

Substances chimiques et agents biologiques

# Études et recherches

RAPPORT R-606



## Diisocyanate-4,4' de diphénylméthane (MDI)

Pratiques de sécurité et concentration  
lors de pulvérisation de mousse polyuréthane

*Brigitte Roberge  
Rodrigue Gravel  
Daniel Drolet*



Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

## NOS RECHERCHES

### *travaillent pour vous !*

#### Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

#### Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. [www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST. Abonnement : 1-877-221-7046 [www.irsst.qc.ca/fr/pat-abonnement.html](http://www.irsst.qc.ca/fr/pat-abonnement.html)

#### Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales  
2009  
ISBN : 978-2-89631-375-4 (version imprimée)  
ISBN : 978-2-89631-376-1 (PDF)  
ISSN : 0820-8395

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](mailto:publications@irsst.qc.ca)  
[www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)

© Institut de recherche Robert-Sauvé  
en santé et en sécurité du travail,  
juin 2009

Substances chimiques et agents biologiques

# Études et recherches

RAPPORT R-606

## Diisocyanate-4,4' de diphenylméthane (MDI)

Pratiques de sécurité et concentration  
lors de pulvérisation de mousse polyuréthane

### Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

*Brigitte Roberge et Rodrigue Gravel,  
Service soutien à la recherche et à l'expertise, IRSST  
Daniel Drolet, Services et expertises de laboratoire, IRSST*

Cliquez recherche  
[www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)



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

**CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSS**

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document  
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Claude Létourneau, Yves Beaudet, Renaud Daigle et Pierre Drouin de l'IRSST pour leur travail sur le terrain, Lucile Richard et Marielle Carrier pour l'analyse des prélèvements au laboratoire, Laurent Gratton pour le suivi relatif à la valorisation et au transfert des résultats de la recherche de l'IRSST, Bernard Teasdale, conseiller de l'ASP Construction, les entrepreneurs en isolation à la mousse de polyuréthane et leurs travailleurs que nous avons rencontrés.



## SOMMAIRE

Au cours des dernières années, des travailleurs québécois de la construction ont été «sensibilisés» au diisocyanate-4,4' de diphenylméthane (MDI). Cette substance est émise lors de la pulvérisation d'un polyisocyanate (mélange de polymères de MDI) et d'un composé polyhydroxylé (résine) pour former une mousse rigide de polyuréthane utilisée comme isolant thermique de bâtiments. La valeur d'exposition admissible (VEA) québécoise du MDI est de 0,051 mg/m<sup>3</sup> (51 µg/m<sup>3</sup>) pour la forme monomère. Cette substance est identifiée *sensibilisant* dans le Règlement sur la santé la sécurité du travail (RSST), qui mentionne également la réduction de l'exposition au minimum (EM).

Des études terrain (pulvérisation in situ) rapportées dans la littérature scientifique ont démontré des concentrations importantes de MDI au cours de ce procédé, spécialement dans le secteur résidentiel. Celle de Lesage (2007) a confirmé, notamment la nécessité de procéder à des prélèvements des aérosols de MDI et d'utiliser un milieu collecteur permettant leur captation optimale en raison de la courte durée de polymérisation impliquée dans ce procédé.

Le Canadian Urethane Foam Contractors Association (CUFCA) et l'Alliance for the Polyurethane Industry (API) offrent un programme d'entraînement pour les installateurs de cette mousse. Ce programme couvre les façons de faire lors de la pulvérisation afin d'obtenir un produit de qualité. Il s'agit donc de la compétence des travailleurs. Le volet de la sécurité du travail lors des travaux n'est pas ou très peu traité.

Dans un premier temps, la présente étude a documenté les pratiques relatives à la santé et la sécurité du travail (SST) dans une gamme variée de conditions où sont réalisés les travaux d'isolation. Mentionnons entre autres, la construction commerciale ou résidentielle, la localisation des travaux (intérieurs ou extérieurs), la saison (été et hiver).

Puis, elle a permis l'évaluation de MDI en poste fixe dans les aires des travailleurs. Ces concentrations (concentration moyenne sur la durée des travaux et pondérée sur 8 heures) ont été analysées en fonction de déterminants influençant l'exposition des travailleurs au MDI. Les particularités relatives aux travaux ont été traitées afin d'estimer les situations les plus à risque avec un certain niveau de confiance pour les tâches ciblées au cours de la pulvérisation de cette mousse. Le risque d'exposition au MDI sous forme monomère (aérosols) des travailleurs affectés à ces travaux de pulvérisation est important, spécialement lors de travaux effectués à l'intérieur où la moyenne des concentrations dans la zone de pulvérisation est de 288 µg/m<sup>3</sup>. En plus de ces particularités, les pratiques de travail individuelles et intra équipe (équipe d'installateur et son assistant) expliquent certaines variabilités dans les données recueillies.

Malgré le programme d'entraînement des installateurs par un organisme accrédité, rien n'indique que les pratiques de SST soient respectées intégralement sur les chantiers québécois de construction. Dans le cadre de la formation sur les compétences, le volet SST ainsi que les protections respiratoire et cutanée devraient être traités rigoureusement et faire partie d'un processus de formation continue des travailleurs.





**TABLE DES MATIÈRES**

1. INTRODUCTION .....	1
2. PROBLÉMATIQUE ET ÉTAT DES CONNAISSANCES .....	3
2.1. Effets sur la santé et prévalence .....	3
2.2. Principaux usages .....	4
2.3. Niveaux d'exposition répertoriés .....	4
2.4. Formation .....	5
3. OBJECTIFS DE RECHERCHE .....	7
4. MÉTHODES .....	9
4.1. Méthodes analytiques .....	9
4.2. Stratégie des prélèvements .....	10
5. RÉSULTATS .....	13
5.1. Description des chantiers .....	13
5.2. Organisation du travail .....	13
5.3. Pratiques de santé et sécurité .....	14
5.3.1. <i>Équipements d'approche à la zone de travail</i> .....	15
5.3.2. <i>Protection respiratoire</i> .....	17
5.3.3. <i>Vêtements de protection</i> .....	17
5.4. Danger ergonomique .....	18
5.5. Danger chimique .....	19
5.5.1. <i>Résultats analytiques et concentrations moyennes de MDI</i> .....	21
5.5.2. <i>Autres risques d'exposition</i> .....	24
6. DISCUSSION .....	25
6.1. Organisation du travail .....	25
6.2. Pratiques de santé et sécurité .....	25
6.2.1. <i>Équipements de levage</i> .....	25
6.2.2. <i>Équipements de protection</i> .....	26
6.3. Danger ergonomique .....	27
6.4. Danger chimique .....	27
6.4.1. <i>Concentration de MDI dans la zone de pulvérisation</i> .....	27
6.4.2. <i>Concentration de MDI hors zone de pulvérisation</i> .....	28
6.4.3. <i>Concentration de MDI post-pulvérisation</i> .....	29
6.4.4. <i>Analyse statistique</i> .....	30
6.5. Autres risques d'exposition .....	31
6.6. Recommandations .....	31
7. CONCLUSION .....	33
BIBLIOGRAPHIE .....	35

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description des méthodes analytiques de MDI.....	10
Tableau 2 : Équipements d'approche à la zone de travail utilisés sur les chantiers visités .....	15
Tableau 3 : Appareils de protection respiratoire utilisés.....	17
Tableau 4 : Vêtements de protection.....	18
Tableau 5 : Description sommaire des interventions par équipe de travailleurs.....	20
Tableau 6 : Zone de pulvérisation : Concentrations moyennes de MDI par installateur .....	22
Tableau 7 : Hors zone de pulvérisation : Concentrations moyennes de MDI par assistant .....	22
Tableau 8 : Moyenne des concentrations de MDI par zone par localisation/saison .....	23
Tableau 9 : Moyenne des concentrations de MDI par zone pour les travaux intérieurs .....	23
Tableau 10 : Moyenne des concentrations de MDI dans la zone hors de pulvérisation .....	23
Tableau 11 : Moyenne des concentrations de MDI monomère : post-pulvérisation par étage.....	23
Tableau 12 : Concentrations moyennes de MDI forme monomère par tâche.....	28
Tableau 13 : Bonnes pratiques recommandées et mauvaises pratiques observées .....	29

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Agents causals des cas d'asthme professionnel reconnus en 2007.....	3
Figure 2 : Postes de prélèvement lors de pulvérisation de surfaces intérieures .....	10
Figure 3 : Postes de prélèvement lors de pulvérisation de surfaces extérieures .....	11
Figure 4 : Abri non conforme sur une plate-forme de travail élévatrice automotrice.....	16
Figure 5 : Pistolet à pulvérisé et son jet (Pierre Charbonneau, photographe).....	18
Figure 6 : Position accroupie (Pierre Charbonneau, photographe).....	19
Figure 7 : Moyennes des concentrations de MDI monomère des prélèvements post-pulvérisation.....	24
Figure 8 : Positionnement du travailleur sur un échelon de l'escabeau (Pierre Charbonneau, photographe) .....	25
Figure 9 : Protection des membrures et traverses d'un équipement de levage .....	26

## 1. INTRODUCTION

Dans les pays industrialisés parmi tous les travailleurs exposés, le pourcentage de travailleurs sensibilisés au MDI est d'environ 5 à 10 % (Nadeau 2000). Le MDI est émis sous forme d'aérosols de petite dimension (gouttelettes de monomère et d'oligomères) (Lesage et Ostiguy 2000) lors du procédé de pulvérisation de mousse rigide de polyuréthane (mousse isolante) sur les chantiers de construction. Il est identifié comme sensibilisant dans l'annexe I du Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST). De plus, un règlement<sup>1</sup> modifiant le Code de sécurité pour les travaux de construction (CSTC) et le RSST (article 42), en vigueur depuis mars 2008, mentionne, notamment, la protection et la réduction de l'exposition au minimum pour les diisocyanates ou les oligomères d'isocyanates.

La présente étude vise à documenter les pratiques à risque et d'évaluer l'environnement de travail en termes de concentrations de MDI (monomère et oligomères), en poste fixe, au cours des travaux de pulvérisation (aérosols et vapeurs) et post-pulvérisation (vapeurs) sur les chantiers de construction québécois en fonction des travaux effectués.

La particularité de cette étude terrain réside dans la diversité des situations investiguées où le procédé de pulvérisation d'un polyisocyanate (mélange de polymères de MDI) et d'un composé polyhydroxylé (résine) est utilisé (procédé d'isolation thermique) et du volet de la sécurité du travail au cours de ces travaux. En effet, des études rapportées dans la littérature scientifique n'avaient pas traité des pratiques de SST et avaient principalement ciblé la construction résidentielle.

Les premières sections de ce rapport comprennent un état des connaissances, les objectifs et la stratégie d'évaluation (prélèvements et analyse) utilisée dans le cadre de cette étude terrain. Les observations et résultats analytiques sont rapportés à la section 5 et discutés à la section 6.

---

1 C.S2-1, r19.01, section 1 article 2. {En ligne}.

[http://www.csst.qc.ca/NR/rdonlyres/A689E06B-EBA7-40FE-A55A-EBAF1239FC21/4177/DC\\_200\\_1027.pdf](http://www.csst.qc.ca/NR/rdonlyres/A689E06B-EBA7-40FE-A55A-EBAF1239FC21/4177/DC_200_1027.pdf)  
[http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=%2F%2FS\\_2\\_1%2FS2\\_1R19\\_01.htm](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=%2F%2FS_2_1%2FS2_1R19_01.htm) (Avril 2008).



## 2. PROBLÉMATIQUE ET ÉTAT DES CONNAISSANCES

### 2.1. Effets sur la santé et prévalence

Selon les statistiques de la CSST, 40 à 60 nouveaux cas d'asthme professionnel sont indemnisés annuellement. Environ 250 substances sont reconnues agent causal de l'asthme professionnel (AP)<sup>2</sup>. Tel qu'illustré à la figure 1, 17 % de tous les cas d'AP reconnus en 2007 ont pour agent causal une substance de la famille des isocyanates. Certaines substances de cette famille sont des irritants chimiques pour les voies respiratoires, les yeux et la peau et des sensibilisants respiratoires et cutanés. L'exposition professionnelle aux isocyanates peut induire la rhinite qui peut évoluer vers l'AP. Ces deux maladies respiratoires d'origine professionnelle se manifestent par l'apparition de symptômes suite à une exposition répétée à un sensibilisant. Leurs symptômes s'atténuent ou disparaissent peu de temps après que le travailleur ait quitté le milieu de travail. Selon des pneumologues (Bernstein et al. 1999), un travailleur sensibilisé aux isocyanates peut réagir immédiatement ou quelques heures après l'exposition et ce, même à de très faibles concentrations, voire inférieures à 1 ppb pour de courts intervalles. Cette allégation est également rapportée par d'autres auteurs (Nadeau 2000 et Ostiguy et al. 2005).

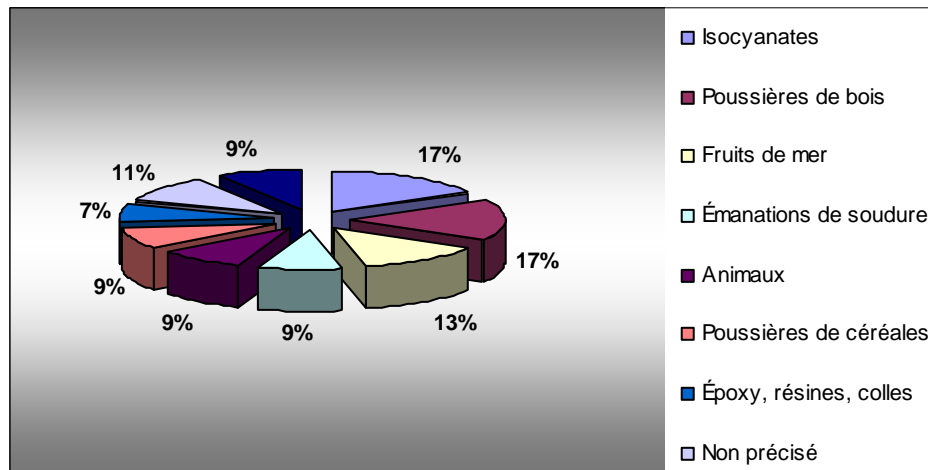


Figure 1 : Agents causaux des cas d'asthme professionnel reconnus en 2007

Dans plusieurs milieux de travail, les concentrations d'isocyanates monomères ont été abaissées ou maîtrisées par des moyens d'ingénierie, administratifs ou le port de protection respiratoire. Malgré ce fait, il y aurait encore des cas de sensibilisation. Les oligomères (polyisocyanates) contiennent des fonctions isocyanates qui ont des caractéristiques semblables à celle des monomères. Ils contribueraient également à la toxicité des isocyanates (Bernstein et al. 2006). Des chercheurs (Karol et al. 1981) ont démontré que l'exposition aux isocyanates par contact avec la peau, particulièrement le TDI, chez des animaux pouvait avoir un effet sensibilisant des sujets conduisant à une réponse asthmatique lors d'exposition par inhalation. Certains énoncent que l'exposition cutanée uniquement ne peut pas être la seule cause d'une réponse asthmatique (Dhimiler 2007, Vanoirbeek et al. 2004, Herrick et al. 2002, Karol et al. 1981). Bien qu'il n'y ait pas de consensus sur le sujet, il semblerait que la peau serait une voie d'exposition pouvant entraîner la sensibilisation respiratoire de travailleurs.

2 {En ligne}. {<http://www.reptox.csst.qc.ca/Documents/PlusEncore/Asthme/Htm/Asthme.htm#Chap3>} (Avril 2008)

## 2.2. Principaux usages

Les substances de la famille des isocyanates entrent dans la synthèse d'une large gamme de polymères aux propriétés diverses. Selon Streicher et al. (2000), ces polymères sont impliqués dans la fabrication de mélanges commerciaux, tels les peintures, les mousses flexibles et rigides, les adhésifs, les résines et les élastomères. En plus des travailleurs affectés à la fabrication de ces mélanges, d'autres peuvent également être en contact avec des isocyanates lors de leur utilisation dans le milieu de travail, notamment lors de la pulvérisation in situ pour former la mousse rigide de polyuréthane sur les chantiers de construction.

Les diisocyanates, appelés monomère, et les polyisocyanates, appelés oligomères, peuvent former des polymères en se combinant à d'autres molécules. Les diisocyanates peuvent contenir une proportion de monomère variant de 25 à 76 %<sup>3</sup> (Ostiguy et al. 2005). Lors de travaux d'isolation, un mélange composé d'un polyisocyanate (mélange de polymères de MDI) et d'un composé polyhydroxylé, appelé polyol (résine), est pulvérisé sur des surfaces à l'aide d'un pistolet. Plusieurs compagnies fabriquent ces produits dont le MDI polymérique (PMDI) qui est commercialisé sous différents noms, tels que Lupranate©, Rubinate©, Desmodur©, Voranate©, Caradate©, ... (INERIS 2002). Le PMDI utilisé dans ce procédé est composé de 45-55 % de diisocyanate de polyméthylène polyphénylène et de 45-55% de diisocyanate-4,4' de diphenylméthane. En raison de sa faible tension de vapeur à température ambiante (<0,00001 mm Hg), il se retrouve dans l'air principalement sous forme d'aérosols (monomère et oligomères). La résine contient, en plus du polyol, un agent gonflant, qui provoque l'expansion de la mousse, et des additifs, tels des stabilisants, qui empêchent sa dégradation. Les fabricants de résines proposent deux versions, régulière et hivernale, pour permettre la pulvérisation de la mousse lors de conditions hivernales, en modifiant la teneur de certains composants de celles-ci.

Selon Abecassis (2000), les produits cités plus haut réagissent en trois phases pour former la mousse polyuréthane :

1. Mélange et temps de crémage : ± 5 secondes;
2. Expansion ou temps de montée (réaction exothermique et gonflement de la mousse) : 15 à 20 secondes;
3. Polymérisation ou durcissement (structure alvéolaire) : 2 à 3 minutes. Cette phase est totalement terminée 48 heures après la pulvérisation.

Il est donc important de s'assurer que les méthodes de prélèvement et le milieu collecteur tiennent compte de la polymérisation rapide de ce procédé et que celles d'analyse puissent quantifier les aérosols monomères et oligomères (Lesage et al. 2007, Lesage et Ostiguy 2000).

## 2.3. Niveaux d'exposition répertoriés

Bien qu'il y ait plusieurs articles récents traitant de l'exposition aux isocyanates dans la fabrication en usine de mousse souple où le diisocyanate de toluène (TDI) est utilisé, il y en a peu traitant de l'exposition au MDI des travailleurs du secteur de la construction (Research And Development Department Construction Safety Association Of Ontario 1987, Hosein et Farkas 1981, Bilan et al. 1989, Crespo et Galan 1999 et Creely et al. 2006, Lesage et al. 2007). Ceux-ci rapportent des concentrations importantes lors de ce procédé de pulvérisation de mousse polyuréthane : pour les installateurs de 0,017 à 0,4 mg/m<sup>3</sup> et pour leur assistant de 0,01 à

3 {En ligne}. {[http://www.irsst.qc.ca/fr/isocya\\_7.htm](http://www.irsst.qc.ca/fr/isocya_7.htm)} (avril 2008).

0,31 mg/m<sup>3</sup>. Bien que ces concentrations ne correspondent pas à une valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP) sur 8 heures, plusieurs sont supérieures à la réglementation en vigueur au Québec où la valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP) pour le MDI (Annexe I du RSST) est 0,051 mg/m<sup>3</sup> (51 µg/m<sup>3</sup>) ou 0,005 ppm pour la forme monomère avec une mention de réduction de l'exposition au minimum (EM).

## 2.4. Formation

Au Canada, la pratique du métier relié à la pulvérisation de mousse de polyuréthane est encadrée par un programme d'entraînement du Canadian Urethane Foam Contractors Association (CUFCA)<sup>4</sup> et de l'Alliance for the Polyurethane Industry (API) en conformité à la norme *CAN/ULC-S705.2*<sup>5</sup> de Underwriters' Laboratories of Canada (ULC)<sup>6</sup>. Il s'agit de communiquer le savoir-faire et de s'assurer que l'installateur ait atteint le niveau de compétence nécessaire à cette tâche. En plus, les compagnies de distribution des mélanges commerciaux doivent certifier ces installateurs sur leurs produits, sur les exigences particulières à ceux-ci, etc. Ce programme touche uniquement le volet de la tâche. Le volet de la santé et de la sécurité du travail (SST) est très restreint.

Le marché québécois est principalement desservi par deux compagnies de distribution de mélanges commerciaux. Ces compagnies ont des exigences de qualité pour la mousse et des mises en garde lors de la pulvérisation. Le volet de sécurité du travail dans le cadre de ces formations n'est pas ou est très peu traité. Il y a 85 entrepreneurs québécois membres de CUFCA<sup>7</sup>. Toutefois, le nombre de travailleurs certifiés n'est pas documenté sur ce site.

---

4 {En ligne}. {[http://www.cufca.ca/training/levels\\_e.php](http://www.cufca.ca/training/levels_e.php)} (Avril 2008).

5 La norme CAN/ULC S705.1 énumère les exigences pour les composants liquides, l'entrepreneur et l'installateur. La norme CAN/ULC S705.2 fixe les exigences pour les conditions environnementales et autres documentations pertinentes pour la pulvérisation.

6 {En ligne}. {[http://www.ulc.ca/ABOUT\\_ULC/Work\\_program.asp](http://www.ulc.ca/ABOUT_ULC/Work_program.asp)} (Avril 2008).

7 {En ligne}. {[http://www.cufca.ca/lookup/search\\_e.php](http://www.cufca.ca/lookup/search_e.php)} (Novembre 2008).





### **3. OBJECTIFS DE RECHERCHE**

Les objectifs de cette étude sont de :

- Répertorier les pratiques à partir des méthodes de travail prescrites dans le programme d'entraînement sur la pulvérisation de mousse polyuréthane;
- Documenter les bonnes pratiques en santé et sécurité du travail (SST) et les pratiques à risque au cours des travaux de pulvérisation sur les chantiers de construction québécois en fonction des différents travaux effectués;
- Évaluer l'environnement de travail en termes de concentrations de MDI (monomère et oligomères), en poste fixe au cours de la pulvérisation de la mousse (aérosols et vapeurs) et post-pulvérisation (vapeurs).



## 4. MÉTHODES

Afin de rencontrer le premier objectif de l'étude, des points relatifs aux façons de faire (voir annexe 1) ont été listés à partir de la documentation du programme d'entraînement pour les installateurs de mousse de polyuréthane. Pour répondre au deuxième objectif, ces points ont été validés en milieu de travail au regard de la réalité des pratiques des travailleurs affectés à la pulvérisation (installateur et assistant) sur différents chantiers québécois.

L'étude ciblait des chantiers de constructions nouvelles et/ou de rénovation, tant résidentielles que commerciales où des éléments structuraux intérieurs (murs de sous-sol, ceintures) ou extérieurs étaient isolés à l'aide de mousse de polyuréthane en hiver et en été. La liste des entrepreneurs utilisant cette mousse a été constituée à partir de la liste des entrepreneurs du Québec<sup>8</sup> en isolation thermique (sous catégorie 4231 et 4232) et celle de la CUFCA<sup>9</sup>.

### 4.1. Méthodes analytiques

Le train de prélèvement recommandé dans la méthode 25/3 *Organic Isocyanates in Air* du Health and Safety Executive (HSE)<sup>10</sup> a été utilisé pour la quantification des aérosols (monomère et oligomères) et des vapeurs de MDI sous les formes monomère et oligomères. Cette méthode permet la captation des aérosols émis par barbotage dans une solution avant que la polymérisation, très rapide dans ce procédé, ne soit terminée (Lesage et al 2007, Abecassis 2000). Cette méthode a donc été privilégiée par rapport à celle où le milieu capteur pour les aérosols est un filtre en fibre de verre prétraité qui est plongé dans une solution de réactif après le prélèvement de 15 minutes<sup>11</sup>. Ce milieu collecteur, utilisé selon les prescriptions du laboratoire de l'IRSST, ne convient pas à un procédé où la polymérisation est rapide.

Les prélèvements pour les aérosols et ceux pour quantifier les vapeurs de MDI sous forme monomère selon la méthode haute sensibilité (HS) de l'IRSST ont été effectués à un débit de 1 L/min sur une période de 30 à 60 minutes, selon la durée des travaux ou de la zone à pulvériser. Il s'agit donc de prélèvements consécutifs sur la **période totale de pulvérisation** sur un chantier pour une intervention. Les méthodes d'analyse sont résumées au tableau 1. Le coefficient de variation pour les prélèvements est de 5 %.

---

8 {En ligne}.

{[http://w3.rbq.gouv.qc.ca/rbq/owa/RBAC2.aff\\_liste?p\\_session=3179754&p\\_alpha=TOUS&P\\_type\\_rech=E&P\\_nbre=630](http://w3.rbq.gouv.qc.ca/rbq/owa/RBAC2.aff_liste?p_session=3179754&p_alpha=TOUS&P_type_rech=E&P_nbre=630)} (Avril 2008).

{[http://w3.rbq.gouv.qc.ca/rbq/owa/RBAC2.aff\\_liste?p\\_session=3179754&p\\_alpha=TOUS&P\\_type\\_rech=E&P\\_nbre=308](http://w3.rbq.gouv.qc.ca/rbq/owa/RBAC2.aff_liste?p_session=3179754&p_alpha=TOUS&P_type_rech=E&P_nbre=308)} (Avril 2008).

{[http://w3.rbq.gouv.qc.ca/rbq/owa/RBAC2.aff\\_liste?p\\_session=3179754&p\\_alpha=TOUS&P\\_type\\_rech=E&P\\_nbre=799](http://w3.rbq.gouv.qc.ca/rbq/owa/RBAC2.aff_liste?p_session=3179754&p_alpha=TOUS&P_type_rech=E&P_nbre=799)} (Avril 2008).

9 {En ligne}. {[http://www.cufca.ca/lookup/search\\_e.php](http://www.cufca.ca/lookup/search_e.php)} (Novembre 2008).

10 Methods for Determination of Hazardous Substances HSE {En ligne}.

{<http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/pdfs/mdhs25-3.pdf>} (Avril 2008).

11 {En ligne}. <http://www.irsst.qc.ca/files/documents/fr/Labos/Isocyanates1.pdf> (Février 2009).

**Tableau 1 : Description des méthodes analytiques de MDI**

	<i>25/3 Organic Isocyanates in Air</i>	<i>Haute sensibilité de l'IRSST</i>
<b>Analyse/détection</b>	CLHP-UVF	CLHP et SM/SM
<b>Milieu collecteur</b>	Barboteur contenant une solution de MOPIP	Membrane de 37 mm imprégnée de MAMA
<b>LQ : monomère</b>	0,036 µg	0,00075 µg
<b>oligomères</b>	0,041 µg	- - - -
<b>CVA</b>	2,8 %	< 5 %

CLHP-UVF : Chromatographie en phase liquide à haute pression avec détection par ultraviolet et fluorescence.

CLHP : Chromatographie en phase liquide à haute pression. SM/SM : Double spectrométrie de masse.

MOPIP : 1-(2-méthoxyphényle) pipérazine

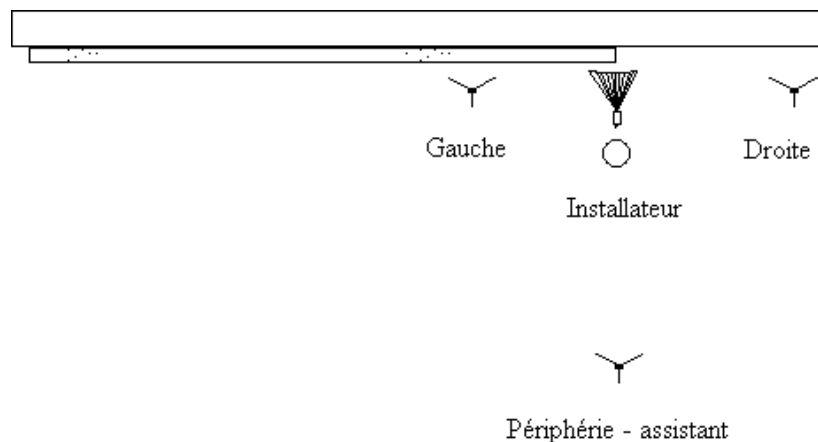
MAMA : (n-méthyl-amino-méthyl)-9-anthracène

LQ : Limite de quantification analytique

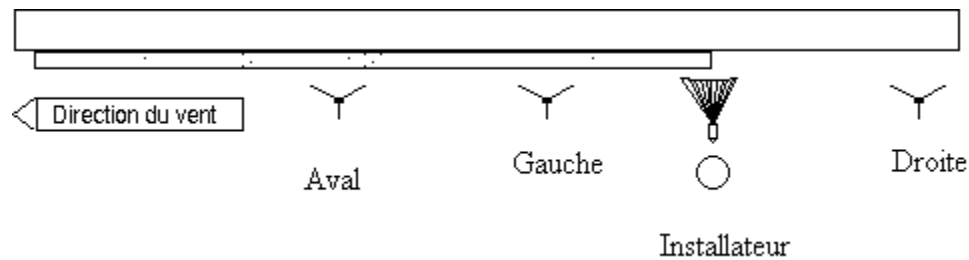
CVA : Coefficient de variation analytique.

## 4.2. Stratégie des prélèvements

Des prélèvements en poste fixe de MDI (monomère et oligomères) ont été effectués en zone de pulvérisation (installateur) et dans les zones hors pulvérisation (assistant et travailleurs d'autres corps de métier). Dans la zone de pulvérisation, deux trains de prélèvement (aérosols et vapeurs HS) encadraient l'installateur (environ 2 mètres de chaque côté à une hauteur de 1,5 mètres voir figures 2 et 3). Une moyenne de leurs résultats analytiques servait à estimer la concentration moyenne dans cette zone. Pour les zones hors pulvérisation, des trains de prélèvement étaient positionnés à  $\pm 3$  m derrière l'installateur (aérosols ou vapeurs HS) (zone de travail de l'assistant) ou au centre de l'étage où les travaux de pulvérisation étaient effectués (zone de travail de travailleurs d'autres corps de métier). Pour les travaux extérieurs, un train de prélèvement était positionné à  $\pm 2$  m en aval de la zone de pulvérisation par rapport à la direction du vent (voir figure 3). Lors de travaux extérieurs, s'il y avait présence de travailleurs à l'intérieur du bâtiment, un prélèvement de vapeurs HS était également effectué.



**Figure 2 : Postes de prélèvement lors de pulvérisation de surfaces intérieures**



**Figure 3 : Postes de prélèvement lors de pulvérisation de surfaces extérieures**

Enfin, des prélèvements post-pulvérisation (vapeur HS) ont été effectués pendant deux heures (de 0 à 30 minutes, de 30 à 60 minutes et de 60 à 120 minutes) suivant la fin des travaux. Ils étaient situés au centre de l'étage où les travaux avaient eu lieu et sur l'étage au-dessus. Ils visaient à déceler les vapeurs résiduelles de MDI dans le temps.

Les résultats analytiques et les informations recueillies sur les chantiers ont été colligés dans une banque de données (BD) créée à partir du logiciel Excel de Microsoft. Les informations colligées sont, entre autres : la résine utilisée, l'épaisseur pulvérisée, la saison au cours de laquelle les travaux sont exécutés et la localisation (intérieur ou extérieur), le moment des prélèvements (pendant ou post-pulvérisation), les équipements de protection, les équipements d'échafaudage (escabeau, plate-forme fixe ou mobile, à bras articulé, etc.) et les résultats analytiques.

Les données relatives à la forme monomère ont été analysées statistiquement à l'aide d'IHSTAT<sup>12</sup> de American Industrial Hygiene Association (AIHA) afin de valider la similarité ou homogénéité de groupements par déterminant (GES) et de documenter l'exposition au MDI. Ici GES se définit comme un ensemble de déterminants d'exposition pour lesquels l'exposition au MDI monomère serait d'intensité similaire. Donc, l'analyse vise à estimer le ou les déterminant(s) le ou les plus à risque avec un certain niveau de confiance pour les tâches ciblées au cours de la pulvérisation de cette mousse. Les paramètres retenus sont l'exposition quotidienne moyenne (EQM) et la concentration moyenne des prélèvements par intervention et tâche. Ils ont été considérés en regard de trois situations : 1) la localisation des travaux (intérieur et extérieur), 2) la saison (été et hiver) et 3) la mousse utilisée (résines régulière et hivernale). Ce traitement a également été fait pour les données relatives aux oligomères.

12 Forme de gratuitiel <https://www.aiha.org/1documents/committees/EASC-IHSTAT.xls> {Janvier 2009}.



## 5. RÉSULTATS

Les résultats de l'étude rapportés dans ce rapport concernent 1) la description des chantiers visités, 2) l'organisation du travail, 3) les particularités des chantiers, 4) les pratiques de SST comprenant les équipements de levage, les équipements de protection, 5) le danger ergonomique et 6) le danger chimique (pour la santé) et les facteurs de risque d'exposition au MDI pour les installateurs et leur assistant ainsi que pour d'autres travailleurs présents sur le chantier.

La liste de l'annexe I permet de colliger les informations relatives aux points 1 à 4 inclusivement, ci-haut mentionnés.

### 5.1. Description des chantiers

Les chantiers visités sont des chantiers de construction ou de rénovation de résidences (condominium, unifamilial, cottage) et de bâtiments commerciaux. Quatre mousses sont utilisées par les entrepreneurs visités. Techniquement, la norme *CAN/ULC-S705.2-05* décrit les conditions lors de la pulvérisation : un écart entre la température ambiante et celle du substrat inférieur à 17 °C et une humidité relative de l'air ambiant inférieure à 80 %. Toutefois, les fabricants des produits commerciaux recommandent l'utilisation d'un mélange spécifique pour les températures froides et l'installation d'un abri temporaire pour protéger la zone de pulvérisation contre la pluie, la neige et les vents.

Les 20 interventions<sup>13</sup> ont eu lieu auprès de neuf entrepreneurs québécois en isolation thermique à la mousse de polyuréthane. Ces entreprises font partie de mutuelles de prévention et ont un programme de prévention. Il y a eu au moins deux interventions par entrepreneur. Les interventions sont ainsi classifiées :

- 7 chantiers : isolation de murs extérieurs d'édifice commercial;
- 1 chantier : isolation de murs extérieurs de résidence (condo);
- 2 chantiers : isolation de murs intérieurs sur différents étages dont un vide sanitaire;
- 4 chantiers : isolation de murs de sous-sol de résidence;
- 5 chantiers : scellage de ceintures.

### 5.2. Organisation du travail

Une équipe de travail est composée d'un installateur et de son assistant, qui peuvent pulvériser à tour de rôle dans la journée. Généralement, il y a une équipe par chantier. Toutefois, sur un chantier, il y a eu deux équipes de travailleurs qui pulvérisaient et sur deux autres, l'installateur travaillait seul sans assistant. De plus, certains installateurs rencontrés n'avaient pas encore suivi leur programme d'entraînement, car ils doivent faire un certain nombre d'heures au préalable.

Pour tous les entrepreneurs visités, les travailleurs se répartissent ainsi les responsabilités du travail :

- a) À l'arrivée sur le chantier, l'assistant s'affaire à la préparation des lieux (masquage des ouvertures, du sol avec une pellicule plastique fixée à l'aide d'un produit à base de composés organiques volatils (COV) sous pression, d'agrafes ou de ruban adhésif), la

---

<sup>13</sup> Le terme «intervention» correspond à une journée de prélèvement plus ou moins complète.

préparation des équipements (compresseur, boyau, etc.). Après les travaux de pulvérisation, il enlève cette pellicule et nettoie les lieux.

- b) Le nettoyage du pistolet, le contrôle de qualité de la mousse et l'épaisseur pulvérisée, l'angle de pulvérisation, les conditions d'opération<sup>14</sup> (température, humidité et vitesse des vents) relèvent de l'installateur.

La journée de travail, incluant le temps de transport, débute entre 5h30 et 6h30, et peut se prolonger jusqu'à la finalisation des travaux. Quand les conditions atmosphériques ou hivernales (pluie, neige, température froide, vent) ne sont pas rencontrées, les travailleurs suspendent les travaux ou montent une structure de protection avec une pellicule plastique (style tente) au sol ou sur les équipements de levage utilisés.

Les travailleurs mangent fréquemment dans la boîte du camion où sont entreposés les barils de résine et de MDI sans avoir accès à des commodités pour se laver les mains préalablement. Un four micro-onde y est souvent installé.

Nos discussions avec les travailleurs nous ont permis d'établir le portrait d'une journée de travail ( $\pm$  8 heures/jour) :

1. Transport entre l'entrepôt de l'entrepreneur et le chantier;
2. Travaux préliminaires : réchauffement des équipements de pulvérisation, vérification des équipements de levage, si nécessaire, masquage, nettoyage du pistolet, etc.;
3. Pulvérisation de la mousse selon les spécifications du client avec des pauses, au besoin, et un repas;
4. Démasquage et nettoyage des lieux (souvent effectués en parallèle avec l'avancement des travaux de pulvérisation);
5. Transport vers l'entrepôt de l'entrepreneur, si la journée de travail est terminée, ou
6. Vers un autre chantier et reprise des opérations décrites aux points 2, 3, 4 et 5.

La durée de pulvérisation dans une journée de travail de 8 heures (480 minutes) varie de 180 à 230 minutes et plus, si plus d'un chantier est visité. Enfin, la logistique des travaux sur certains chantiers est particulièrement chaotique, engendrant de fréquentes interruptions pour l'équipe de pulvérisation.

Bien que les installateurs doivent être certifiés, tous ne possédaient pas cette certification. Deux travailleurs devaient suivre la formation dans les mois suivant notre intervention. Avant d'avoir accès à la certification, ils doivent avoir pulvérisé un certain nombre d'heures. Huit entrepreneurs parmi les neuf rencontrés sont certifiés.

### 5.3. Pratiques de santé et sécurité

Plusieurs chantiers visités sont encombrés par des outils, des matériaux, des déchets, etc. Cet encombrement nuit à l'installateur, entre autres, lors du déplacement du boyau d'alimentation de résine et de MDI. Les surfaces à pulvériser ne sont pas toujours faciles d'accès. Certains travaux bien que de courte durée sont effectués dans des endroits problématiques, difficiles d'accès (tel

---

<sup>14</sup> La température des réchauffeurs primaires doit être entre 43 ° et 49 °C (100 ° et 120 °F) et celle du boyau d'alimentation de 35 ° à 40 °C (95 ° à 105 °F), soit de 5 à 15 °F de moins que les réchauffeurs.



des greniers, des entre-toits, etc.). De plus, les travailleurs ont parfois à entrer dans des espaces clos au sens du RSST article 1 et du CSTC article 1.1.17.1. Une des équipes suivies a procédé à l'isolation des murs d'un vide sanitaire ayant un accès restreint, en y accédant à l'aide d'un escabeau temporairement emprunté à d'autres travailleurs. Ces travailleurs n'ont pas reçu une formation telle que prescrite dans le RSST et le CSTC sous-section 3.21. Enfin, il est fréquent que les travailleurs ne portent pas de casque de sécurité.

Il est fréquent que des travailleurs d'autres corps de métier circulent ou effectuent des travaux à proximité de la zone de pulvérisation. À titre d'exemple, un travail à chaud (soudage) était effectué à proximité de la zone de pulvérisation sur un des chantiers visités sans une barrière isolante sur la mousse. Cette pratique est interdite sans que la mousse ne soit isolée de la chaleur et des étincelles par une barrière thermique.

Un des entrepreneurs visités demande que ses travailleurs soient seuls sur le chantier. Un autre installe, à l'entrée du chantier, une affiche annonçant les travaux de pulvérisation et recommandant le port d'équipements de protection (APR et lunettes).

Les pratiques relatives à la santé et à la sécurité du travail rapportées dans cette section ont été observées sur les chantiers visités et touchent principalement les équipements de levage et la protection contre les chutes ainsi que les équipements de protection (respiratoire, cutanée et oculaire).

### 5.3.1. Équipements d'approche à la zone de travail

Ici le terme équipement d'approche à la zone de travail est associé à tout équipement utilisé pour atteindre les surfaces supérieures à pulvériser, incluant les plateformes de travail élévatrices automotrices, les échafaudages à tour et à plate-forme et les escabeaux et les échelles. La pulvérisation sur des structures intérieures s'effectue à partir du sol et d'un escabeau ou d'échafaudages mobiles, celle sur des structures extérieures à partir du sol et d'un escabeau, d'échafaudages fixes ou mobiles, de plateformes automotrices de type ciseaux ou à bras articulé. Les équipements d'approche à la zone de travail utilisés au cours de l'étude sont recensés au tableau 2. Un installateur n'utilisait aucun équipement d'approche.

**Tableau 2 : Équipements d'approche à la zone de travail utilisés sur les chantiers visités**

Équipement utilisé	NS	Utilisé par	Port de harnais	Abri de bâche
Escabeau	10	Installateur seul	NA	NA
Plateforme élévatrice automotrice de type ciseaux	2	Installateur et assistant	Non	Une situation
	2	Installateur seul	Non	Une situation
Plateforme élévatrice automotrice à bras articulé	1	Installateur seul	Non	Non
	1	Installateur et assistant	Oui	Oui
FRACO®	2	Installateur seul	Non	Oui
Échafaudage mobile	1	Installateur seul	Pas obligatoire, < 3 m	NA
Échafaudage fixe *	1	Installateur seul	Pas obligatoire, < 3 m	NA

NS : Nombre de situations ou chantier.

NA : Non applicable.

\* : Composé de tréteaux et planche.

FRACO : Ce nom fait référence à une marque de commerce. Il s'agit d'un échafaudage à tour et à plateforme tel que défini par le CSTC article 1.1.14.2.

Les escabeaux utilisés par les travailleurs rencontrés étaient conformes à la norme *Échelles portatives CAN3-Z11-M81*, classe I. Toutefois, la hauteur sélectionnée n'est pas toujours en lien

avec la hauteur des structures à isoler. L'escabeau utilisé est fréquemment trop court. Nous avons également observé que certains travailleurs montent sur l'avant dernier niveau de celui-ci. Enfin, l'installateur peut effectuer une extension du tronc hors de la portée de l'escabeau pouvant provoquer son déséquilibre, donc une chute potentielle du travailleur.

Étant donné que la pulvérisation de la mousse s'effectue sur des surfaces verticales, à différents niveaux par rapport au sol, il y a un risque de chute de personne ou d'outils. Il était fréquent que l'installateur et son assistant utilisent une plateforme de travail élévatrice automotrice de type ciseaux ou à bras articulé pour les travaux extérieurs qui sont à plus de 3 m du sol. Très peu de travailleurs rencontrés avaient suivi une formation spécifique à l'utilisation de ces équipements. Enfin, le port d'un harnais de sécurité, muni d'un absorbeur d'énergie est recommandé par les bonnes pratiques pour les travailleurs qui prennent place dans tout équipement de levage pour des travaux à plus de 3 m du sol. Nous avons observé que le port de harnais n'est pas régulièrement respecté lors d'utilisation de ces équipements.

En hiver ou lors des vents forts, les travailleurs drapent totalement la plateforme de travail élévatrice automotrice à bras articulé, donnant ainsi emprise au vent (voir figure 4). Toute modification de tels équipements doivent faire l'objet d'approbation tel que stipulé dans la norme *B354.2-01 article 4.24*<sup>15</sup> de l'Association canadienne de normalisation. Pour plus d'information sur les plateformes de travail élévatoires automotrices, consulter le «Guide de bonnes pratiques La pulvérisation de mousse de polyuréthane», publié conjointement par l'IRSST et l'ASP-construction<sup>16</sup>.



**Figure 4 : Abri non conforme sur une plate-forme de travail élévatrice automotrice**

15 {En ligne} <http://www.ccohs.ca/legislation/acnor.html> (Avril 2009).

16 {En ligne} [http://www.asp-construction.org/utilisateur/documents/guide\\_mousse\\_polyurethane.pdf](http://www.asp-construction.org/utilisateur/documents/guide_mousse_polyurethane.pdf) (Avril 2009).

### 5.3.2. Protection respiratoire

Les installateurs portent un appareil de protection respiratoire (APR). Certains portent un APR à épuration d'air à cartouches chimiques, motorisé ou non, ou à adduction d'air. Toutefois, quelques anomalies ont été observées.

Premièrement, la prise d'air de la pompe pour l'APR à adduction d'air est positionnée à l'extérieur du camion sans égard à la direction des gaz d'échappement du camion, contaminant ainsi l'air d'alimentation. De plus, ce dernier n'est pas conforme à la définition d'air respirable; aucune analyse n'est effectuée. Troisièmement, deux travailleurs utilisent le même APR à cartouches chimiques avec demi-pièce faciale, sans un nettoyage, ni un essai d'étanchéité. Généralement, les APR et leurs cartouches chimiques sont remisés sans protection, entre leur utilisation, dans la boîte du camion où les barils de résine et de MDI sont également entreposés. Enfin, d'après l'information colligée auprès des travailleurs, le changement de cartouches s'effectue lorsqu'une odeur est perceptible. Or, les diisocyanates sont inodores. Par contre, les COV de la résine ont une odeur d'éther. Les APR recensés au cours de l'étude sont colligés au tableau 3.

**Tableau 3 : Appareils de protection respiratoire utilisés**

<b>Catégorie d'appareil de protection respiratoire</b>	<b>Installateur</b>	<b>Assistant</b>
Épuration d'air filtre pour aérosols N95 avec demi-pièce faciale	2	
Épuration d'air cartouche chimique avec demi-pièce faciale	7	8
Épuration d'air à filtre à cartouche chimique motorisé avec demi-pièce faciale	1	0
Épuration d'air à filtre à cartouche chimique motorisé avec pièce faciale complète	1	
Approvisionnement d'air sans épuration d'air avec demi-pièce faciale	7	0
Approvisionnement d'air sans épuration d'air avec pièce faciale complète	1	
Port d'aucun APR	0	10

Au cours d'une intervention, le responsable de la SST du chantier a prêté un APR à cartouche à un travailleur qui devait se rendre travaillé à proximité de la zone de pulvérisation. Ce travailleur n'a jamais reçu de formation sur le port d'un APR et ne sait pas comment l'installer adéquatement.

### 5.3.3. Vêtements de protection

Les installateurs ne portant pas un APR avec une pièce faciale complète portent des lunettes de protection. Ils portent également des gants de coton; un seul portait des gants en nitrile en dessous de ses gants de coton.

Quelle que soit la saison, les travailleurs portent fréquemment leurs vêtements de ville (jean et gilet de coton ouaté avec capuchon) sans autre survêtement. Ceux-ci sont couverts de mousse et ne sont pas enlevés pour les périodes de repas, ni pour le transport. Un seul entrepreneur exigeait le lavage quotidien des vêtements dans ses locaux, même si ses travailleurs portaient un survêtement en Tyvex©. Les vêtements de protection portés par les installateurs et les assistants sont énumérés au tableau 4.

**Tableau 4 : Vêtements de protection**

Vêtement	Installateurs	Assistants
De ville sans autre vêtement de protection	7	13
Survêtement en coton sans capuchon incorporé	10	4
Survêtement Tyvex© avec capuchon incorporé	2	1

Deux entrepreneurs demandent le port de survêtement avec capuchon en Tyvex®, un pour l'équipe de travail, l'autre pour l'installateur seulement. À la fin des travaux et pour les périodes de repas, ce survêtement est enlevé.

#### 5.4. Danger ergonomique

Pour couvrir chacune des bandes de surface à isoler, il faut des balayages horizontaux et verticaux répétés (mouvements répétitifs de va-et-vient de la main et du poignet). L'installateur tient d'une main le pistolet (poids approximatif de 1,4 kg [ $\pm$  3 livres]) et applique une pression avec l'index pour produire un jet de mousse. De son autre main, il entraîne le boyau d'alimentation (voir figure 5) et mesure l'épaisseur de la mousse avec la jauge.



**Figure 5 : Pistolet à pulvérisé et son jet (Pierre Charbonneau, photographe)**

L'installateur se maintient en position debout sur le sol ou dans un escabeau, sur le niveau de travail d'équipements de levage, s'agenouille ou s'accroupit avec le dos en flexion. Au cours des mouvements, ses membres supérieurs ne sont pas soutenus et sont souvent au-dessus des épaules. Il est fréquent qu'il ne garde pas son corps au centre des montants de l'escabeau et qu'il se tienne sur les deux derniers niveaux<sup>17</sup>. L'hiver, le boyau devient plus rigide, contraignant davantage les mouvements de l'installateur lors du déplacement de celui-ci. Enfin, les travailleurs subissent des contraintes dues aux conditions climatiques : la chaleur en été, spécialement s'ils portent un survêtement en Tyvex© et le froid en hiver.

17 {En ligne} [http://www.csst.qc.ca/portail/fr/publications/DC\\_400\\_1364\\_6.htm](http://www.csst.qc.ca/portail/fr/publications/DC_400_1364_6.htm) (mars 2009).

Enfin, les principales postures contraignantes observées sont :

- mouvements répétitifs de la main et du poignet;
- élévation de la main au-dessus de la tête ou du coude au-dessus de l'épaule;
- position accroupie avec ou sans flexion du dos, à genoux (voir figure 6).



**Figure 6 : Position accroupie (Pierre Charbonneau, photographie)**

## 5.5. Danger chimique

Le danger chimique décrit dans ce rapport se rapporte uniquement à l'exposition au MDI bien qu'il y ait d'autres solvants utilisés (voir annexe 2). La superficie et l'épaisseur de la mousse, étaient des facteurs influençant la durée des travaux de pulvérisation, qui variaient entre 37 et 48 % d'une journée de travail (8 heures).

Dix équipes de travailleurs ont été suivies sur leur période complète de pulvérisation pour une journée de travail, représentant 50 % des interventions. Tel que mentionné précédemment, les équipes qui n'ont pas été suivies sur leur période complète de pulvérisation, devaient se rendre sur un autre chantier où nous n'avions pas l'autorisation d'entrer. Une brève description des interventions par équipe de travailleurs est résumée au tableau 5.

**Tableau 5 : Description sommaire des interventions par équipe de travailleurs**

<b>Intervention</b>	<b>Installateur</b>	<b>Assistant</b>	<b>Remarque</b>
<b>A</b>	1	25	Journée complète de pulvérisation (extérieur) avec des arrêts fréquents non planifiés, beaucoup de travailleurs sur le chantier dont des soudeurs à proximité de la zone de pulvérisation.
<b>B</b>	2	26	Demi-journée de pulvérisation (extérieur).
<b>C</b>	3	27	Journée complète de pulvérisation (extérieur).
<b>D</b>	4	*	Demi-journée de pulvérisation (intérieur avec plusieurs ouvertures non fermées donc conditions comparables à celles de travaux extérieurs).
<b>E</b>	5	*	Demi-journée de pulvérisation (intérieur).
<b>F</b>	6	**	Journée complète de pulvérisation (intérieur) sur trois étages d'une résidence, dont un vide sanitaire.
<b>G</b>	7	**	Demi-journée de prélèvement (extérieur). Les travailleurs vont sur un autre chantier (intérieur) où la zone à pulvériser est difficile d'accès pour nos trains de prélèvement.
<b>H</b>	8	**	Demi-journée de prélèvement.
<b>I</b>	8	**	Journée écourtée à cause de conditions climatiques et ce, pour les deux équipes.
<b>I</b>	9	37	Journée écourtée à cause de conditions climatiques et ce, pour les deux équipes.
<b>J</b>	12	30	Journée complète (intérieur) scellage des ceintures.
<b>K</b>	12	30	Journée complète (intérieur) scellage des ceintures.
<b>L</b>	13	**	Journée complète (extérieur).
<b>M</b>	13	**	Demi-journée (extérieur).
<b>N</b>	14	32	Demi-journée de prélèvement (intérieur). Les travailleurs vont sur un autre chantier.
<b>O</b>	15	**	Demi-journée (extérieur) écourtée à cause de conditions climatiques.
<b>P</b>	16	33	Demi-journée de prélèvement (extérieur). Les travailleurs vont sur un autre chantier.
<b>Q</b>	17	39	Deux chantiers (scellage de ceintures). Les travailleurs pulvérisent : un en AM, l'autre en PM.
	18	38	
<b>R</b>	19	34	Demi-journée (intérieur).
<b>S</b>	19	34	Demi-journée (intérieur). Les deux travailleurs pulvérisent en alternance.
	20	35	
<b>T</b>	21		Journée complète, deux chantiers (intérieur) dont un scellage de ceintures.

\* : Pas d'assistant.

\*\* : L'assistant travaille à plus de 10 m de la zone pulvérisation.

### 5.5.1. Résultats analytiques et concentrations moyennes de MDI

Les résultats analytiques des prélèvements en poste fixe sont colligés à l'annexe 3. Le débit des pompes, mesuré à l'aide d'un débitmètre électronique, n'avait pas varié de plus de 5 % au cours des prélèvements. Le nombre de prélèvements, les plages de mesure et la médiane par zone sont :

#### A. Zone de pulvérisation :

- 47 concentrations moyennes de MDI (94 prélèvements) pour une plage de concentrations de MDI monomère de 11 à 591  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (moyenne arithmétique : 114,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et médiane : 54,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et des oligomères 3 à 330  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (moyenne arithmétique : 59,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et médiane : 20,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );

#### B. Zones hors pulvérisation :

- **Assistants** : 24 prélèvements pour une plage de concentrations de MDI monomère de < 1 à 170  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (moyenne arithmétique : 67,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et médiane : 45,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et des oligomères < 1 à 99  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (moyenne arithmétique : 33,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et médiane : 24,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );
- **Périphérie autres travailleurs** : 29 prélèvements pour une plage de concentrations de MDI vapeurs HS monomère de < 1 à 11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (médiane : 0,14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );

#### C. Post-pulvérisation :

- 30 prélèvements (22 sur l'étage des travaux de pulvérisation et 8 sur un autre étage) pour une plage de concentrations de MDI vapeurs HS monomère de < 0,01 à 2,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Bien qu'il ne s'agisse pas de l'exposition des travailleurs, l'équivalent de l'exposition quotidienne moyenne (EQM) a été calculée en considérant qu'il n'y avait pas d'exposition au MDI pour les périodes n'ayant pas fait l'objet de prélèvement. Ce calcul s'effectue à l'aide de l'équation 1, citée dans le RSST. La concentration moyenne s'effectue à l'aide de la même équation, mais le dénominateur correspond à la durée totale des prélèvements pour une période de pulvérisation ayant fait l'objet de l'intervention. Cette durée est inscrite à la colonne intitulée «Durée» des tableaux 6 et 7.

$$\text{EQM} = \frac{C_1t_1 + C_2t_2 + \dots + C_nt_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad \text{Équation 1}$$

Où : C = concentration mesurée de MDI pour une période donnée;

t = temps d'exposition au MDI correspondant à la concentration mesurée;

1, 2, ..., n = Prélèvements au cours de l'intervention;

$t_1 + t_2 + \dots + t_n$  = 8 heures ou 480 minutes ou durée totale des prélèvements.

Les concentrations moyennes correspondant à une EQM et les concentrations moyennes des prélèvements dans la zone de pulvérisation sont colligées par installateur au tableau 6 et celles dans la zone hors pulvérisation correspondant à la zone de travail des assistants au tableau 7. Les lignes en caractère gras correspondent aux équipes suivies sur une journée complète. Rappelons qu'il s'agit alors de la période complète de pulvérisation pour cette équipe.

**Tableau 6 : Zone de pulvérisation : Concentrations moyennes de MDI par installateur**

Installateur *	Localisation des travaux	Durée (min)	EQM de MDI ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Concentration moyenne des prélèvements de MDI ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
			Monomère	Oligomères	Monomère	Oligomères
1	Extérieur	211	17,3	12,6	39,3	28,7
2	Extérieur	68	4,3	2,1	30,0	15,0
3	Extérieur	252	31,9	11,9	60,7	22,6
4	Intérieur	176	14,0	6,4	38,0	17,6
5	Intérieur	158	31,8	11,7	96,5	35,6
6	Intérieur	216	48,1	22,8	106,8	50,6
7	Extérieur	95	14,0	7,8	70,8	39,2
8a	Extérieur	161	3,7	1,4	11,0	4,1
8b	Extérieur	175	7,8	5,6	21,3	15,3
9	Extérieur	211	36,8	18,7	83,6	42,5
12a	Intérieur	216	10,9	5,1	24,1	11,3
12b	Intérieur	226	13,3	6,3	28,2	13,4
13a	Extérieur	257	20,3	5,4	38,0	10,1
13b	Extérieur	125	19,6	10,4	75,1	40,1
14	Intérieur	117	76,4	46,0	313,5	188,6
15	Extérieur	42	0,3	0,3	3,8	3,3
16	Extérieur	147	6,6	3,7	21,7	12,1
17	Intérieur	115,5	11,5	5,2	47,9	21,7
18	Intérieur	119	34,7	16,3	140,1	65,6
19a	Intérieur	243	243,2	134,9	480,5	266,5
19b **	Intérieur	288	209,0	113,1	347,1	187,9
20 **	Intérieur	54	13,1	7,8	116,2	69,1
21	Intérieur	141	38,9	14,6	132,3	49,6

**Tableau 7 : Hors zone de pulvérisation : Concentrations moyennes de MDI par assistant**

Assistant *	Localisation des travaux	Durée (min)	EQM de MDI ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Concentration moyenne des prélèvements de MDI ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
			Monomère	Oligomères	Monomère	Oligomères
25	Extérieur	236	17,9	11,6	36,5	23,6
26	Extérieur	68	4,3	2,1	30,0	15,0
27	Extérieur	190	13,0	5,2	50,0	20,0
30a	Intérieur	225	1,5	0,3	3,1	0,7
30b	Intérieur	151	4,0	1,8	12,7	5,6
33	Extérieur	147	6,6	3,7	21,7	12,1
34a	Intérieur	246	51,6	29,5	100,7	57,5
34b **	Intérieur	289	93,7	52,9	155,6	87,9
35 **	Intérieur	51	9,4	6,3	88,0	60,0
36	Intérieur	143	30,2	9,9	101,5	33,1
37	Extérieur	211	36,8	18,7	83,6	42,5

\* Le numéro d'un installateur ou d'un assistant peut être répété s'il était présent lors des deux interventions.

\*\* L'installateur et l'assistant pulvérisaient à tour de rôle sur les deux chantiers visités cette journée-là.



Les installateurs 4 et 5 travaillent seuls. Les assistants 28, 29, 31 et 32 travaillent éloignés de la zone de pulvérisation. Les travailleurs d'une équipe se partagent la période de pulvérisation : l'installateur 19b devient l'assistant 35 et l'installateur 20 l'assistant 34b.

Les moyennes des concentrations par zone correspondant à celle de l'installateur et de son assistant sont résumées au tableau 8. Les moyennes des concentrations des travaux par zone pour les travaux intérieurs sont colligées au tableau 9.

**Tableau 8 : Moyenne des concentrations de MDI par zone par localisation/saison**

Localisation des travaux :		Intérieur		Extérieur	
Saison :		Hiver	Été	Hiver	Été
Zone	Aérosols+vapeurs	Moyenne des concentrations de MDI (µg/m <sup>3</sup> )			
Pulvérisation (installateur)	monomère	93,0	206,7	43,0	48,2
	oligomères	50,7	106,1	20,0	26,3
Zone de travail assistant	monomère	12,5	90,8	53,6	41,8
	oligomères	5,5	45,7	28,6	25,1

**Tableau 9 : Moyenne des concentrations de MDI par zone pour les travaux intérieurs**

Zone	MDI	Moyenne des concentrations (µg/m <sup>3</sup> )	
	Aérosols+vapeurs	Isolation	Scellage
Pulvérisation (installateur)	monomère	288,7	83,3
	oligomères	151,1	43,1
Zone de travail assistant	monomère	135,6	27,3
	oligomères	71,8	10,5

Les moyennes des concentrations de MDI dans la zone hors de pulvérisation (zone de travail des travailleurs d'autres corps de métier) par étage par rapport aux travaux sont colligées au tableau 10.

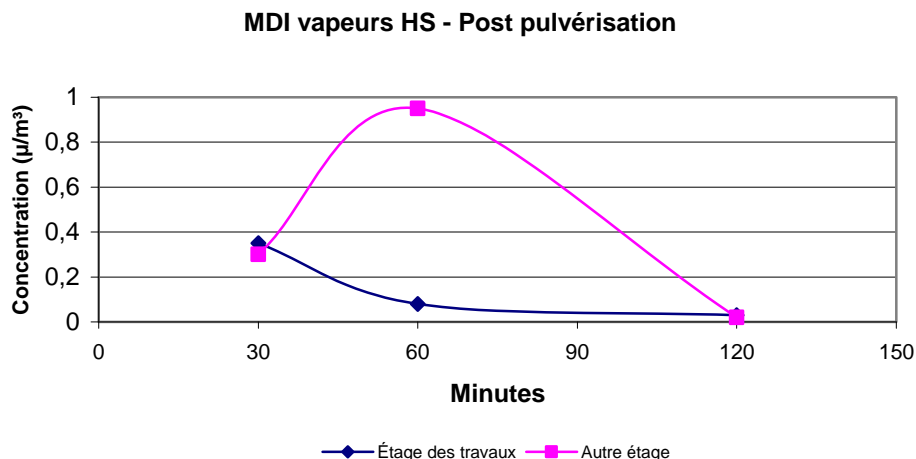
**Tableau 10 : Moyenne des concentrations de MDI dans la zone hors de pulvérisation**

MDI	Moyenne des concentrations (µg/m <sup>3</sup> )	
	Même étage	Autre étage
Aérosols+vapeurs : monomère	20,0	--
Aérosols+vapeurs : oligomères	10,7	--
Vapeurs monomère haute sensibilité	1,9	2,0

Les moyennes des concentrations de MDI monomère vapeurs HS pour les prélèvements post-pulvérisation sont colligées au tableau 11 et illustrées graphiquement à la figure 7.

**Tableau 11 : Moyenne des concentrations de MDI monomère : post-pulvérisation par étage**

Prélèvement post-pulvérisation	Moyenne des concentrations vapeurs HS de MDI (µg/m <sup>3</sup> )	
	Étage des travaux	Autre étage
30 minutes	0,35 µg/m <sup>3</sup>	0,30 µg/m <sup>3</sup>
60 minutes	0,08 µg/m <sup>3</sup>	0,95 µg/m <sup>3</sup>
120 minutes	0,03 µg/m <sup>3</sup>	0,02 µg/m <sup>3</sup>



**Figure 7 : Moyennes des concentrations de MDI monomère des prélèvements post-pulvérisation**

Les paramètres ciblés (EQM et concentrations moyennes de MDI monomère et oligomères) ont été analysés statiquement en fonction de déterminants pouvant modifier l'exposition au MDI dans la zone de pulvérisation et celle de l'assistant. Pour ce faire, nous avons regardé si les groupes étaient similaires (GES) au regard de ce qui suit :

- I. Si une distribution de plus de cinq données est log normale et a un écart type géométrique (GSD) inférieur à  $3^{18}$ , le groupe pour ce déterminant serait relativement similaire.
- II. Si le 95<sup>ième</sup> percentile de la distribution est plus grand que la VEA du MDI, il y aurait risque d'exposition avec une certaine fraction de dépassement de la VEA, pour une probabilité de l'ordre de 5 %.

Certaines distributions de déterminants ayant moins de cinq données ne sont pas mentionnées dans les tableaux de l'annexe 4.

### **5.5.2. Autres risques d'exposition**

D'après les fiches signalétiques, il y a présence d'autres substances chimiques (voir annexe 2) qui n'ont pas fait l'objet de prélèvement. Les travailleurs ne portent pas de gants lors de l'utilisation de ces produits dont certaines substances sont classées comme ayant des effets percutanés.

Une projection dans les yeux ou sur la peau de liquide contenant du MDI ou autres solvants peut se produire, notamment lors de transfert du système d'aspiration du baril vide à un plein (tâche observée une fois), lors de vidage de solution résiduelle du baril, etc. Une équipe avait en sa possession une douche oculaire portative.

<sup>18</sup> IHSTAT utilise un GSD inférieur à 2,5.

## 6. DISCUSSION

L'étude couvre différents chantiers (voir section 5.1), distincts les uns des autres, notamment par les travaux à effectuer (isolation de murs ou scellage des ceintures), par leur localisation (intérieur ou extérieur), par la saison (été ou hiver), par la superficie de l'étage des travaux, par l'organisation du travail (installateur ou installateur – assistant). De plus, la technique de pulvérisation des installateurs est fonction de leur expérience professionnelle. Certains ont suivi le programme d'entraînement prescrit par la CUFCA, d'autres iront lorsqu'ils auront atteint le nombre d'heures nécessaires. Ces variables spécifiques aux chantiers et aux équipes de travailleurs affectent les résultats de l'étude et limitent leur portée.

Les résultats rapportés dans ce rapport sont représentatifs des conditions prévalant lors des journées d'intervention sur les chantiers visités en fonction des travaux exécutés.

### 6.1. Organisation du travail

Au cours d'une journée, une équipe de travailleurs peut œuvrer sur plus d'un chantier. Il y a alors une période plus longue de transport (d'un chantier à l'autre). Les travaux à exécuter peuvent être distincts d'un chantier à l'autre : isolation de murs extérieurs, de murs intérieurs (sous-sol ou à l'étage) ou scellage de ceintures.

### 6.2. Pratiques de santé et sécurité

Dans les cas d'entrée en espace clos, les travailleurs doivent avoir la formation recommandée sur les dangers et sur les risques ainsi qu'avoir à proximité les équipements en permanence pour assurer leur sortie en cas d'urgence. Rappelons que dans le cas rencontré, les travailleurs n'ont pas cette formation.

#### 6.2.1. Équipements de levage

En utilisant un escabeau d'hauteur insuffisante et en montant sur le dernier niveau, le travailleur est ainsi en position instable et risque de perdre l'équilibre. La figure 8 illustre la position du corps sur un échelon de l'escabeau.



**Figure 8 : Positionnement du travailleur sur un échelon de l'escabeau (Pierre Charbonneau, photographe)**

Même s'il n'y a pas d'obligation légale stricte, les **bonnes pratiques en SST** conseillent le port du harnais contre les chutes de hauteur de plus de 3 mètres avec toute plateforme de travail élévatrice automotrice, car le garde-corps de celui-ci (de type ciseaux, à bras articulé) ne protège pas le travailleur entre autres d'un éventuel coup de fouet généré par un bris mécanique, par une collision, etc. Le fait que les travailleurs n'avaient pas suivi la formation sur ces équipements de levage peut expliquer le non respect de cette règle de bonnes pratiques.

Le vent peut avoir une emprise sur l'abri (voir figure 4) monté sur l'équipement de levage. Cette protection doit être enroulée sur les membrures et les traverses du système du garde-corps (figure 9), car elle sert à protéger l'équipement et non à permettre l'exécution des travaux malgré les conditions climatiques.



**Figure 9 : Protection des membrures et traverses d'un équipement de levage**

### **6.2.2. Équipements de protection**

Théoriquement, aucun travailleur ne devrait être présent dans la zone de pulvérisation à moins qu'il ne porte les équipements personnels appropriés dont un APR correctement ajusté fournissant de l'air frais. Au regard du tableau 3, aucun assistant rencontré ne portait un tel APR lorsqu'ils étaient dans cette zone, notamment les assistants 26 et 33 qui étaient dans l'équipement de levage.

Une formation spécifique aux APR (leur utilisation, leur entretien, l'étanchéité, etc.) doit être offert aux travailleurs afin qu'ils puissent porter les APR de façon adéquate.

Toute personne près de la zone de pulvérisation doit porter les équipements de protection appropriés. Les travaux devraient être annoncés par une affiche disposée à l'entrée du chantier. Il est également possible de mentionner dans les contrats qu'aucun travailleur n'entre dans la zone de pulvérisation sans le port d'équipements de protection, tel que spécifié dans la norme<sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup> La norme CAN/ULC S705.2 fixe les exigences pour les conditions environnementales et autres documentations pertinentes pour la pulvérisation.

Compte tenu de l'état des connaissances sur l'exposition par voie cutanée des diisocyanates, il serait souhaitable de porter des vêtements de protection au matériau approprié afin de protéger les travailleurs. Le Service du répertoire toxicologique (REPTOX) de la CSST<sup>20</sup> recommande le port de gants en polyéthylène/alcool de vinyle et d'éthylène/polyéthylène (PE/EVAL/PE) et de vêtements de protection étanches couvrant tout le corps en Barricade®.

En plus de la CSST, d'autres organismes suggèrent des pratiques de SST lors de la pulvérisation de produit à base d'isocyanates. À titre d'exemple, mentionnons le Work Safe Alberta<sup>21</sup> qui recommande le port d'un APR avec une pièce faciale complète ou des lunettes-masque étanches pour la protection des yeux, le port d'une combinaison pour la protection des bras et des jambes et des gants résistants, sans spécifier le matériau.

### 6.3. Danger ergonomique

L'adoption d'une posture rigide pour demeurer en position stable dans un escabeau peut causer un stress important aux muscles du dos, plus particulièrement lorsque le travailleur est sur l'avant dernier niveau. L'accès à ce niveau n'est pas recommandé. De plus, la surface d'appui étroite ne permet pas à l'installateur de faire pivoter ses pieds; il peut y avoir rotation du tronc et risque de perdre l'équilibre.

### 6.4. Danger chimique

Compte tenu que les installateurs portaient un APR et que les trains de prélèvement utilisés comprenaient un barboteur contenant une solution collectrice, les prélèvements ont été effectués en poste fixe. Rappelons que les résultats obtenus représentent la contamination dans les zones de travail et non l'exposition des travailleurs.

#### 6.4.1. Concentration de MDI dans la zone de pulvérisation

La moyenne des concentrations de MDI dans la zone de pulvérisation, toutes catégories de chantiers confondus, dépasse la VEA québécoise d'environ 2,3 fois et dans celle hors pulvérisation (zone de travail des assistants) d'environ 1,3 fois. Prenons à titre d'exemple l'installateur 14 où dans la zone de pulvérisation sur le premier chantier visité, il y a, une concentration moyenne de 313,5 µg/m<sup>3</sup>, plus de six fois la VEA et une EQM de 76,4 µg/m<sup>3</sup>. Quelle que soit la durée de pulvérisation sur le deuxième chantier, il y a dépassement de la VEA sur le premier chantier en estimant une concentration nulle pour ce deuxième chantier.

Examinons les résultats pour les équipes installateur-assistant qui pulvérisent à tour de rôle (tableau 12). L'EQM correspondant aux zones pour l'installateur 19b-assistant 35 est 217,6 µg/m<sup>3</sup>, pour celle de l'installateur 20-assistant 34b 106,7 µg/m<sup>3</sup>.

---

20 {En ligne}.

{[http://www.reptox.csst.qc.ca/Produit.asp?no\\_produit=12393&nom=Diisocyanate%2D4%2C4%27+de+diph%E9nylm%E9thane+%28MDI%29](http://www.reptox.csst.qc.ca/Produit.asp?no_produit=12393&nom=Diisocyanate%2D4%2C4%27+de+diph%E9nylm%E9thane+%28MDI%29)} (Avril 2008).

21 {En ligne} [http://employment.alberta.ca/documents/WHS/WHS-PUB\\_ch005.pdf](http://employment.alberta.ca/documents/WHS/WHS-PUB_ch005.pdf) {Décembre 2008}

**Tableau 12 : Concentrations moyennes de MDI forme monomère par tâche**

Équipe	Durée (min)	Concentration de MDI lors de la pulvérisation	Durée (min)	Concentration de MDI lors des tâches d'assistant	EQM ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
19b-35	288	347,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	51	88,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	217,6
20-34b	54	116,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	289	155,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	106,7

La période où l'installateur 19b exécute les tâches d'assistant est plus courte (51 minutes) par rapport à celle où il a pulvérisé (288 minutes). Lors de l'exécution des tâches d'assistant, les travailleurs ne portent pas de protection respiratoire et les concentrations de MDI monomère rapportées sont 1,7 et 3,1 fois au dessus de la VEA. L'assistant doit porter un APR.

Tel que mentionné précédemment, les assistants se tiennent parfois dans la zone de pulvérisation. À titre d'exemple, l'assistant 37 est présent avec l'installateur 9 sur la plateforme où un abri a été monté (figure 4). La concentration moyenne de MDI sous cet abri est de 83,64  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , soit 1,6 fois la VEA. Il est fréquent que l'assistant présent sur un équipement de levage ne porte aucun APR, alors que nos résultats démontrent de fortes concentrations de MDI. Prenons le cas de l'installateur 16 (avec port d'un APR) et son assistant 33 (sans port d'APR). Leur EQM calculé tient compte uniquement des travaux sur le premier chantier qu'ils ont visité la journée de notre intervention.

Les concentrations de MDI pour les travaux exécutés en été sont plus élevées que ceux réalisés en hiver (tableau 8) et celles au cours de travaux intérieurs d'isolation correspondraient pour la zone de pulvérisation à 5,7 fois la VEA et pour celle de l'assistant à 2,7 (tableau 9). Des hypothèses peuvent être avancées dont la superficie de l'étage des travaux, l'épaisseur et la quantité de la mousse pulvérisée, l'expérience de l'installateur.

Les études mentionnées précédemment ont obtenu des résultats pour l'installateur variant de 17 à 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,3 à 7,8 de la VEA québécoise). Nos résultats en poste fixe dans la zone de pulvérisation varient de 11 à 591  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,2 à 11,6 de cette VEA). Ils sont comparables à ceux rapportés dans la littérature.

En conclusion, les concentrations dans la zone de pulvérisation pour les travaux intérieurs sont les plus élevées, spécialement en été. Celles obtenues lors de travaux extérieurs sont équivalentes en été comme en hiver.

#### **6.4.2. Concentration de MDI hors zone de pulvérisation**

La moyenne des concentrations de la zone des assistants est moindre que celle dans la zone de pulvérisation,  $\pm 1,7$  fois (voir annexe 3). Les études mentionnées précédemment avaient obtenu des résultats pour l'assistant de 10 à 310  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,2 à 6,1 de cette VEA). Nos résultats pour la zone des assistants de 2 à 170  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,04 à 3,3 de la même VEA) sont moindres que ceux rapportés dans celles-ci.

Dans les zones correspondant aux travailleurs des autres corps de métier, les moyennes des résultats analytiques de MDI monomère vapeurs HS sont faibles,  $\pm 3,8$  % de la VEA (tableau 10). Dans ces zones, plus ou moins éloignées de la pulvérisation, la probabilité de présence d'aérosols est faible, si ce n'est une pulvérisation accidentelle hors cible. L'absence de travailleurs d'autres corps de métier réduit leur risque d'exposition au MDI, tel que prescrit dans le RSST qui mentionne la réduction au minimum. Il est donc souhaitable que l'offre de service mentionne

qu'aucun travailleur ne soit présent dans la zone de pulvérisation sans port d'équipements de protection.

En conclusion, les assistants qui se tiennent hors de la zone de pulvérisation sont en contact avec des aérosols de MDI en moins grande quantité. Les travailleurs des autres corps de métier situés hors de la zone de pulvérisation (> 10 m) sont en contact avec de faibles concentrations de MDI monomère vapeur ( $\pm 4\%$  de la VEA).

### 6.4.3. Concentration de MDI post-pulvérisation

Les résultats de MDI vapeurs HS des prélèvements post-pulvérisation (tableau 11) variaient de la limite de quantification analytique à  $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ce dernier résultat est obtenu dans la première heure suivant la fin de la pulvérisation, alors que le résultat pour l'heure suivante était de  $0,013 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Il y aurait une concentration moyenne de  $0,029 \mu\text{g}/\text{m}^3$  deux heures après la fin de la pulvérisation ( $\leq 0,01\%$  de la VEA).

Le plus haut résultat rapporté dans l'étude de Lesage et al. (2007) a été de  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans les 15 premières minutes suivant la fin de la pulvérisation. Par contre, la très grande majorité des résultats post-pulvérisation (sauf quatre) de cette étude est sous la limite de quantification analytique de  $0,036 \mu\text{g}$ . En fait, tous les résultats après une heure sont sous cette limite. La différence entre les résultats de cette étude et les nôtres réside principalement dans la limite de quantification des méthodes analytiques (HS : voir tableau 2). En effet, la limite de quantification analytique pour le MDI vapeur de monomère analysée selon la méthode haute sensibilité de l'IRSST est  $0,00075 \mu\text{g}$  alors que celle de l'étude de Lesage et al. (2007) est de  $0,036 \mu\text{g}$  pour le monomère.

Les bonnes pratiques suggérées suite aux situations observées au cours de l'étude sont résumées au tableau 13.

**Tableau 13 : Bonnes pratiques recommandées et mauvaises pratiques observées**

Norme/recommandation/ bonnes pratiques	Mauvaises pratiques observées	
Bonnes pratiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enroulement de la pellicule plastique autour des membrures</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fabrication d'abri temporaire sur les équipements de levage</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protection des APR dans un sac hermétique</li> <li>• Test d'étanchéité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ APR et cartouches mal remisés</li> <li>✓ Pas de test d'étanchéité</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interdiction de la présence d'autres personnes stipulée sur l'offre de service</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Présence de travailleurs d'autres corps de métier</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Port de harnais contre les chutes de hauteur avec absorbeur d'énergie s'il y a possibilité d'une chute de plus de 3 m quel que soit l'équipement utilisé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Peu ou pas de port de harnais</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauteur de l'escabeau par rapport à la localisation des travaux <a href="http://www.csst.qc.ca/portail/fr/publications/DC_400_1364_6.htm">http://www.csst.qc.ca/portail/fr/publications/DC_400_1364_6.htm</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Utilisation d'escabeau d'une hauteur inappropriée à celle des travaux</li> <li>✓ Debout sur l'avant dernier niveau</li> <li>✓ Corps projeté hors du centre des montants</li> </ul>
CSST, Service du répertoire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Port de gants en PE/EVAL/PE et de vêtements de protection</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pas de gants en nitrile sous les gants de coton</li> </ul>

<b>Norme/recommandation/ bonnes pratiques</b>		<b>Mauvaises pratiques observées</b>
toxicologique (REPTOX)	étanches couvrant tout le corps en Barricade®	✓ Peu de survêtement en Tyvex®
CSST-IRSST, Guide pratique de protection respiratoire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• APR adduction d'air,</li> <li>• Si pas survêtement avec capuchon, cagoule et adduction d'air</li> </ul>	✓ APR adduction d'air peu utilisé par les installateurs
Norme CAN/ULC-S705.2 de Underwriters' Laboratories of Canada (ULC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Port de gants, de combinaison avec capuchons, de lunettes-masque ou de protection ainsi que chaussures de sécurité et casque de sécurité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pas de gants en nitrile ou autre matériau approprié</li> <li>✓ Pas de survêtement de type Tyvex® avec capuchon</li> <li>✓ Fréquemment pas de casque de sécurité</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programme d'entraînement des installateurs</li> </ul>	✓ Avant de suivre le programme, un nombre d'heures de pulvérisation est demandé
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protéger la mousse de la chaleur et des étincelles par une barrière thermique, s'il y a des sources d'inflammation près la zone de pulvérisation.</li> </ul>	✓ Absence de protection
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Affiche annonçant les travaux de pulvérisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Absence d'affiche</li> <li>✓ Présence de travailleurs</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Présence d'aucun travailleur dans la zone de pulvérisation sans port d'APR, lunettes de protection</li> </ul>	✓ Présence de travailleurs dans la zone de pulvérisation sans port d'équipements de protection
RSST article 264 CSTC article 2.9.1 CAN/CSA Z259.10-M90	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Port de harnais contre les chutes de hauteur avec absorbeur d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Non respect</li> <li>✓ Pas de formation sur l'utilisation des équipements de levage</li> </ul>
RSST article 48 Norme CAN3Z180.1-M85	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse de l'air une fois par an.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Air non conforme (pas analysé)</li> <li>✓ Air potentiellement contaminé par des gaz d'échappement</li> </ul>
RSST articles 1, 297 à 302, 306 CSTC article 1.1.17.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espace clos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Absence de formation sur les dangers et les risques, de relevés des concentrations, etc.</li> <li>✓ Volet absent dans le programme d'entraînement des installateurs</li> </ul>
Polyurethane MDI Handbook <sup>22</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne pas manger ou boire dans un endroit où le MDI est manipulé ou entreposé.</li> </ul>	✓ Pas respecté

#### 6.4.4. Analyse statistique

Au regard de l'analyse statistique (annexe 4), il y a risque d'exposition au MDI pour la tâche "installateurs" lors de travaux intérieurs en été. Les travaux "extérieur" en "été" pour l'"assistant"

22 {En ligne}. {[http://www2.basf.us/urethanechemicals/Specialty\\_Systems/pdfs/2000mdihandbook.pdf](http://www2.basf.us/urethanechemicals/Specialty_Systems/pdfs/2000mdihandbook.pdf)} (Novembre 2008).



seraient moins à risque d'exposition au MDI monomère si celui-ci se tient hors de la zone de pulvérisation.

Il y a une grande variabilité dans la majorité des distributions de déterminant pour les deux paramètres, car :

- 1) L'EQM ne correspondait pas toujours à une période complète de pulvérisation. Certaines équipes se rendaient sur un 2<sup>ième</sup> chantier où il n'y avait pas eu de prélèvement.
- 2) L'EQM et les concentrations moyennes pour une intervention varient selon l'aptitude de l'installateur et son expérience, d'un travailleur à l'autre pour la même tâche, pour une même localisation et une même saison.
- 3) L'EQM et les concentrations moyennes pour une intervention correspondent à une productivité différente selon le chantier et les travaux, selon les conditions climatiques ainsi que selon le volume du bâtiment ("intérieurs"). Les travaux sont fréquemment différents d'une journée à l'autre et varient selon les spécificités propres aux demandes du client, notamment.
- 4) Les EQM et les concentrations moyennes de la tâche "assistant" sont le reflet de la variabilité de leurs pratiques professionnelles. Certains entrent ou se tiennent dans la zone de pulvérisation, d'autres non.
- 5) L'EQM et les concentrations moyennes pour une intervention varient d'un installateur à l'autre, compte tenu de leur aptitude et de leur expérience professionnelle.

Comme mentionné précédemment, seule la forme monomère des isocyanates est réglementée dans le RSST bien que les oligomères soient reconnus scientifiquement comme étant toxiques (section 2 : Problématique et état des connaissances). Le Royaume-Uni, via le HSE, est un pays qui s'est doté d'une valeur de référence reflétant l'ensemble des fonctions isocyanates et tenant compte des données scientifiques sur la toxicité des oligomères. Il serait pertinent de reconsidérer la VEA québécoise afin de tenir compte de l'ensemble des fonctions isocyanates.

## 6.5. Autres risques d'exposition

Étant donné que plusieurs des produits utilisés ont des effets par contact avec la peau, le port de gant est recommandé, car des irritations et des inflammations peuvent résulter, selon les quantités et la fréquence d'utilisation. Pour les cas de projection, les travailleurs pourraient avoir une trousse contenant une douche oculaire portative et de l'eau embouteillée pour se rincer les mains et le visage.

## 6.6. Recommandations

Différentes avenues peuvent conduire à la maîtrise des facteurs de risque d'exposition au MDI notamment en informant les travailleurs sur :

- les dangers chimiques lors de manipulation d'isocyanates (asthme professionnel et dermatite de contact);
- le port d'APR à adduction d'air pour l'installateur et l'assistant s'il se tient dans la zone de pulvérisation;
- l'entreposage adéquat des cartouches et du APR;

- le port de vêtements de protection adéquat (gants en nitrile ou PE/EVAL/PE et salopette avec capuchon en Tyvex© ou Barricade©);
- les dangers et les risques liés aux espaces clos (travailleur qualifié, surveillance environnementale, surveillant, etc.);
- le port de gants en matériau approprié aux solvants présents dans le produit utilisé (consultation des fiches signalétiques);
- Le port de harnais contre les chutes de hauteur lors de l'utilisation d'équipements de levage.

Ces informations devraient, entre autres, être diffusées dans le cadre du programme d'entraînement et faire l'objet de rappel périodique.

En résumé, une des particularités de l'étude réside dans la variété des situations de travail observées lors de la pulvérisation de mousse polyuréthane. Les sources d'incertitudes des résultats rapportées sont principalement liées aux fluctuations environnementales qui sont plus grandes que celles liées aux prélèvements et à l'analyse en laboratoire; ces dernières sont faibles voire négligeables par rapport aux autres. La hauteur des bandes de pulvérisation variait continuellement alors que celle des trains de prélèvements demeurait fixe à  $\pm 1,5$  m du sol (équivalent à la zone respiratoire de l'installateur lors de pulvérisation dans les sections médianes). En effet, l'installateur pulvérisait la partie supérieure, médiane et basse de chaque bande. De plus, les trains étaient positionnés de chaque côté de l'installateur afin de ne pas nuire aux travaux et aux déplacements du travailleur et de son équipement. Ces déplacements, par rapport aux positionnements des trains avaient un impact sur les concentrations obtenues dans chacun des trains entourant la zone de pulvérisation. Deuxièmement, les fluctuations environnementales sont fonction du type de chantier (commercial, résidentiel) et de leur superficie, des particularités des travaux (isolation de murs, scellage), de leur localisation, de la saison, des façons de faire et de l'expérience de l'installateur.

## 7. CONCLUSION

Les résultats de cette étude sont relatifs à l'environnement immédiat des travailleurs et non à leur exposition. Les zones de travail des travailleurs affectés aux travaux d'isolation par pulvérisation de mousse polyuréthane, particulièrement dans la zone de pulvérisation, sont exposés au MDI forme monomère pouvant excéder la VEA québécoise ainsi qu'aux oligomères. Compte tenu des résultats, ces travailleurs doivent porter un appareil de protection respiratoire (APR) à adduction d'air. L'air d'alimentation doit rencontrer les exigences de la norme. Les travailleurs doivent également se protéger contre le contact avec la peau par des gants et des survêtements avec capuchon et ce, même s'il n'y a pas consensus sur la sensibilisation par l'exposition cutanée au MDI dans la littérature.

Les travailleurs présents à proximité de la zone de pulvérisation sont à risque d'être exposés à des vapeurs de MDI. Il serait alors pertinent d'éviter tous travaux à proximité de celle-ci. Une affiche doit annoncer les travaux et l'obligation du port d'équipements de protection.

Les prélèvements post-pulvérisation ont démontré qu'il y a présence de vapeurs résiduelles de MDI monomère pendant une période d'environ deux heures. Toutefois, ces concentrations sont faibles ( $\leq 0,01$  % de la VEA).

En plus du danger chimique, l'étude a permis de pointer des pratiques de santé et sécurité à modifier et des faiblesses relatives à ce volet des travaux dans le programme d'entraînement des installateurs. Les organismes qui dispensent la formation aux installateurs de mousse devraient intégrer tous les aspects de la SST avec plus de rigueur, particulièrement lors de l'émission de la carte de chantier et ce, pour tous les travailleurs de chantier de construction. Mentionnons à nouveau l'utilisation de plateforme élévatrice automotrice avec port de harnais contre les chutes de hauteur, la protection respiratoire et cutanée et la présence d'autres travailleurs. À partir des résultats de l'étude, un guide des bonnes pratiques sera rédigé conjointement avec l'ASP-Construction<sup>23</sup>.

---

23 {En ligne} [http://www.asp-construction.org/utilisateur/documents/prevenir-aussi/prevenir\\_printemps2009.pdf](http://www.asp-construction.org/utilisateur/documents/prevenir-aussi/prevenir_printemps2009.pdf) (Avril2009)



## BIBLIOGRAPHIE

- ABECASSIS, JC. « Les mousses rigides de polyuréthane projetées : leur application au B.T.P » Cahier des comités 1990 p 25-29.
- AMERICAN INDUSTRIAL HYGIENE ASSOCIATION (AIHA) Logiciel IHSTAT V.1.01, décembre 2007 {En ligne} <https://www.aiha.org/1documents/committees/EASC-IHSTAT.xls> {Janvier 2009}.
- ALBERTA HUMAN RESOURCES AND EMPLOYMENT, The People & Workplace Department. « Isocyanates at Work Site » Workplace Health and safety Bulletin CH005-Chemical hazards, Janvier 2004.p. 12 {En ligne} [http://employment.alberta.ca/documents/WHS/WHS-PUB\\_ch005.pdf](http://employment.alberta.ca/documents/WHS/WHS-PUB_ch005.pdf) {Décembre 2008}.
- ALLIANCE FOR THE POLYURETHANES INDUSTRY (API). « Model respiratory Protection Programm for Compliance with the occupational Safety and health Administration's Respiratory Protection Standard 29 CFR § 1910.134 » API AX 246, mars 2001, p. 23. {En ligne} {[http://www.polyurethane.org/s\\_api/bin.asp?CID=884&DID=3990&DOC=FILE.PDF](http://www.polyurethane.org/s_api/bin.asp?CID=884&DID=3990&DOC=FILE.PDF)} (Décembre 2008).
- BASF CORPORATION. « Polyurethane MDI Handbook », février 2000. p. 31. {En ligne} {[http://www2.basf.us/urethanechemicals/Specialty\\_Systems/pdfs/2000mdihandbook.pdf](http://www2.basf.us/urethanechemicals/Specialty_Systems/pdfs/2000mdihandbook.pdf)} (Novembre 2008).
- BERNSTEIN, I Leonard, Moira Chan-Yeung, Jean-Luc Malo et David I Bernstein. In Asthma in the Workplace, New York, Éd. Taylor&Francis Group, 2006, 874 p.
- BERNSTEIN, JA. « Overview of diisocyanate occupational asthma » Toxicology vol. 111, 1996 p. 181-189.
- BILAN, R, WO Hafliidson et DJ McVittie. « Assessment of Isocyanate Exposure during the Spray Application of Polyurethane Foam » American Industrial Hygiene Association Journal, vol. 50, juin 1989, p. 303-306.
- BOUCHARD, Pierre et al. « Les échafaudages de types mobiles: Guide » DC 200-1704 (02-04) CSST, Montréal 30 p. {En ligne}. {[http://www.csst.qc.ca/NR/rdonlyres/4606171D-DE5D-41A1-8287-310AC146AC62/2892/DC\\_200\\_1704\\_4.pdf](http://www.csst.qc.ca/NR/rdonlyres/4606171D-DE5D-41A1-8287-310AC146AC62/2892/DC_200_1704_4.pdf)} (Avril 2008).
- CREELY, Karen S, Graeme W Hughson, John Cocker et Kate Jones. « Assessing Isocyanate Exposures in Polyurethane Industry Sectors Using Biological and Air Monitoring Methods », American Occupational Hygiene, vol. 50 n° 6 mai 2006, p. 609-621.
- CRESPO, J. et J Galan. « Exposure to MDI during the Process of Insulating Building with Sprayed Polyurethane Foam », American Occupational Hygiene, vol. 43, n° 6, février 1999, p. 415-419.
- DHIMITER Bello; Christina A. Herrick; Thomas J. Smith; Susan R. Woskie; Robert P. Streicher; Mark R. Cullen; Youcheng Liu et Carrie A. Redlich « Skin Exposure to Isocyanates: Reasons for Concern ». Environmental Health Perspectives mars 2007, vol 115, no 3 p. 328-335.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. Code de sécurité pour les travaux de construction. Éditeur officiel du Québec, février 2008 258 p. (S-2.1, r.6) {En ligne}.

{[http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=%2F%2FS\\_2\\_1%2FS2\\_1R6.htm](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=%2F%2FS_2_1%2FS2_1R6.htm)} (Novembre 2008)

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, Commission de la santé et de la sécurité du travail. Règlement sur la santé et la sécurité du travail, Éditeur officiel du Québec, février 2008, 220 p. (S-2.1, r19-01). {En ligne}.

{[http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=%2F%2FS\\_2\\_1%2FS2\\_1R19\\_01.htm](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=%2F%2FS_2_1%2FS2_1R19_01.htm)} (Novembre 2008)

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE (HSE). Method for the Determination of Hazardous Substances. *Organics isocyanates in air*. London: HSE; 1999 {En ligne}. {<http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/pdfs/mdhs25-3.pdf>} (Avril 2008).

HERRICK Christina A; Lan Xu; Adam V. Wisnewski; Jyoti Das; Carrie A. Redlich; Kim Bottomly. « A novel mouse model of diisocyanate-induced asthma showing allergic-type inflammation in the lung after inhaled antigen challenge ». *Journal of allergy and clinical immunology* 2002, vol. 109, n°5, p. 873-878.

HOSEIN, HR. et S Farkas. « Risk associated with the spray application of polyurethane foam », *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 42 septembre 1981, p. 663-665.

KAROL, MH; BA Haulh; EJ Riley; CM Magreni; « Dermal contact with toluene diisocyanate (TDI) produces respiratory tract hypersensitivity in guinea pigs ». *Toxicology and Applied Pharmacology* vol 58 no 2 avril 1981, p. 221-230.

LABORATOIRE DES ASSUREURS DU CANADA ULC. Norme sur l'isolant thermique en mousse de polyuréthane rigide pulvérisée, de densité moyenne- application CAN/ULC-S705.2-05, 2<sup>ième</sup> édition février 2005

LARA, Jaime et Mireille Venne. « Guide pratique de protection respiratoire ». CSST et IRSST, 2e édition 2003, p. 56 {En ligne}. {[http://www.prot.resp.csst.qc.ca/GPR\\_0\\_matiere.shtml](http://www.prot.resp.csst.qc.ca/GPR_0_matiere.shtml)} (Novembre 2008).

LESAGE, Jacques, Jennifer Stanley, William J Karoly et Fran W Lichtenberg. « Airbone Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI) Concentrations Associated with the Application of Polyurethane Spray Foam in Residential Construction », *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 4, février 2007, p. 145-155.

LESAGE, Jacques et Claude Ostiguy. « Les outils d'évaluation des isocyanates », Programme provincial sur les isocyanates in *Symposium sur les isocyanates et l'asthme professionnel*, Montréal, IRSST, septembre 2000. {En ligne}.

{[http://www.irsst.qc.ca/files/documents/fr/Utilitaires/isocyanates/evaluation\\_dosage\\_word.pdf](http://www.irsst.qc.ca/files/documents/fr/Utilitaires/isocyanates/evaluation_dosage_word.pdf)} (Avril 2008).

LESAGE, Jacques et Claude Ostiguy. « Les isocyanates en milieu de travail : aspect chimique », Programme provincial sur les isocyanates in *Symposium sur les isocyanates et l'asthme professionnel*, Montréal, IRSST, septembre 2000. {En ligne}.

{<http://www.irsst.qc.ca/files/documents/fr/Utilitaires/isocyanates/introduction.pdf>} (Avril 2008).

MARLAIR G. « Rubrique 1158 : MDI Di-isocyanate de diphenyl méthane » INERIS DRA 2002-n°38138web.doc Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) Janvier 2002 p 21. {En ligne} [www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=2274](http://www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=2274) (Janvier 2009).

NADEAU, Daniel. « Les isocyanates et leurs effets sur la santé », Programme provincial sur les isocyanates dans Symposium sur les isocyanates et l'asthme professionnel, Montréal, IRSST, septembre 2000. {En ligne}.

{[http://www.irsst.qc.ca/files/documents/fr/Utilitaires/isocyanates/effets\\_sur\\_la\\_sante.pdf](http://www.irsst.qc.ca/files/documents/fr/Utilitaires/isocyanates/effets_sur_la_sante.pdf)} (Avril 2008).

OSTIGUY, Claude, Sébastien Gagné, Jacques Lesage, Tra Huu Van, Yves Cloutier. « Développement d'une méthode d'analyse d'isocyanates à très haute sensibilité », Études et recherches / Rapport R-419, Montréal, IRSST; mai 2005, 43 p. {En ligne}.

{[http://www.irsst.qc.ca/fr/\\_publicationirsst\\_100137.html](http://www.irsst.qc.ca/fr/_publicationirsst_100137.html)} (Avril 2008).

RESEARCH AND DEVELOPMENT DEPARTMENT CONSTRUCTION SAFETY ASSOCIATION OF ONTARIO. « Assessment of isocyanates exposure during the spray application of polyurethane foam », mars 1987. 27p. {En ligne}

<http://www.cufca.ca/views/ASSESSMENT%20OF%20ISOCYANATE%20EXPOSURE%20DURING%20THE%20SPRAY%20APPLICATION%20OF%20POLYURETHAN%20FOAM.pdf> {mars 2009}.

STREICHER, Robert, Christopher M Reh, Rosa J Key-Schwartz, Paul C Schlecht, Mary Ellen Cassinelli et Paula Fey O'Connor, « Determination of Airborne Isocyanate Exposure: Considerations in Method Selection », Journal of Occupational and Environmental Hygiene, vol. 61, août 2000, p. 544-556.

VANOIRBEEK Jeroen AJ; Maciej Tarkowski; Jan L. Ceuppens; Erik K. Verbeken; Benoit Nemery et Peter H. M. Hoet. « Respiratory Response to Toluene Diisocyanate Depends on Prior Frequency and Concentration of Dermal Sensitization in Mice », Toxicological Sciences mai 2004, vol 80, p. 310-321.





## **ANNEXE 1 : LISTE DES POINTS RELATIFS AUX FAÇONS DE FAIRE**

**Formation de mousse polyuréthane par pulvérisation : Façons de faire****Chantier** : Construction neuve  Rénovation :  Année de construction \_\_\_\_\_**Type de bâtiment** : Résidence plein pied ;  Dimension : \_\_\_\_\_Résidence type cottage :  Dimension : \_\_\_\_\_Commercial :  Dimension : \_\_\_\_\_

Combien de travailleurs pulvérisent ? \_\_\_\_\_ Installateur \_\_\_\_\_ Assistant \_\_\_\_\_

Tâches exécutées par l'assistant : Préparation (masquage)  Nettoyage  Pulvérisation 

Présence d'autres travailleurs sur le chantier : \_\_\_\_\_

Présence d'autres personnes dans la résidence : \_\_\_\_\_

**Camion** : État des lieux : Encombrement Oui  Non  \_\_\_\_\_**État de l'équipement** : Propreté Oui  Non  Pistolet : \_\_\_\_\_**Travaux** à l'intérieur  à l'extérieur **Niveau Sous-sol** :  **Étage** : \_\_\_\_\_

Hauteur du plafond \* : \_\_\_\_\_

Accès par une porte :  Ouverture \* : Via une échelle\* :  Escabeau

État des lieux \_\_\_\_\_

Nombre porte extérieure : \_\_\_\_\_

Nombre de fenêtres ou ouvertures sur mur et état :

Nord  \_\_\_\_\_ : Masquées  Fermées Sud  \_\_\_\_\_ : Masquées  Fermées Ouest  \_\_\_\_\_ : Masquées  Fermées Est  \_\_\_\_\_ : Masquées  Fermées **\* Attention : Ce lieu peut être un espace clos. Voir plus loin.****Niveau du sol** :  **Hauteur** \_\_\_\_\_

Hauteur de structure : \_\_\_\_\_

État du sol \_\_\_\_\_

État des murs : \_\_\_\_\_

État des lieux \_\_\_\_\_

Nombre porte extérieure : \_\_\_\_\_

Nombre de fenêtres ou ouvertures sur mur et état :

Nord  \_\_\_\_\_ : Masquées  Fermées Sud  \_\_\_\_\_ : Masquées  Fermées Ouest  \_\_\_\_\_ : Masquées  Fermées **Pulvérisation effectuée à partir de** : Sol  Escabeau  Échelle **Moyen hydraulique utilisé** :Ciseaux :  Hauteur \_\_\_\_\_ Bras articulé :  Hauteur \_\_\_\_\_Plateforme :  Hauteur \_\_\_\_\_ Autre : \_\_\_\_\_

**Formation de mousse polyuréthane par pulvérisation : Façons de faire**

Épaisseur pulvérisée : \_\_\_\_\_  
 Nombre de couches : \_\_\_\_\_  
 (2 po < couche > ½ po)

Sécurité à mettre de l'avant lors de l'utilisation des  
 moyens hydrauliques : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Nettoyage du pistolet :** Produit utilisé : \_\_\_\_\_ Durée du nettoyage : \_\_\_\_\_

**Zone d'exclusion délimitée :** Oui  Non

**Affiche signalant les travaux :** Oui  Non

Message inscrit : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Si espace clos :**

Expliquer la configuration de cet espace et ses caractéristiques :

Partiellement  ou totalement fermé

Voie d'accès par échelle  Escabeau  autre \_\_\_\_\_

Conception ou construction \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Ventilation :** naturelle  mécanique  \_\_\_\_\_

Contaminant(s) émis ou contenu(s) : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Les travailleurs sont-ils informés qu'il s'agit d'un espace clos ? Oui  Non

Si oui, quelles sont leurs instructions ou procédures ? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Ergonomie :** Poids du pistolet : \_\_\_\_\_

**Postures contraignantes :** Travailler ...

1. Avec les mains au dessus de la tête \_\_\_\_\_

2. Élever les mains à répétition au dessus de la tête \_\_\_\_\_

3. Avec les coudes en flexion \_\_\_\_\_

4. Avec le dos en flexion de plus de 45 ° \_\_\_\_\_

5. Avec le cou en flexion \_\_\_\_\_

6. Avec les poignets en flexion \_\_\_\_\_ en torsion \_\_\_\_\_

7. En position accroupi \_\_\_\_\_

**Formation de mousse polyuréthane par pulvérisation : Façons de faire****Travaux effectués par les autres travailleurs présents :**Soudage : Oui  Non  Type de soudage \_\_\_\_\_

À quelle distance de la zone de pulvérisation : \_\_\_\_\_

Journalier : Oui  Non Excavation et coffrage : Oui  Non  Revêtement de toit : Oui  Non Électricien : Oui  Non  Menuisier : Oui  Non Plombier : Oui  Non  Installation ventilation : Oui  Non 

Utilisation d'équipements alimentés au propane : \_\_\_\_\_

Décrire les travaux effectués par ces travailleurs et à quelle distance de la pulvérisation sont-ils effectués :

**Équipements de protection de l'installateur :**Respiratoire : Oui  Non Pièce faciale complète  Demi masque Adduction d'air : air filtré (ceinture) : Pompe extérieure  Compresseur Unité filtrante (air respirable) Oui  Non 

Localisation par rapport émanation de gaz : \_\_\_\_\_

Cartouches \_\_\_\_\_

Type \_\_\_\_\_

Fréquence de changement : \_\_\_\_\_

Entreposage entre utilisation APR : \_\_\_\_\_

Formation sur APR : Oui  Non Reçue par : représentant APR  firme Personne de l'entreprise  autre Chute de hauteur : Harnais : Oui  Non 

Expliquer \_\_\_\_\_

Vêtements : Salopette Oui  de ville Matériau : Tyvex©  Autre \_\_\_\_\_Gants : Oui  Non 

Matériau \_\_\_\_\_

Aspect des vêtements : \_\_\_\_\_

Entretien : à entreprise  à la maison Casque de sécurité : Oui  Non Lunettes : Oui  Non Chaussures de sécurité : Oui  Non **Équipements de protection de l'assistant :**Respiratoire : Oui  Non Pièce faciale complète  Demi masque Adduction d'air : air filtré (ceinture) : Pompe extérieure  Compresseur Unité filtrante (air respirable) Oui  Non 

Localisation par rapport émanation de gaz : \_\_\_\_\_

Cartouches \_\_\_\_\_

Type \_\_\_\_\_

Fréquence de changement : \_\_\_\_\_

Entreposage entre utilisation APR : \_\_\_\_\_

Formation sur APR : Oui  Non Reçue par : représentant APR  firme Personne de l'entreprise  autre Chute de hauteur : Harnais : Oui  Non 

Expliquer \_\_\_\_\_

Vêtements : Salopette Oui  de ville Matériau : Tyvex©  Autre \_\_\_\_\_Gants : Oui  Non 

Matériau \_\_\_\_\_

Aspect des vêtements : \_\_\_\_\_

Entretien : à entreprise  à la maison Casque de sécurité : Oui  Non Lunettes : Oui  Non Chaussures de sécurité : Oui  Non

**Formation de mousse polyuréthane par pulvérisation : Façons de faire**

**Saison de pulvérisation :**

Chaude  Froide

T ambiante: \_\_\_\_\_°C HR : \_\_\_\_\_ Direction des courants d'air : \_\_\_\_\_

Vélocité (<24 Km/h) : \_\_\_\_\_

Ouverture des portes et fenêtres pendant les travaux : \_\_\_\_\_

Type d'abri : \_\_\_\_\_ Chauffage au propane : \_\_\_\_\_

Ventilation : \_\_\_\_\_

**Installations sanitaires :** Toilette portable : Oui  Non  Douche oculaire : Oui  Non

**Remarque :** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**ANNEXE 2 : LISTE DES PRODUITS UTILISÉS**

<b>Produit</b>	<b>Substance<sup>24</sup></b>	<b>#CAS<sup>25</sup></b>
	Diisocyanate-4,4' de diphenylmethane (MDI)	101-68-8
	MDI polymérique (PMDI)	9016-87-9
<b>Polyol (les proportions varient selon la version, régulière ou hivernale)</b>		25723-16-4
	Dichloroéthylène (deux isomères)	156-60-5
	1,4-dioxane	123-91-1
	1,1-dichloro-1-fluoroéthane	1717-00-6
	1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroéthane	76-13-1
	N-diméthyl-2-aminoéthanol	108-01-0
	1,1-chloro-1,1-difluoroéthane	75-68-3
	Diéthylamine	109-89-7
	1,3-dioxane	505-22-60
	Trace de xylènes	1330-20-7
<b>Agent de gonflement</b>	1,1,1,2,2-pentafluoropropane (HFC 245FA).	460-73-1
<b>Solvant pour nettoyage du pistolet</b>	Éther de dipropylène glycol monométhylrique	34590-94-8
<b>Adhésif (colle contact)</b>	Hexane	110-54-3
	Acétone	67-64-1
	Toluène	108-88-3

24 Ces substances sont inscrites dans les fiches signalétiques des produits. Cette liste ne contient pas toutes les substances, car certaines peuvent être à l'état trace dans le mélange.

25 #CAS : Il s'agit d'un numéro d'enregistrement d'une substance chimique à la banque de données de Chemical Abstracts Service, division de l'American Chemical Society.





## **ANNEXE 3 : RÉSULTATS ANALYTIQUES**

Tableau A-3a : Concentrations moyennes des prélèvements dans la zone de pulvérisation (installateurs)

Tableau A-3b : Résultats analytiques des prélèvements hors zone de pulvérisation (assistants)

Tableau A-3c : Résultats analytiques hors zone de pulvérisation (autres travailleurs)

Tableau A-3d : Résultats analytiques post-pulvérisation par étage

Tableau A-3a : Concentrations moyennes des prélèvements dans la zone de pulvérisation (installateurs)

	Chantier	Travail	Procédé	Durée (min)	Concentration de MDI ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) *26		
					Monomère	Oligomères	Vapeurs
1	commercial	extérieur	Isolation	58	20,50	13,00	0,02
1	commercial	extérieur	Isolation	101	56,87	37,48	0,02
2	commercial	extérieur	Isolation	68	30,00	15,00	0,16
3	commercial	extérieur	Isolation	126	41,50	10,20	0,04
3	commercial	extérieur	Isolation	126	79,96	34,98	0,03
3	commercial	extérieur	Isolation	52	26,00	29,00	0,16
4	résidentiel	intérieur	Isolation	26	22,01	3,07	
4	résidentiel	intérieur	Isolation	78	36,97	20,17	
4	résidentiel	intérieur	Isolation	72	45,00	20,00	
5	résidentiel	intérieur	Isolation	84	84,61	27,37	
5	résidentiel	intérieur	Isolation	74	110,00	45,00	
6	résidentiel	intérieur	Isolation	85	16,51	5,50	
6	résidentiel	intérieur	Isolation	82	55,00	20,00	
6	résidentiel	intérieur	Isolation	49	350,10	180,00	
7	commercial	extérieur	Isolation	55	100,00	60,00	
7	commercial	extérieur	Isolation	40	30,69	10,48	
8b	commercial	extérieur	Isolation	95	18,50	12,50	
8b	commercial	extérieur	Isolation	80	24,53	18,65	
8a	commercial	extérieur	Isolation	161	11,00	4,09	
9	commercial	extérieur	Isolation	121	75,19	29,50	
9	commercial	extérieur	Isolation	90	95,00	60,00	
12b	résidentiel	intérieur	Scellage	77	15,00	6,00	0,36
12b	résidentiel	intérieur	Scellage	74	40,00	20,00	0,36
12b	résidentiel	intérieur	Scellage	75	30,20	14,61	0,27
12a	résidentiel	intérieur	Scellage	39	1,80	0,67	0,16
12a	résidentiel	intérieur	Scellage	80	40,06	15,03	0,29
12a	résidentiel	intérieur	Scellage	97	20,00	12,50	0,32
13	commercial	extérieur	Isolation	125	75,12	40,08	0,24
13	commercial	extérieur	Isolation	120	20,00	8,00	0,09
13	commercial	extérieur	Isolation	77	45,16	17,08	0,28
13	commercial	extérieur	Isolation	60	64,71	5,28	0,34
14	résidentiel	intérieur	Scellage	44	120,10	70,10	0,69
14	résidentiel	intérieur	Scellage	73	430,00	260,00	0,05
16	commercial	extérieur	Isolation	71	32,93	19,05	
16	commercial	extérieur	Isolation	76	11,15	5,67	
17	résidentiel	intérieur	Scellage	60	57,50	28,50	3,05
17	résidentiel	intérieur	Scellage	55,5	37,42	14,42	1,31
18	résidentiel	intérieur	Scellage	119	140,13	65,57	2,25
19b	résidentiel	intérieur	Isolation	106	304,86	165,05	

26 \* Les concentrations de MDI sont la moyenne des résultats analytiques obtenus pour les deux trains de prélèvement encadrant la zone de l'installateur (voir Méthodologie).

	Chantier	Travail	Procédé	Durée (min)	Concentration de MDI ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) *26		
					Monomère	Oligomères	Vapeurs
19b	résidentiel	intérieur	Isolation	86	397,73	214,48	
19b	résidentiel	intérieur	Isolation	97	348,31	189,23	14,00
19a	résidentiel	intérieur	Isolation	78	571,10	310,58	36,48
19a	résidentiel	intérieur	Isolation	75	591,28	330,60	26,00
19a	résidentiel	intérieur	Isolation	90	309,61	174,81	19,50
20	résidentiel	intérieur	Isolation	54	116,22	69,12	
21	résidentiel	intérieur	Scellage	37	54,50	17,00	1,02
21	résidentiel	intérieur	Isolation	57	225,00	86,50	2,65
21	résidentiel	intérieur	Scellage	47	81,00	30,50	2,05
				<b><math>\mu</math></b>	<b>114,8</b>	<b>59,3</b>	<b>4,0</b>
				<b>s</b>	<b>147,0</b>	<b>82,6</b>	<b>9,0</b>
				<b>Médiane</b>	<b>54,8</b>	<b>20,1</b>	<b>0,33</b>

Deux séries de résultats analytiques ont été rejetées.

Tableau A-3b : Résultats analytiques des prélèvements hors zone de pulvérisation (assistants)

	Chantier	Travail	Procédé	Durée (min)	Concentration de MDI ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
					Monomère	Oligomères	Vapeurs
25	commercial	extérieur	Isolation	69	84,00	56,00	
25	commercial	extérieur	Isolation	58	41,00	29,00	
25	commercial	extérieur	Isolation	109	4,00	0,26	
26	commercial	extérieur	Isolation	67	30,00	20,00	0,02
27	commercial	extérieur	Isolation	125	50,00	20,00	0,04
28	résidentiel	intérieur	Isolation	113			2,90
28	résidentiel	intérieur	Isolation	115			3,70
28	résidentiel	intérieur	Isolation	67			7,00
30b	résidentiel	intérieur	Scellage	74	5,00	2,00	0,25
30b	résidentiel	intérieur	Scellage	77	20,00	9,00	0,20
30a	résidentiel	intérieur	Scellage	38	3,00	0,69	0,12
30a	résidentiel	intérieur	Scellage	80	2,00	0,33	0,09
30a	résidentiel	intérieur	Scellage	107	4,00	1,00	0,23
33	commercial	extérieur	Isolation	71	32,93	19,05	
33	commercial	extérieur	Isolation	76	11,15	5,67	
34b	résidentiel	intérieur	Isolation	107	150,00	85,00	
34b	résidentiel	intérieur	Isolation	244			8,90
34b	résidentiel	intérieur	Isolation	81	170,00	99,00	
34b	résidentiel	intérieur	Isolation	101	150,00	82,00	11,00
34a	résidentiel	intérieur	Isolation	82	130,00	78,00	15,00
34a	résidentiel	intérieur	Isolation	69	170,00	93,00	9,30
34a	résidentiel	intérieur	Isolation	95	25,00	14,00	3,70
35	résidentiel	intérieur	Isolation	51	88,00	60,00	
36	résidentiel	intérieur	Scellage	39	40,00	13,00	0,97
36	résidentiel	intérieur	Isolation	57	120,00	33,00	0,04
36	résidentiel	intérieur	Scellage	47	130,00	50,00	0,01
37	commercial	extérieur	Isolation	121	75,19	29,50	
37	commercial	extérieur	Isolation	90	95,00	60,00	
				<b><math>\mu</math></b>	<b>67,9</b>	<b>35,8</b>	<b>3,3</b>
				<b>s</b>	<b>58,5</b>	<b>33,0</b>	<b>4,6</b>
				<b>Médiane</b>	<b>45,5</b>	<b>24,5</b>	<b>0,25</b>

Tableau A-3c : Résultats analytiques hors zone de pulvérisation (autres travailleurs)

<b>Concentration de MDI (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>			
<b>Monomère</b>	<b>Oligomères</b>	<b>Vapeurs HS</b>	
			0,14
			0,26
			3,8
			6,1
			0,51
			11,0
			3,0
			4,3
			5,6
			2,5
			0,14
			0,01
			0,01
			0,03
			0,03
			0,35
			0,16
			0,18
			0,08
			0,01
			0,05
			0,14
			0,04
			0,05
60	20		0,10
			0,37
50	10		
20	1,39		
50	25		
20	20		
20	8		
			0,12
20	15		
25	12		
			0,13
			0,02
<b><math>\mu</math> :</b>	<b>33,1</b>	<b>13,9</b>	<b>1,4</b>
<b>s :</b>	<b>17,1</b>	<b>7,6</b>	<b>2,6</b>
<b>Médiane</b>	<b>22,5</b>	<b>13,5</b>	<b>0,1</b>

Tableau A-3d : Résultats analytiques post-pulvérisation par étage

Emplacement	Temps (min)	Concentration de MDI Vapeurs HS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Moyenne
Même étage que la pulvérisation de la mousse	30	1,90	
		0,36	
		0,01	
		0,06	
		0,02	
		0,29	
		0,44	
		0,07	
		0,01	0,350
	60	0,23	
		0,23	
		0,02	
		0,02	
		0,02	
		0,03	
	120	0,02	0,078
		0,04	
		0,01	
		0,01	
240	0,08		
	0,01	0,029	
	0,06		
Sur un autre étage que la pulvérisation de la mousse	30	0,02	
		0,58	0,302
	60	2,40 *	
		0,39	
		0,06	0,951
	120	0,01	
		0,01	
0,04		0,022	

\* : Ce prélèvement a été effectué sur la période de 60 minutes suivant la pulvérisation.

## **ANNEXE 4 : DONNÉES DE L'ANALYSE STATISTIQUE DES RÉSULTATS DE MDI**

Tableau A-4a : Résultats de l'analyse statistique par déterminant pour l'exposition quotidienne moyenne par tâche (MDI monomère)

Tableau A-4b : Résultats de l'analyse statistique par déterminant pour la concentration moyenne des prélèvements par tâche (MDI monomère)

Tableau A-4c : Résultats de l'analyse statistique par déterminant pour l'exposition quotidienne moyenne par tâche (MDI oligomères)

Tableau A-4d : Résultats de l'analyse statistique par déterminant pour la concentration moyenne des prélèvements par tâche (MDI oligomères)

Tableau A-4a : Résultats de l'analyse statistique par déterminant pour l'exposition quotidienne moyenne par tâche (MDI monomère)

Tâche	Localisation	Saison	Mousse	Paramètre	Nombre (n)	Maximum (µg/m³)	Minimum (µg/m³)	Moyenne arithmétique (µg/m³)	Médiane (µg/m³)	Écart-type (s)	Moyenne géométrique (µg/m³)	Écart-type géométrique (GSD)	Test W sur les données log-transformées	Log normal ( $\alpha = 0,05$ ) ?	95 <sup>ème</sup> Percentile	LTsup. 95%,95%	Fraction de dépassement de la VEA	LCinf. 1,95% %>VEA	LCsup. 1,95% %>VEA
Installateur	Intérieur		B-2	EQM-mono	7	76,4	10,9	27,5	14,0	23,7	21,3	2,09	0,86	Oui	71,5	260,2	12%	2,4	37,4
	Extérieur	été		EQM-mono	7	31,9	4,3	14,7	14,0	9,4	11,9	2,12	0,88	Oui	40,8	152,5	3%	0,1	21,1
Assistant	Extérieur			EQM-mono	5	36,8	4,3	15,7	13,0	12,9	11,9	2,32	0,98	Oui	47,7	410,0	4%	0,2	32,6
Installateur	Intérieur	hiver		EQM-mono	5	76,4	10,9	29,4	13,3	28,1	21,3	2,35	0,83	Oui	87,0	773,2	15%	2,8	48,3
Installateur	Intérieur	hiver	B-2	EQM-mono	5	76,4	10,9	29,4	13,3	28,1	21,3	2,35	0,83	Oui	87,0	773,2	15%	2,8	48,3
	Extérieur		A-1	EQM-mono	5	31,9	4,3	13,5	13,0	11,3	10,1	2,36	0,89	Oui	41,7	374,7	3%	<0,1	29,6
			A-1	EQM-mono	6	48,1	4,3	19,3	13,5	17,4	13,1	2,71	0,92	Oui	67,8	529,6	9%	1,1	36,1
		été	A-1	EQM-mono	6	48,1	4,3	19,3	13,5	17,4	13,1	2,71	0,92	Oui	67,8	529,6	9%	1,1	36,1
	Intérieur	été		EQM-mono	11	243	9,4	71,2	38,9	80,5	42,2	2,90	0,94	Oui	243,8	848,5	43%	25,0	62,9
Installateur	Intérieur			EQM-mono	12	243	10,9	62,1	33,3	79,4	34,1	2,97	0,88	Oui	204,0	668,2	36%	19,6	55,2
		été		EQM-mono	18	243	4,3	49,2	24,1	68,1	25,8	3,09	0,95	Oui	164,9	410,3	27%	15,4	43,1
Installateur	Intérieur	été		EQM-mono	7	243	13,1	85,4	38,9	97,4	47,6	3,22	0,89	Oui	326,3	2541,0	48%	24,9	71,4
	Intérieur		B-2	EQM-mono	9	76,4	1,5	22,0	13,3	23,3	13,2	3,23	0,96	Oui	90,6	460,2	12%	3,3	34,2
	Extérieur			EQM-mono	16	36,8	0,3	15,1	13,5	11,7	9,8	3,32	0,86	Non	70,3	201,8	8%	2,6	21,7
Assistant				EQM-mono	11	93,7	1,5	24,5	13,0	27,9	13,1	3,48	0,98	Oui	102,0	438,7	14%	4,5	33,2
	Intérieur	hiver		EQM-mono	7	76,4	1,5	21,8	11,5	26,4	11,5	3,66	0,97	Oui	97,1	944,4	13%	2,7	38,4
	Intérieur			EQM-mono	18	243	1,5	52,0	31,0	68,3	25,5	3,67	0,97	Oui	215,8	616,5	30%	17,3	45,6
			B-2	EQM-mono	18	76,4	0,3	18,7	12,4	18,9	10,5	3,75	0,93	Oui	92,3	268,4	12%	4,5	25,1
				EQM-mono	34	243	0,3	34,6	15,7	53,1	16,1	3,77	0,97	Oui	144,0	291,3	19%	11,7	29,9
Installateur			B-2	EQM-mono	14	76,4	0,3	20,6	13,7	19,7	12,2	3,77	0,87	Non	108,2	390,9	14%	5,6	30,7
Installateur	Extérieur			EQM-mono	11	36,8	0,3	14,8	14,0	11,8	8,9	3,90	0,85	Oui	83,4	409,2	10%	2,6	28,0
		hiver		EQM-mono	16	76,4	0,3	18,2	11,2	19,8	9,6	3,94	0,94	Oui	92,0	306,8	11%	4,0	25,6
		hiver	B-2	EQM-mono	16	76,4	0,3	18,2	11,2	19,8	9,6	3,94	0,94	Oui	92,0	306,8	11%	4,0	25,6
			A-2	EQM-mono	6	243	9,4	103,3	72,7	100,5	55,8	3,96	0,92	Oui	536,3	9142,1	53%	27,1	76,9
	Intérieur		A-2	EQM-mono	6	243	9,4	103,3	72,7	100,5	55,8	3,96	0,92	Oui	536,3	9142,1	53%	27,1	76,9



Tâche	Localisation	Saison	Mousse	Paramètre	Nombre (n)	Maximum (µg/m³)	Minimum (µg/m³)	Moyenne arithmétique (µg/m³)	Médiane (µg/m³)	Écart-type (s)	Moyenne géométrique (µg/m³)	Écart-type géométrique (GSD)	Test W sur les données log-transformées	Log normal ( $\alpha = 0,05$ ) ?	95 <sup>ème</sup> Percentile	LTsup. 95%,95%	Fraction de dépassement de la VEA	LCinf. 1,95% %>VEA	LCsup. 1,95% %>VEA
		été	A-2	EQM-mono	6	243	9,4	103,3	72,7	100,5	55,8	3,96	0,92	Oui	536,3	9142,1	53%	27,1	76,9
Installateur				EQM-mono	23	243	0,3	39,5	17,3	61,6	17,9	3,97	0,93	Oui	173,4	445,3	22%	12,7	36,0
	Extérieur	hiver		EQM-mono	9	36,8	0,3	15,4	7,8	13,9	8,4	4,44	0,86	Oui	97,2	766,2	11%	2,8	32,7
	Extérieur		B-2	EQM-mono	9	36,8	0,3	15,4	7,8	13,9	8,4	4,44	0,86	Oui	97,2	766,2	11%	2,8	32,7
Assistant	Intérieur			EQM-mono	6	93,7	1,5	31,7	19,8	35,8	14,2	4,90	0,97	Oui	194,0	5135,2	21%	6,0	50,5
Installateur	Extérieur	hiver		EQM-mono	7	36,8	0,3	13,6	7,8	12,8	7,0	4,94	0,88	Oui	97,0	1594,6	11%	2,0	36,0
Installateur	Extérieur		B-2	EQM-mono	7	36,8	0,3	13,6	7,8	12,8	7,0	4,94	0,88	Oui	97,0	1594,6	11%	2,0	36,0
Installateur	Extérieur	hiver	B-2	EQM-mono	7	36,8	0,3	13,6	7,8	12,8	7,0	4,94	0,88	Oui	97,0	1594,6	11%	2,0	36,0

Tableau A-4b : Résultats de l'analyse statistique par déterminant pour la concentration moyenne des prélèvements par tâche (MDI monomère)

Tâche	Localisation	Saison	Mousse	Paramètre	Nombre (n)	Maximum (µg/m³)	Minimum (µg/m³)	Moyenne arithmétique (µg/m³)	Médiane (µg/m³)	Écart-type (s)	Moyenne géométrique (µg/m³)	Écart-type géométrique (GSD)	Test W sur les données log-transformées	Log normal ( $\alpha = 0,05$ ) ?	95 <sup>ème</sup> Percentile	LTsup. 95%,95%	Fraction de dépassement de la VEA	LCinf. 1,95% %>VEA	LCsup. 1,95% %>VEA
	Extérieur	été		Conc mono	7	70,8	30,0	45,3	39,3	15,8	43,1	1,40	0,92	Oui	75,2	135,9	31%	12,7	57,3
	Extérieur		A-1	Conc mono	5	70,8	30,0	48,3	50,0	18,3	45,4	1,49	0,86	Oui	87,5	242,1	39%	15,2	68,4
			A-1	Conc mono	6	106,8	30,0	58,1	55,4	28,9	52,4	1,65	0,94	Oui	119,0	332,7	52%	26,7	76,5
		été	A-1	Conc mono	6	106,8	30,0	58,1	55,4	28,9	52,4	1,65	0,94	Oui	119,0	332,7	52%	26,7	76,5
Assistant	Extérieur			Conc mono	5	83,6	21,7	44,4	36,5	24,3	39,8	1,67	0,98	Oui	92,7	345,2	31%	10,7	62,8
	Intérieur	été		Conc mono	11	480,5	38,0	160,3	106,8	132,0	127,2	1,98	0,89	Oui	389,6	863,8	91%	73,4	97,8
			A-2	Conc mono	6	480,5	88,0	214,7	135,9	161,5	172,9	2,01	0,89	Oui	546,6	2313,4	96%	72,1	99,8
	Intérieur		A-2	Conc mono	6	480,5	88,0	214,7	135,9	161,5	172,9	2,01	0,89	Oui	546,6	2313,4	96%	72,1	99,8
		été	A-2	Conc mono	6	480,5	88,0	214,7	135,9	161,5	172,9	2,01	0,89	Oui	546,6	2313,4	96%	72,1	99,8
		été		Conc mono	18	480,5	30,0	115,6	92,3	116,9	83,5	2,18	0,93	Oui	300,8	564,5	74%	57,8	85,3
	Extérieur			Conc mono	16	83,6	3,8	42,3	37,3	25,6	33,3	2,27	0,89	Oui	128,0	262,3	30%	17,1	47,1
Installateur	Intérieur	été		Conc mono	7	480,5	38,0	188,2	116,2	161,6	139,0	2,33	0,93	Oui	559,2	2466,4	88%	62,6	97,6
Installateur	Extérieur			Conc mono	11	83,6	3,8	41,4	38,0	27,3	30,8	2,55	0,9	Oui	143,3	427,9	29%	14,4	50,3
Installateur	Intérieur		B-2	Conc mono	7	313,5	24,1	98,3	47,9	103,8	65,6	2,56	0,93	Oui	307,3	1593,6	61%	35,4	81,4
Installateur	Intérieur			Conc mono	12	480,5	24,1	155,9	111,5	146,0	103,1	2,67	0,95	Oui	519,4	1518,1	76%	56,6	89,2
	Extérieur	hiver		Conc mono	9	83,6	3,8	40,0	21,7	32,0	27,3	2,81	0,91	Oui	149,0	622,7	27%	11,7	50,4
	Extérieur		B-2	Conc mono	9	83,6	3,8	40,0	21,7	32,0	27,3	2,81	0,91	Oui	149,0	622,7	27%	11,7	50,4
Installateur	Extérieur	hiver		Conc mono	7	83,6	3,8	36,4	21,7	31,3	24,0	2,97	0,94	Oui	143,8	968,9	24%	8,6	51,3
Installateur	Extérieur		B-2	Conc mono	7	83,6	3,8	36,4	21,7	31,3	24,0	2,97	0,94	Oui	143,8	968,9	24%	8,6	51,3
Installateur	Extérieur	hiver	B-2	Conc mono	7	83,6	3,8	36,4	21,7	31,3	24,0	2,97	0,94	Oui	143,8	968,9	24%	8,6	51,3
Installateur	Intérieur	hiver		Conc mono	5	313,5	24,1	110,8	47,9	122,7	67,8	3,00	0,91	Oui	413,3	6866,1	60%	30,6	84,0
Installateur	Intérieur	hiver	B-2	Conc mono	5	313,5	24,1	110,8	47,9	122,7	67,8	3,00	0,91	Oui	413,3	6866,1	60%	30,6	84,0
Installateur			B-2	Conc mono	14	313,5	3,8	67,3	38,0	80,4	39,7	3,02	0,98	Oui	245,1	716,3	41%	25,2	58,9

Tâche	Localisation	Saison	Mousse	Paramètre	Nombre (n)	Maximum (µg/m³)	Minimum (µg/m³)	Moyenne arithmétique (µg/m³)	Médiane (µg/m³)	Écart-type (s)	Moyenne géométrique (µg/m³)	Écart-type géométrique (GSD)	Test W sur les données log-transformées	Log normal (α = 0,05) ?	95 <sup>ème</sup> Percentile	LTsup. 95%,95%	Fraction de dépassement de la VEA	LCinf. 1,95% %>VEA	LCsup. 1,95% %>VEA
Installateur				Conc mono	23	480,5	3,8	101,2	60,7	120,0	57,8	3,08	0,98	Oui	366,9	791,3	54%	40,8	67,5
				Conc mono	34	481	3,1	88,4	55,4	103,0	51,1	3,14	0,97	Oui	335	614,9	5%	39,0	61,1
Assistant				Conc mono	11	155,6	3,1	61,7	50,0	47,7	39,4	3,30	0,9	Oui	281,0	1136,3	41%	23,8	61,5
			B-2	Conc mono	18	313,5	3,1	58,9	33,1	73,8	31,8	3,36	0,97	Oui	233,2	620,3	35%	21,6	50,8
		hiver		Conc mono	16	313,5	3,1	57,8	26,2	77,8	29,4	3,50	0,98	Oui	230,8	693,3	33%	19,4	50,0
		hiver	B-2	Conc mono	16	313,5	3,1	57,8	26,2	77,8	29,4	3,50	0,98	Oui	230,8	693,3	33%	19,4	50,0
	Intérieur			Conc mono	18	480,5	3,1	129,4	101,1	127,7	74,6	3,57	0,92	Oui	606,6	1697,6	62%	45,9	75,5
	Intérieur		B-2	Conc mono	9	313,5	3,1	77,7	38,0	98,8	37,2	4,11	0,98	Oui	379,5	2688,7	41%	21,9	63,2
	Intérieur	hiver		Conc mono	7	313,5	3,1	80,7	28,2	112,6	32,3	4,84	0,98	Oui	432,4	6869,7	39%	18,0	64,0
Assistant	Intérieur			Conc mono	6	155,6	3,1	76,2	94,4	59,4	39,2	5,08	0,8	Oui	566,8	16155,4	44%	20,3	69,9

Tableau A-4c : Résultats de l'analyse statistique par déterminant pour l'exposition quotidienne moyenne par tâche (MDI oligomères)

Tâche	Localisation	Saison	Mousse	Paramètre	Nombre (n)	Maximum (max) (µg/m³)	Minimum (min) (µg/m³)	Moyenne arithmétique (µg/m³)	Médiane (µg/m³)	Écart-type (s)	Moyenne géométrique (µg/m³)	Écart-type géométrique (GSD)	Test W sur les données log-transformées	Log normal (α = 0,05) ?	95ieme Percentile	LTsup. 95%,95%	Fraction de dépassement la VEA	LCinf. 1,95% %>VEA	LCsup. 1,95% %>VEA
	Extérieur		A-1	EQM oli	5	11,9	2,1	5,8	5,2	4,12	4,6	2,2	0,89	Oui	16,5	118,0	0%	<0,1	12,6
	Extérieur	été		EQM oli	7	12,6	2,1	7,6	7,8	4,56	6,1	2,2	0,82	Oui	22,2	87,5	0%	<0,1	10,5
Installateur	Intérieur		B-2	EQM oli	7	46,0	5,1	13,9	6,4	14,74	9,9	2,2	0,84	Oui	37,2	152,0	2%	<0,1	19,4
Assistant	Extérieur			EQM oli	5	18,7	2,1	8,3	5,2	6,85	6,2	2,4	0,97	Oui	25,9	241,2	1%	<0,1	20,9
			A-1	EQM oli	6	22,8	2,1	8,6	6,5	7,84	6,1	2,6	0,94	Oui	28,7	201,9	1%	<0,1	19,1
		été	A-1	EQM oli	6	22,8	2,1	8,6	6,5	7,84	6,1	2,6	0,94	Oui	28,7	201,9	1%	<0,1	19,1
Installateur	Intérieur	hiver		EQM oli	5	46,0	5,1	15,8	6,3	17,51	10,5	2,6	0,83	Oui	50,3	575,7	5%	0,3	33,9
Installateur	Intérieur	hiver	B-2	EQM oli	5	46,0	5,1	15,8	6,3	17,51	10,5	2,6	0,83	Oui	50,3	575,7	5%	0,3	33,9
	Extérieur			EQM oli	16	18,7	0,3	7,6	5,5	5,83	5,1	3,0	0,91	Oui	30,7	80,2	2%	0,2	9,1
	Intérieur	été		EQM oli	11	139,9	6,4	37,7	14,6	46,36	20,7	3,0	0,9	Oui	128,0	467,4	21%	8,5	41,3
		été		EQM oli	18	139,9	2,1	26,0	11,7	38,73	12,9	3,1	0,93	Oui	84,8	214,1	11%	4,4	25,0
Installateur	Intérieur			EQM oli	12	139,9	5,1	32,9	13,2	45,52	16,4	3,2	0,87	Oui	109,6	385,7	16%	6,1	35,1
Installateur			B-2	EQM oli	14	46,0	0,3	10,2	6,0	11,55	6,0	3,3	0,91	Oui	43,6	140,2	4%	0,7	15,0
Installateur	Extérieur			EQM oli	11	18,7	0,3	7,3	5,6	5,65	4,6	3,4	0,9	Oui	33,9	139,7	2%	0,2	14,0
Installateur	Intérieur	été		EQM oli	7	139,9	6,4	45,2	14,6	56,34	22,7	3,5	0,86	Oui	174,9	1544,5	26%	9,3	52,5
			A-2	EQM oli	6	139,9	6,4	58,3	41,2	56,17	32,7	3,7	0,92	Oui	283,9	4263,0	37%	15,5	64,4
	Intérieur		A-2	EQM oli	6	139,9	6,4	58,3	41,2	56,17	32,7	3,7	0,92	Oui	283,9	4263,0	37%	15,5	64,4
		été	A-2	EQM oli	6	139,9	6,4	58,3	41,2	56,17	32,7	3,7	0,92	Oui	283,9	4263,0	37%	15,5	64,4
	Extérieur		B-2	EQM oli	9	18,7	0,3	7,5	5,4	6,94	4,4	3,7	0,91	Oui	38,2	236,5	3%	0,3	18,4
	Extérieur	hiver		EQM oli	9	18,7	0,3	7,5	5,4	6,94	4,4	3,7	0,91	Oui	38,2	236,5	3%	0,3	18,4
Installateur				EQM oli	23	139,9	0,3	20,7	7,8	34,97	9,0	3,8	0,95	Oui	79,0	195,0	9%	3,8	20,3
Installateur	Extérieur		B-2	EQM oli	7	18,7	0,3	6,5	5,4	6,31	3,7	4,0	0,93	Oui	35,6	402,4	3%	0,2	21,7
Installateur	Extérieur	hiver	B-2	EQM oli	7	18,7	0,3	6,5	5,4	6,31	3,7	4,0	0,93	Oui	35,6	402,4	3%	0,2	21,7
Installateur	Extérieur	hiver		EQM oli	7	18,7	0,3	6,5	5,4	6,31	3,7	4,0	0,93	Oui	35,6	402,4	3%	0,2	21,7
				EQM oli	34	139,9	0,1	18,1	7,8	30,08	7,6	4,3	0,94	Oui	85,6	187,1	10%	4,7	18,4

Tâche	Localisation	Saison	Mousse	Paramètre	Nombre (n)	Maximum (max) (µg/m³)	Minimum (min) (µg/m³)	Moyenne arithmétique (µg/m³)	Médiane (µg/m³)	Écart-type (s)	Moyenne géométrique (µg/m³)	Écart-type géométrique (GSD)	Test W sur les données log-transformées	Log normal (α = 0,05) ?	95ieme Percentile	LTsup. 95%,95%	Fraction de dépassement la VEA	LCinf. 1,95% %>VEA	LCsup. 1,95% %>VEA
			B-2	EQM oli	18	46,0	0,1	9,3	5,5	10,86	4,6	4,6	0,89	Non	56,4	193,4	6%	1,6	16,4
		hiver	B-2	EQM oli	16	46,0	0,1	9,3	5,3	11,52	4,2	5,0	0,91	Oui	58,9	240,5	6%	1,5	17,9
		hiver		EQM oli	16	46,0	0,1	9,3	5,3	11,52	4,2	5,0	0,91	Oui	58,9	240,5	6%	1,5	17,9
	Intérieur			EQM oli	18	139,9	0,1	27,5	10,8	39,08	11,0	5,4	0,89	Non	175,6	685,5	18%	8,6	33,1
Assistant				EQM oli	11	52,9	0,1	12,9	6,4	15,84	5,4	5,8	0,9	Oui	98,2	770,3	10%	2,7	28,3
	Intérieur		B-2	EQM oli	9	46,0	0,1	11,0	6,3	13,99	4,8	6,0	0,85	Oui	91,2	1094,0	9%	2,0	29,9
	Intérieur	hiver		EQM oli	7	46,0	0,1	11,5	5,2	16,03	4,0	7,6	0,89	Oui	112,8	3933,1	11%	1,9	35,7
Assistant	Intérieur			EQM oli	6	52,9	0,1	16,8	8,1	20,62	4,9	10,6	0,92	Oui	235,8	30457,1	16%	3,6	45,2

Tableau A-4d : Résultats de l'analyse statistique par déterminant pour la concentration moyenne des prélèvements par tâche (MDI oligomères)

Tâche	Localisation	Saison	Mousse	Paramètre	Nombre (n)	Maximum (max)	Minimum (min)	Moyenne arithmétique (µg/m³)	Médiane	Écart-type (s)	Moyenne géométrique (µg/m³)	Écart-type géométrique (GSD)	Test W sur les données log-transformées	Log normal (α = 0,05) ?	95ieme Percentile	LTsup. 95%,95%	Fraction de dépassement la VEA	LCinf. 1,95% %>VEA	LCsup. 1,95% %>VEA
	Extérieur	été		Conc Oli	7	39,2	15,0	23,4	22,6	8,46	22,2	1,4	0,94	Oui	39,2	71,6	1%	<0,1	13,9
	Extérieur		A-1	Conc Oli	5	39,2	15,0	22,3	20,0	9,95	20,9	1,5	0,87	Oui	40,0	109,5	1%	<0,1	23,2
Assistant	Extérieur			Conc Oli	5	42,5	12,1	22,7	20,0	11,95	20,5	1,6	0,96	Oui	45,3	155,0	3%	<0,1	29,5
			A-1	Conc Oli	6	50,6	15,0	27,1	21,3	14,56	24,2	1,7	0,9	Oui	55,5	157,2	7%	0,7	33,5
		été	A-1	Conc Oli	6	50,6	15,0	27,1	21,3	14,56	24,2	1,7	0,9	Oui	55,5	157,2	7%	0,7	33,5
			A-2	Conc Oli	6	266,5	57,5	120,5	75,5	86,73	99,6	1,9	0,84	Oui	289,4	1102,0	85%	55,7	96,7
	Intérieur		A-2	Conc Oli	6	266,5	57,5	120,5	75,5	86,73	99,6	1,9	0,84	Oui	289,4	1102,0	85%	55,7	96,7
		été	A-2	Conc Oli	6	266,5	57,5	120,5	75,5	86,73	99,6	1,9	0,84	Oui	289,4	1102,0	85%	55,7	96,7
	Intérieur	été		Conc Oli	11	266,5	17,6	82,7	57,5	75,64	61,9	2,1	0,94	Oui	217,3	531,0	60%	39,8	77,4
		été		Conc Oli	18	266,5	15,0	59,6	37,4	65,37	41,6	2,2	0,93	Oui	156,3	299,5	40%	26,0	55,7
Installateur	Intérieur	été		Conc Oli	7	266,5	17,6	96,7	50,6	93,30	66,0	2,6	0,95	Oui	310,9	1623,4	61%	35,5	81,5
Installateur	Intérieur		B-2	Conc Oli	7	188,6	11,3	50,5	21,7	63,69	30,7	2,7	0,91	Oui	159,0	919,5	31%	12,4	57,0
Installateur	Intérieur			Conc Oli	12	266,5	11,3	81,5	50,1	84,59	49,6	2,9	0,94	Oui	283,1	898,8	49%	30,8	67,3
Installateur	Intérieur	hiver		Conc Oli	5	188,6	11,3	60,1	21,7	75,11	33,3	3,3	0,9	Oui	234,6	4885,9	36%	13,5	66,4
Installateur	Intérieur	hiver	B-2	Conc Oli	5	188,6	11,3	60,1	21,7	75,11	33,3	3,3	0,9	Oui	234,6	4885,9	36%	13,5	66,4
	Extérieur			Conc Oli	16	42,5	0,2	21,0	17,7	14,10	13,5	3,9	0,76	Non	124,1	405,6	16%	7,0	32,0
Assistant				Conc Oli	11	81,9	0,7	31,8	23,6	25,91	18,6	4,0	0,87	Oui	183,7	938,1	23%	10,2	44,1
	Intérieur			Conc Oli	18	266,5	0,7	67,5	50,1	73,21	34,7	4,2	0,91	Oui	371,8	1191,1	39%	25,5	55,3
				Conc Oli	34	266,5	0,2	45,6	26,1	58,35	22,3	4,3	0,91	Non	245,1	532,2	28%	19,2	39,8
Installateur				Conc Oli	23	266,5	0,2	52,2	28,7	68,28	24,3	4,5	0,9	Non	291,5	819,1	31%	19,8	45,2
Installateur	Extérieur			Conc Oli	11	42,5	0,2	20,3	15,3	15,46	11,2	4,9	0,8	Non	150,9	962,7	17%	6,1	36,9
	Intérieur		B-2	Conc Oli	9	188,6	0,7	39,8	17,6	59,14	16,0	5,0	0,97	Oui	226,7	2120,3	24%	9,3	46,8
Installateur			B-2	Conc Oli	14	188,6	0,2	33,7	16,4	48,17	14,7	5,1	0,9	Oui	211,4	1016,1	22%	10,4	40,1
			B-2	Conc Oli	18	188,6	0,2	29,5	14,4	43,64	12,1	5,2	0,93	Oui	179,2	673,8	19%	9,2	34,1

Tâche	Localisation	Saison	Mousse	Paramètre	Nombre (n)	Maximum (max)	Minimum (min)	Moyenne arithmétique (µg/m³)	Médiane	Écart-type (s)	Moyenne géométrique (µg/m³)	Écart-type géométrique (GSD)	Test W sur les données log-transformées	Log normal (α = 0,05) ?	95ieme Percentile	LTsup. 95%,95%	Fraction de dépassement la VEA	LCinf. 1,95% %>VEA	LCsup. 1,95% %>VEA
	Extérieur		B-2	Conc Oli	9	42,5	0,2	19,1	12,1	17,60	9,2	5,5	0,84	Oui	153,2	1645,5	16%	4,9	38,3
	Extérieur	hiver		Conc Oli	9	42,5	0,2	19,1	12,1	17,60	9,2	5,5	0,84	Oui	153,2	1645,5	16%	4,9	38,3
		hiver	B-2	Conc Oli	16	188,6	0,2	29,8	12,8	46,33	11,0	5,6	0,95	Oui	186,1	840,4	19%	8,6	34,8
		hiver		Conc Oli	16	188,6	0,2	29,8	12,8	46,33	11,0	5,6	0,95	Oui	186,1	840,4	19%	8,6	34,8
	Intérieur	hiver		Conc Oli	7	188,6	0,7	43,6	13,4	67,53	14,0	6,2	0,98	Oui	283,8	7006,3	24%	8,3	50,8
Installateur	Extérieur		B-2	Conc Oli	7	42,5	0,2	16,8	12,1	17,54	7,1	6,4	0,89	Oui	148,4	3815,3	14%	3,4	40,5
Installateur	Extérieur	hiver	B-2	Conc Oli	7	42,5	0,2	16,8	12,1	17,54	7,1	6,4	0,89	Oui	148,4	3815,3	14%	3,4	40,5
Installateur	Extérieur	hiver		Conc Oli	7	42,5	0,2	16,8	12,1	17,54	7,1	6,4	0,89	Oui	148,4	3815,3	14%	3,4	40,5
Assistant	Intérieur			Conc Oli	6	81,9	0,7	39,5	45,3	32,76	17,1	6,8	0,83	Oui	400,2	20907,1	28%	10,1	57,3