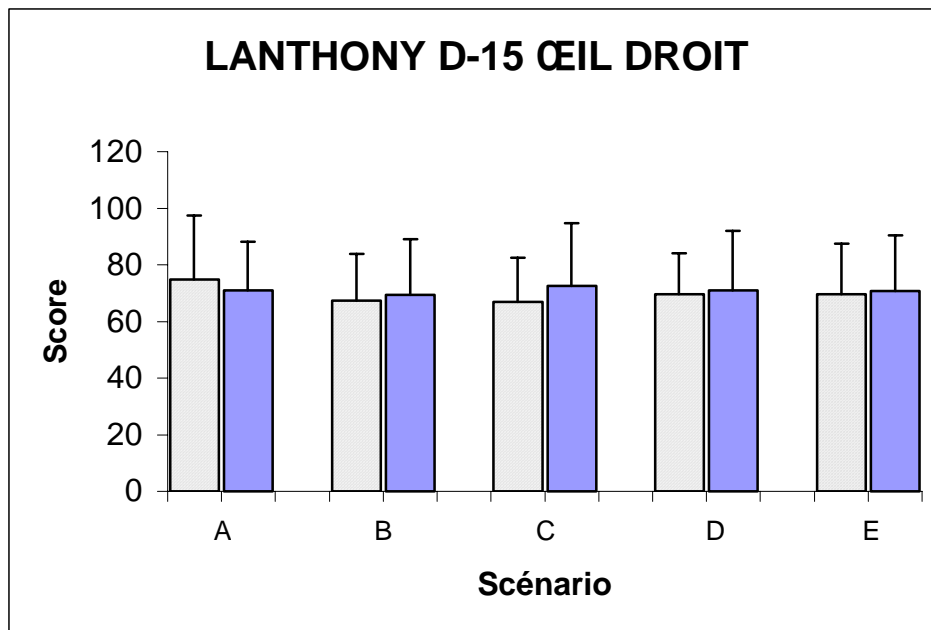


Figure 14 : Résultats de 23 sujets soumis au test de vision des couleurs pour l'œil droit (Lanthony D-15, les scores sont déterminés selon Bowmen).

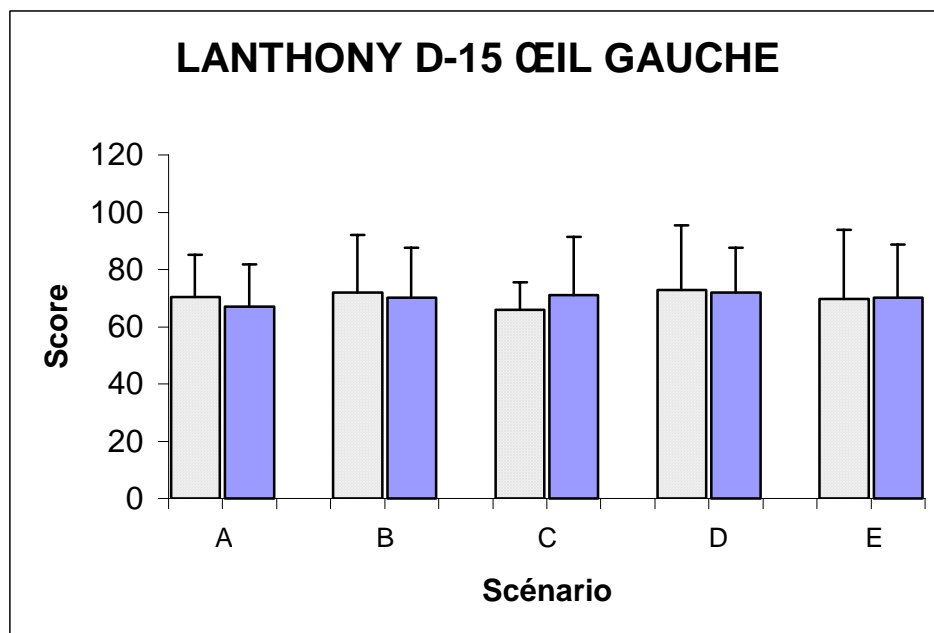
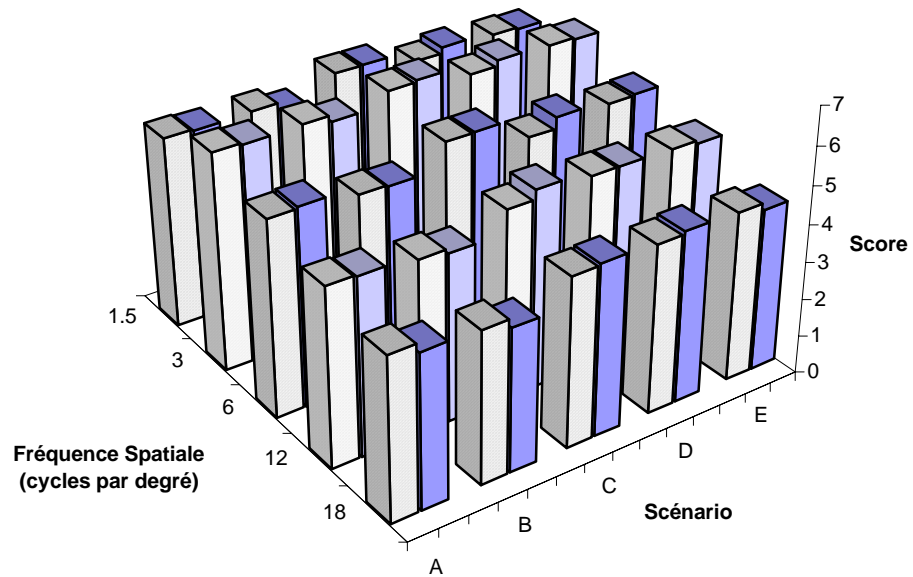


Figure 15 : Résultats de 24 sujets soumis au test de vision des couleurs pour l'œil gauche (Lanthony D-15, les scores sont déterminés selon Bowmen).

VISTECH ŒIL GAUCHE



VISTECH ŒIL DROIT

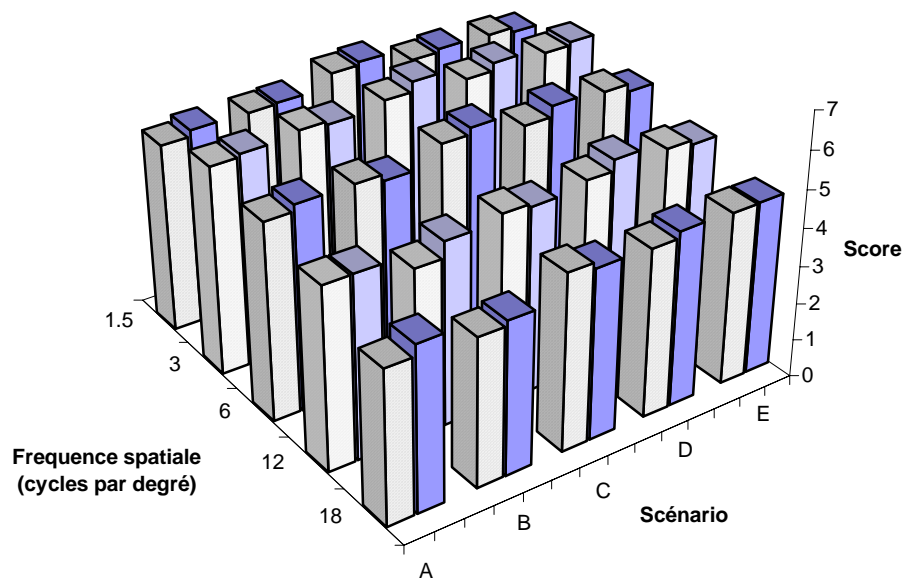


Figure 16 : Résultats de 27 sujets soumis au test de mesure de la sensibilité visuelle aux contrastes.