

# **Pulvérisation au pistolet de vernis et peintures contenant des isocyanates dans les carrosseries – un état des lieux dans quatre cantons suisses**

---



### Auteurs

Catherine Tomicic - IST Lausanne, Chantal Scheen - ORCT Neuchâtel, Jean Parrat - SEE Delémont,  
Christophe Iseli - ICT Fribourg, Stéphane Glassey - SPT Sion, Patrick Gerber - ORCT Neuchâtel

### Laboratoires

LIST - Laboratoire intercantonal de santé au travail (NE, JU, FR) - Peseux  
Sabine Unternährer et Marie-Eve Wyniger

IST – Institut universitaire romand de Santé au Travail - Lausanne  
Grégory Plateel

# 1. Introduction

## 1.1. Généralités

L'évaluation de l'exposition professionnelle aux isocyanates demeure encore un grand défi pour plusieurs raisons. Il suffit de penser à la diversité des produits existants sur le marché ou encore à la manière d'appliquer le produit (aérosols et/ou vapeur).

Les isocyanates<sup>1</sup> sont des substances chimiques organiques caractérisées par la présence d'un ou de plusieurs groupements réactionnels isocyanates (NCO), aussi appelés fonctions isocyanates, attachés à un radical organique. De plus, ils se distinguent entre eux par le nombre de groupements isocyanates (NCO) que porte le radical organique. On parle alors des monoisocyanates, diisocyanates, triisocyanates, etc. La nature du radical organique peut être aromatique, aliphatique ou alicyclique. Ces substances peuvent être regroupées en trois familles, suivant le nombre de fonctions isocyanates : les monoisocyanates, contenant une seule fonction isocyanate ou les diisocyanates avec deux fonctions isocyanates NCO. Ces derniers sont surtout utilisés pour la fabrication des polyuréthanes.

Les isocyanates peuvent causer des effets sur la santé cutanée et respiratoire. Ce sont de puissants irritants et sensibilisants. Une des principales atteintes pulmonaires est représentée par l'asthme professionnel. Celui-ci peut se manifester après plusieurs mois ou plusieurs années d'exposition. A partir du moment où une personne a été sensibilisée aux isocyanates, une nouvelle exposition même à une concentration très faible et inférieure aux valeurs limites d'exposition professionnelle existantes peut déclencher une violente réaction allergique. Un asthme aux isocyanates implique très souvent un changement de poste de travail ou même de profession.

Actuellement, les données du terrain montrent que même lorsque des mesures techniques ont été mises en place, il y a un risque de dépassement des valeurs limites lors de la pulvérisation de vernis et peintures contenant des isocyanates. Ceci est bien souligné par la Suva, dans son feuillet n° 44054 qui préconise l'utilisation de masques isolants (à apport d'air frais) ou appareils

---

<sup>1</sup> Guide de prévention pour une utilisation sécuritaire des isocyanates : Démarche d'hygiène du travail. RG-764, IRSST, 2013.

filtrants à ventilation assistée. Des références internationales mettent également en évidence ces observations<sup>2</sup>.

A niveau international, d'autres institutions comme le *Health and Safety Executive* (HSE) en Grande-Bretagne ou encore l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) au Québec préconisent même seulement le masque à apport d'air frais<sup>1,3</sup>. L'IRSST rappelle dans son guide qu'aucun appareil de protection respiratoire à cartouche chimique n'est approuvé par le NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health – USA), notamment à cause du seuil olfactif très élevé des isocyanates. Le HSE souligne juste le fait qu'il est important de ne pas lever la visière entre deux applications par pulvérisation de peintures à base d'isocyanates<sup>4</sup>. En effet, il a été observé que les opérateurs ont une tendance à lever la visière pour faire un contrôle visuel de ce qui a été fait. Mais il a été clairement montré qu'entre deux pulvérisations, la concentration en isocyanates dans la zone proche de l'opérateur reste élevée, même dans une zone bien ventilée comme une cabine de peinture.

Les enquêtes du terrain montrent que l'immense majorité des entreprises de la branche utilisent des protections respiratoires du type masque ou demi-masque à cartouches filtrantes pour les travaux de giclage au pistolet.

L'ordonnance relative à la prévention des accidents et des maladies professionnelles lors de travaux de peinture par pulvérisation au pistolet<sup>5</sup> préconise l'utilisation d'un masque isolant ou d'un masque avec filtre à charbon actif. De plus, les fabricants d'équipements de protection individuels continuent de recommander l'emploi de masques filtrants passifs (demi-masque ou masque complet) pour ces travaux de pulvérisation. Si ces masques passifs présentent une protection suffisante vis-à-vis des solvants qui composent les peintures, tel n'est pas le cas vis-à-vis des isocyanates présents dans la plupart des produits à 2 composants (durcisseur).

---

<sup>2</sup> Reeb-Whitaker C, Whittaker SG, Ceballos DM, Weiland EC, Flack SL, Fent KW, Thomasen JM, Trelles Gaines LG and Nylander-French LA (2012) Airborne isocyanate exposures in the collision repair industry and a comparison to occupational exposure limits. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* **9**, 329-339.

<sup>3</sup> Safety in isocyanate paint spraying- Guidance INDG388(rev2) published by the Health and Safety Executive (HSE), 2014.

<sup>4</sup> Clyton M and Baxter N (2015) Air-fed visors used for isocyanate paint spraying – Potential exposure when the visor is lifted. *Ann Occup Hyg* **59(9)**, 1179-1189.

<sup>5</sup> RS 832.314.12 (Suva ref. 1731)

Le projet qui a été mené en Angleterre par le HSE montre aujourd'hui qu'il y a clairement une diminution des cas d'asthmes professionnels liés aux isocyanates<sup>6,7,8</sup>. Dans les années 90, cette maladie professionnelle faisait en effet partie des principales observées dans le pays. Le projet consistait entre autres à récolter des données du terrain et à partir de là, proposer des *Safety and Health Awareness Days* (SHADs) et d'encourager des contrôles par les hygiénistes du travail. Une étude semblable a été menée aux Etats-Unis avec les mêmes observations et conclusions<sup>9</sup>.

Même si une référence<sup>10</sup> cite le fait que les masques respiratoires avec cartouches filtrantes peuvent être adaptés à l'activité professionnelle étudiée dans les carrosseries et ceci, si les utilisateurs ont été correctement sensibilisés et formés pour une bonne utilisation, nous émettons l'hypothèse que dans la réalité du terrain, ce type de protection respiratoire n'est pas adapté car il existe trop de déterminants d'exposition qui peuvent influencer l'exposition professionnelle des carrossiers aux isocyanates. Afin de connaître la situation effective en Suisse, une campagne de mesures a été menée dans une trentaine de carrosseries réparties dans quatre cantons (VS, JU, NE, FR) en se focalisant sur la détermination dans l'air d'un des isocyanates le plus répandu, le diisocyanate d'hexaméthylène (HDI) et de ses pré-polymères. De plus, un autre objectif consiste à évaluer l'exposition indirecte des travailleurs à ce même isocyanate pour mettre en avant une éventuelle contamination de l'atelier et des locaux adjacents lors de travaux de giclage dans la cabine de peinture. Finalement, nous aimerions aussi mettre en évidence un potentiel lien entre un type d'activité (peintres, carrossiers, soudeurs, secrétaire, etc..) et la concentration urinaire d'un indicateur biologique d'exposition (un métabolite issu de la transformation du HDI dans l'organisme).

---

<sup>6</sup> Piney M, Llewellyn D, O'Hara R, Saunders J, Cocker J, Jones K and Fishwick D (2015) Reducing isocyanate exposure and asthma risk in motor vehicle repair. *International Journal of Workplace Health Management* **8(4)**, 272-283.

<sup>7</sup> Jones K, Cocker J and Piney M (2013) Isocyanate exposure control in motor vehicle paint spraying : evidence from biological monitoring. *Ann Occup Hyg* **57(2)**, 200-209.

<sup>8</sup> Stocks SJ, Jones K, Piney M and Agius RM (2014) Isocyanate exposure and asthma in the UK vehicle repair industry. *Occupational Medicine* **65**, 713-718.

<sup>9</sup> Sparer J, Stowe MH, Bello D, Liu Y, Gore RJ, Youngs F, Cullen MR, Redlich CA and Woskie SR. Isocyanate exposures in autobody shop work: The SPRAY study. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* **1**, 570-581.

<sup>10</sup> Liu Y, Stowe MH, Bello D, Woskie SR, Sparer J, Gore R, Youngs F, Cullen MR and Redlich CA (2006) Respiratory protection from isocyanate exposure in the autobody repair and refinishing industry. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* **3**, 234-249.

## 1.2. Effets sur la santé

Les isocyanates ont été découverts en Allemagne, par un certain Wurtz, en 1849, mais leur commercialisation ne débute que lors de la seconde guerre mondiale par la production du premier isocyanate, le diisocyanate de toluène (TDI). Il servira à la fabrication de mousse de polyuréthane.

L'explosion<sup>11</sup>, le 3 décembre 1984, dans une usine de pesticide à Bhopal en Inde illustre le danger des isocyanates. Une infiltration d'eau dans un réservoir de 41 tonnes d'isocyanates de méthyle est à l'origine de cette explosion qui a fait plus de 360'000 victimes à des degrés divers.

Les isocyanates agissent de trois manières différentes au niveau de la santé. En effet, ils possèdent des propriétés<sup>12</sup>:

- irritative au niveau de la peau et de toutes les muqueuses avec lesquelles elles entrent en contact,
- immunologique en ayant la capacité de se lier à une protéine pour former un antigène et déclencher un processus allergique. Le mécanisme de l'allergie aux isocyanates reste encore incompris. Il n'existe pas de corrélation entre la présence d'Immunoglobuline E (IgE) dans le sang du travailleur et le développement d'un asthme aux isocyanates,
- pharmacologique, réaction broncho-constrictive via les muscles lisses de l'arbre bronchique.

En Suisse <sup>13</sup>, les affections respiratoires représentent 17% des coûts des maladies professionnelles et plus des 2/3 si on y ajoute les maladies professionnelles dues à l'amiante. La moitié des 300 à 350 décisions d'inaptitude annuelle déclarées par la Suva concerne des travailleurs souffrant de pathologies des voies respiratoires. On dénombre +/- 500 maladies professionnelles des voies respiratoires dont 120 pour l'asthme professionnel, 115 pour les plaques pleurales, 90 pour les maladies des voies aériennes supérieures et 80 à 100 pour le mésothéliome. Les dix causes les plus fréquentes des maladies professionnelles reconnues sont: poussières de farine et céréales, poussières organiques, isocyanates, poussières de bois, résine époxy, métaux, encre et vernis, fluide de coupe, produits pharmaceutiques, contact avec animaux.

L'absorption se fait essentiellement par voie respiratoire soit sous forme de vapeur soit sous forme de gouttelettes lors de l'application au pistolet de peintures ou de vernis polyuréthanes.

---

<sup>11</sup> Michel Boutin, Jacques Lesage, Claude Ostiguy Michel J. Bertrand Identification et quantification des isocyanates générés lors de la dégradation thermique d'une peinture automobile à base de polyuréthane. IRSST, rapport, mai 2005.

<sup>12</sup> Daniel Nadeau. Les isocyanates et leurs effets sur la santé DSP. Montérégie, automne 2000.

<sup>13</sup> Congrès "Activité professionnelle et voies respiratoire " de la SSMT et Suva, 15 mars 2012.

Le seuil olfactif<sup>14</sup> est trop élevé pour assurer une détection sûre de la présence d'isocyanates.

L'absorption cutanée n'est pas formellement démontrée mais il existe quelques études démontrant que l'exposition cutanée est également liée à la sensibilisation aux isocyanates et à l'asthme.

Une étude dans l'Orégon<sup>15</sup>, d'envergure limitée, a démontré que le HDI monomère et polymère pénètre rapidement au niveau de la peau et que l'exposition cutanée peut significativement contribuer à la dose interne reçue par les travailleurs professionnellement exposés. L'étude a été réalisée, *in vitro*, sur des morceaux de peau humaine. Elle a, de plus, démontré qu'il existait des différences de pénétration, entre un vernis à séchage lent et un vernis à séchage rapide.

En remarquant que le taux d'asthme aux isocyanates ne diminuait pas malgré l'amélioration des conditions d'utilisation de ces derniers, Bello et al.<sup>16</sup> ont revu et analysé la littérature de 1951 à nos jours afin d'évaluer le rôle et la relation de l'exposition cutanée dans le développement de l'asthme. Plusieurs études sur les animaux ont démontré clairement que l'exposition cutanée peut induire une sensibilisation systémique qui, avec une exposition respiratoire ultérieure peut conduire à l'asthme. Des contrôles, dans lequel les animaux ont été exposés uniquement par la peau, ont montré à contrario que cette exposition seule ne provoque pas de réaction asthmatique. Au niveau humain, des études épidémiologiques et des études de cas montrent que l'exposition cutanée aux isocyanates peut augmenter le risque pour la sensibilisation et l'asthme. Les cas étudiés suggèrent que l'asthme peut se produire dans les milieux de travail où l'exposition respiratoire mesurée était inférieure au seuil de détection et que donc l'exposition cutanée est une voie d'exposition notable.

Redlich CA<sup>17</sup>, en 2010, appuie le concept que la peau peut être une voie d'entrée importante pour certains allergènes environnementaux et professionnels comme les isocyanates.

L'absorption par voie digestive est essentiellement accidentelle.

---

<sup>14</sup> Guide de prévention pour une utilisation sécuritaire des isocyanates, démarche d'hygiène du travail. IRSST, RG-764 novembre 2013.

<sup>15</sup> Thomasen Jennifer M., Nylander-French Leena A. Penetration patterns of monomeric and polymeric 1,6-hexamethylene diisocyanates monomeric in human skin J. Environ.Monit.,2012, 14,951.

<sup>16</sup> Bello D, Herrick, Smith T.j, Woskie S.R, Steicher R., Cullen M.R, Liu Y., Redlich. Skin Exposure to isocyanates: Reason for Concern, Environ Health Perspect. 2007 Mar, 115 (3), 328-335.

<sup>17</sup> Redlich C.A. Skin Exposure and Asthma Proc Am Thorac Soc.2010 May 1;7(2): 134-137.

### 1.2.1. Effets aigus

Tous les isocyanates<sup>11</sup> sont des irritants de la peau (rougeur et même parfois brûlure du 3<sup>ème</sup> degré), des muqueuses oculaires (larmoiement, conjonctivite, atteinte de la cornée) et de la muqueuse des voies respiratoires (sécheresse du nez, de la gorge et parfois de la toux).

#### *Le syndrome d'irritation bronchique*

Lors d'une exposition à de fortes concentrations de substances irritantes (notamment les isocyanates), on peut observer une atteinte bronchique aiguë semblable à celle d'une brûlure chimique. Härkönen<sup>18</sup> et ses collaborateurs ont été les premiers à décrire ces symptômes avant que les américains<sup>19</sup> proposent en 1985 l'expression de "Reactive Airways Dysfunction syndrome (RADS)". Le RADS se caractérise par une respiration sifflante, une toux persistante. Les symptômes peuvent apparaître immédiatement ou dans les 24h et l'hyperréactivité bronchique peut durer jusqu'à trois mois. Le froid et l'effort peuvent aggraver les symptômes. A chaque fois que le travailleur sera en présence d'infimes quantités d'isocyanates, inférieures aux normes en vigueur, il présentera des manifestations asthmatiques.

### 1.2.2. Effets chroniques

Les effets chroniques sont avant tout de type allergique donnant de l'asthme.

L'asthme<sup>20</sup> est une maladie inflammatoire chronique affectant les voies respiratoires. Elle se caractérise par une obstruction réversible, spontanément ou par traitement médicamenteux. Les signes cliniques sont une respiration sifflante, un souffle court, une toux, une oppression respiratoire. L'activité professionnelle constitue une source importante d'exposition potentielle à des substances capables de déclencher une crise d'asthme.

L'asthme<sup>21</sup> professionnel est une obstruction des voies aériennes variable au cours du temps, causée par un agent chimique professionnel. Selon la littérature, la prévalence de l'asthme professionnel est comprise entre 9 à 15 % de tous les cas d'asthme de l'adulte.

Les mécanismes impliqués dans l'asthme professionnel sont de type immunologique (IgE – dépendant ou –indépendant) ou non-immunologique suivant l'agent causal (voir tableau 1 ci-dessous).

---

<sup>18</sup> Härkönen H, Nordman H, Korhonen O, Winblad I Long-term effects of exposure to sulfur dioxide. Am Rev Respir Dis 1983; 128:890-893.

<sup>19</sup> Brooks SM, Weiss MA, Bernstein IL. Reactive airways dysfunction syndrome(RADS); persistent asthma syndrome after high level irritant exposures. Chest 1985; 88:376-84.

<sup>20</sup> Mapp CE, Boschetto P, Maestrelli P, Fabbri LM. Occupational asthma. Am J Respir Crit Care Med 2005; 172:280-305.

<sup>21</sup> S. Janin, T. Rochat Phénotypes de l'asthme sévère persistant de l'adulte Rev Med Suisse 2007.

Les substances IgE-dépendantes sont des antigènes en soi et vont directement provoquer une réaction qui dure de 90 à 120 minutes. A l'inverse, les substances IgE-indépendantes doivent se lier à une protéine dans l'organisme pour constituer un antigène. La réponse sera retardée et peut durer 24 heures ou plus.

*Tableau 1 : Mécanismes impliqués dans l'asthme professionnel*

Mécanisme	Principales substances incriminées
Immunologique, IgE-dépendant	Haut poids moléculaire: protéines animales et végétales, poussières de bois Bas poids moléculaire: acrylates, anhydrides, certains métaux...
Immunologique, IgE-indépendant	Bas poids moléculaire: isocyanates....
Non immunologique	Irritantes: gaz, fumées

Deux facteurs de risques individuels peuvent rentrer en ligne de compte: l'atopie et le tabagisme.

Le tabac a été mis en cause pour l'asthme attribuable aux produits de faibles poids moléculaires.

L'atopie qui est une prédisposition à développer une allergie ne constitue pas un facteur favorisant dans le cas d'asthme déclenché par des produits de faible poids moléculaire comme les isocyanates contrairement aux allergènes de haut poids moléculaire de mécanisme IgE-dépendant (farines).

Dans la littérature, on note que certaines personnes, suivant leur bagage génétique, seraient plus disposées à développer de l'asthme.

L'asthme aux isocyanates présente les mêmes symptômes que l'asthme non-professionnel. Lorsque l'individu travaille de façon répétée à des doses relativement faibles aux isocyanates, il peut s'y sensibiliser en moyenne après une période de travail de trois à quatre ans. Les signes cliniques apparaissent le soir ou pendant la nuit. Lorsque la sensibilisation est déclenchée, le maintien du travailleur à son poste de travail devient difficile.

Comme déjà mentionné, les isocyanates peuvent causer, par leur propriété irritative, une inflammation des bronches. Ils ont une action pharmacologique et peuvent provoquer une hyperréactivité des muscles lisses péribronchiques. Leur propriété immunologique déclencherait la formation IgE. Ces IgE sont retrouvés seulement chez 10 à 30% des travailleurs souffrant d'asthme aux isocyanates (pourcentage nettement plus élevé pour les autres composés de faible poids moléculaire).

Contrairement aux autres produits à faible poids moléculaire, la réaction apparaît rarement immédiatement au cours de l'exposition.

### 1.3. *Surveillance biologique*

La surveillance biologique d'exposition ou "biomonitoring" consiste à mesurer, dans les milieux biologiques (essentiellement le sang, l'urine, l'air expiré et la salive) de travailleurs exposés à des substances chimiques, des indicateurs biologiques d'exposition qui peuvent être soit le toxique lui-même ou soit un métabolite. Le biomonitoring complète la surveillance atmosphérique pour apprécier l'exposition du travailleur aux substances toxiques et permet d'intégrer toutes les voies d'absorption (respiratoire, cutané, digestive). Elle permet également d'apprécier l'efficacité du port de protections individuelles.

La surveillance pour les isocyanates est disponible depuis de nombreuses années et est fondée sur l'analyse des dérivés aminés libérés par hydrolyse soit dans l'urine soit dans le sang. Les isocyanates sont rapidement hydrolysés au niveau du tractus respiratoire en amines correspondantes et circulent dans le sang sous cette forme ou liées à des protéines sériques. Ils sont rapidement acétylés au niveau du foie. Leur métabolisme est mal connu. L'amine acétylée est éliminée essentiellement dans les urines: 10 à 20 % de la quantité inhalée des isocyanates sont retrouvés dans les urines sous forme de diamines. Plus de 80 % des dérivés aminés sont éliminés dans les 6 heures qui suivent la fin du poste.

L'exposition professionnelle aux isocyanates est souvent un mélange de monomères et oligomères (NCO). Les relations entre la surveillance biologique et l'exposition de l'air au NCO total ne sont pas évidentes.

Il y a quelques études<sup>22,23</sup> sur des volontaires et de nombreuses études d'exposition professionnelle aux isocyanates monomères purs impliquant une surveillance biologique et l'exposition dans l'air. Ces études montrent une bonne corrélation entre l'exposition (principalement respiratoire) et le taux de biomarqueurs urinaires ou sanguins. Cela dit, la concentration de HDI monomère dans les peintures est généralement inférieure à 1% et les composants principaux sont des oligomères HDI (Rosenberg&Savolainen 1986). Rosenberg et Savolainen ont exposé cinq peintres en automobile à des peintures à base de HDI dont la concentration d'isocyanates était de 0,24% de monomères et de 34% d'oligomères. La concentration maximale d'hexaméthylènediamine urinaire (HDA) dans les urines est survenue 15 minutes après l'exposition pour une moyenne de +/-63 µmole/mole de créatinine. Ces résultats montrent que l'on ne détecte pas seulement le monomère. Ceci correspond aux études avec les volontaires utilisant des monomères purs.

Pronk<sup>24</sup> a détecté du HDA dans les urines même chez les travailleurs de carrosseries ne faisant pas de la peinture au pistolet.

---

<sup>22</sup> Cocker John Biological Monitoring for isocyanates Ann Occup Hyg (2011) 55 (2): 127-131.

<sup>23</sup> Jones K., Cockers J., Piney M., Isocyanates exposure control in motor vehicle paint spraying: evidence from biological monitoring Ann. Occup. Hyg., Vol 57, N 2 pp. 200-209,2013.

<sup>24</sup> Pronk A, all Dermal, inhalation, and internal exposure to 1,6-HDI and its oligomers in car body repair shop workers and industrial spray painters, Occup Environ Med. 2006 Sep; 63(9): 624-6

### 1.3.1. Indicateurs biologiques d'exposition sanguins

Comme déjà mentionné, la détection des IgE sanguins n'est pas constante pour l'exposition aux isocyanates. La corrélation entre la maladie et la détection des IgE est faible.

Des études québécoises<sup>25</sup> récentes ont montré que des tests d'activation des basophiles (TAB) pourrait être un test diagnostique peu invasif (prise de sang) et un facteur prédictif pour le diagnostic subséquent de l'asthme professionnel. Etude à suivre.

L'analyse d'albumine-adduits plasmatique<sup>21</sup> serait non seulement un marqueur de l'exposition mais aussi de la sensibilisation. Ces adduits plasmatiques sont stables. Ils ont une demi-vie de 20 à 25 jours. Par conséquent, le moment de l'échantillonnage n'est pas aussi critique que pour les échantillons d'urine.

### 1.3.2. Indicateurs biologiques d'exposition urinaires

Le biomonitoring urinaire est non-invasif, plus pratique et largement utilisé pour évaluer l'exposition professionnelle à des agents chimiques.

En 2001 le HSE<sup>3</sup> a lancé un programme de réduction des maladies respiratoires professionnelles. Ils se sont essentiellement concentrés sur l'asthme professionnel et plus spécifiquement sur l'asthme aux isocyanates. Pour améliorer la compréhension et la prise de conscience des entreprises, le HSE a développé le Projet Carrosserie (2004-2007) notamment par le biais de journées de sensibilisation à la santé et sécurité (Safety and Health Awareness Days ou SHADs). L'objectif était d'améliorer l'exposition aux isocyanates dans +/- 20 % des carrosseries pour 2008. Une surveillance biologique, basée sur le dosage urinaire du HDA a été faite avant, pendant et après les SHADs. Cette étude a dévoilé des niveaux de l'HDA globalement plus bas chez les peintres respectant les consignes des SHADs. Ces niveaux plus faibles se sont maintenus durant les années suivantes. Bien que l'on puisse attribuer la réduction de l'exposition à plusieurs facteurs, l'étude montre que les messages concernant les mesures à respecter lors de l'utilisation des isocyanates communiquées notamment lors des SHADs, ont fait leur effet. De plus, l'analyse dans les urines est une technique utile pour l'évaluation de l'exposition aux isocyanates des peintes en carrosseries utilisant des aérosols. La simplicité de cette approche a permis de viser les petites entreprises.

---

<sup>25</sup> Karim Maghni, Jean-Luc Malo, Catherine Lemièrre Exposition à des agents pouvant causer l'asthme professionnel – utilisation du test d'activation des basophiles pour l'identification précoce de la sensibilisation allergique chez les travailleurs. IRSST, 08 décembre 2015.

Le dosage de l'HDA urinaire immédiatement en fin de poste de travail (dans les 2 heures) est bien corrélé avec les concentrations de HDI des dernières heures de travail. Ce dosage est sensible, très spécifique, utile pour apprécier l'absorption cutanée. Gaines et al. (2010)<sup>26</sup> ont observé 48 peintres de 36 garages. Ils ont pris en compte l'exposition cutanée et respiratoire au HDI et mesuré l'HDA urinaire. Ils ont prélevé un échantillon d'urine avant de commencer le travail et d'autres échantillons d'urine pendant et après la peinture au pistolet. Après différentes mesures, les auteurs ont rapporté une corrélation significative entre l'inhalation et l'exposition cutanée au HDI et les concentrations en HDA mesurées dans l'urine des travailleurs exposés au HDI. Au bout de 15 heures, plus d'HDA n'a pu être détecté.

Mirmohammadi et al. (2010)<sup>27</sup> ont étudié 100 échantillons d'air et 50 échantillons d'urine de travailleurs de cinq entreprises de transformation de polyuréthane en Iran. Les auteurs ont trouvé une corrélation significative ( $p < 0,001$ ) entre les concentrations de HDI dans l'air et du HDA dans les urines.

Même si le dosage d'HDA dans l'urine ne permet pas de distinguer entre une exposition au HDI monomère ou oligomère (Creely et al. 2006)<sup>28</sup>, les études internationales concernant la surveillance biologique des peintres en carrosserie admettent actuellement ce dosage comme acceptable.

Pour définir la valeur biologique tolérable (VBT), on se réfère à la BAT allemande qui est de 15 µg d'hexaméthylènediamine/g de créatinine. L'étude de Maître et al. (1996)<sup>29</sup> a servi à déterminer cette valeur. Les auteurs ont repris 19 travailleurs d'une entreprise de production de HDI monomère. Ils ont analysé l'exposition de l'air et le HDA urinaire après 8 heures de travail et ont montré une bonne corrélation entre l'HDI dans l'air et l'HDA dans l'urine.

---

<sup>26</sup> Gaines LGT, Fent KW, Flack SL, Thomasen JM, Ball LM, Richardson DB, Ding K, Whittaker SG, Nylander-French LA (2010) Urine 1,6-hexamethylene diamine (HDA) levels among workers exposed to 1,6-hexamethylene diisocyanate (HDI). *Ann Occup Hyg* 54: 678–691.

<sup>27</sup> Mirmohammadi M, Ibrahim MH, Ahmad A, Kadir MOA, Mohammadyan M, Mirashrati SB (2010) Indoor air pollution evaluation with emphasize on HDI and biological assessment of HDA in the polyurethane factories. *Environ Monit Assess* 165: 341–347.

<sup>28</sup> Creely K.S, Hughson G,W, Cocker J., Jones K (2006) assessing Isocyanate Exposures in Polyurethane Industry Sectors Using Biological and Air Monitoring Methods, *The Annals of Occupational Hygiene*, vol 50 (6), pp 609-621.

<sup>29</sup> Maitre A, Berode M, Perdrix A, Stoklov M, Mallion JM, Savolainen H (1996) Urinary hexane diamine as an indicator of occupational exposure to hexamethylenediisocyanate. *Int Arch Occup Environ Health* 69: 65–68.

## 2. Objectifs de l'étude

Les objectifs de l'étude menée dans les cantons du Valais, de Fribourg, de Neuchâtel et du Jura étaient les suivants :

- Vérifier l'efficacité des mesures organisationnelles, techniques et personnelles de prévention de l'exposition aux isocyanates dans un échantillon de carrosseries représentatif de la profession en Suisse ;
- Tester l'efficacité des différents équipements de protection personnelle portés par les peintres concernés et comparer leur efficacité l'un par rapport à l'autre ;
- Connaître l'exposition aux isocyanates du personnel occupé dans les carrosseries qui n'est pas en charge des travaux de peinture ;
- Connaître l'état technique des installations de peinture (cabine de peinture et local de mélange) ;
- Formuler des recommandations afin d'assurer la maîtrise du risque dû à l'exposition aux isocyanates ;
- Sensibiliser le personnel, les entreprises et la branche aux risques liés aux isocyanates et induire une modification du comportement ;
- Faire appliquer aux entreprises de la branche les mesures de prévention exigées par l'état de la technique en la matière.

### 3. Méthodologie

#### 3.1. Protocole d'étude

Une première étape était de mener une phase pilote en intervenant dans 4 carrosseries (une par canton) afin de faire une étude de faisabilité du projet en question.

Pour le choix des carrosseries dans lesquelles interviendrait ensuite la seconde étape, chaque inspecteur du travail a fourni une liste des carrosseries existantes pour le canton concerné. A partir de cette liste, une sélection (10 %) s'est faite non de manière aléatoire mais selon les connaissances du terrain de chacun. 31 carrosseries ont ainsi été choisies et évaluées.

L'approche générale appliquée par les hygiénistes du travail était de faire une photographie de la situation actuelle en carrosseries en ce qui concerne l'efficacité des mesures mises en place pour la protection des travailleurs. Pour cela, un programme de travail a été établi comme suit :

- Remplir le questionnaire « hygiène du travail » : un questionnaire technique, et évaluer aussi certains paramètres (vitesses de l'air à plusieurs endroits) de la cabine de peinture ;
- Mettre en place les prélèvements d'air (support de prélèvement : filtre en fibre de verre imprégné de 1 mg de 1,2-methoxyphenyl-pipérazine ; débit 1 l/min pendant 15 min ou plus pour les postes fixes en dehors de la cabine de peinture), en prélèvements fixes ou sur l'opérateur (au moins sur le peintre mais encore et surtout sur d'autres opérateurs travaillant en dehors de la cabine de peinture comme p.ex. le tôlier, en postes fixes dans l'atelier et autres locaux adjacents) ;
- A la fin des prélèvements d'air, les filtres sont directement plongés dans un flacon en verre contenant 3 ml d'acétonitrile distillé qu'on stockera au frais ;
- Faire remplir un formulaire de consentement aux participants (notamment par rapport à la surveillance biologique) ;
- Effectuer un prélèvement d'urine (flacon PE de 50 ml) par opérateur (idéalement celui ou ceux équipés du prélèvement d'air) en fin de poste ;
- Etiqueter le flacon d'urine avec un numéro d'échantillon qui sera aussi reporté dans le questionnaire médical et stocker au frais ;
- Mener le questionnaire médical à la fin de l'intervention avec la ou les personnes qui nous ont donné un échantillon d'urine.

Après l'intervention, l'hygiéniste du travail s'engageait à :

- Faire parvenir les prélèvements d'air au LIST (Laboratoire intercantonal de santé au travail à Peseux) et les échantillons d'urine au laboratoire de l'IST (Institut universitaire romand de santé au travail, UNIL, Lausanne) ;
- Donner un retour à la carrosserie en question dès réception des résultats, en collaboration avec un médecin du travail pour les aspects en lien avec la surveillance biologique.

### 3.2. *Méthodes analytiques utilisées*

#### 3.2.1. Analyse de HDI et oligomères dans les échantillons d'air

Les échantillons prélevés en postes fixes ou sur le personnel concerné ont directement été traités sur place (voir chapitre 3.1. ci-dessus) et transmis au LIST pour analyse par chromatographie liquide haute pression couplée avec un détecteur UV (HPLC/UV). La limite de détection de la méthode est de 0.07 µg/ml.

#### 3.2.2. Analyse de HDA dans les urines

Des prélèvements urinaires ont été faits à la carrosserie même en fin de poste de travail c'est-à-dire soit en fin de matinée, soit en fin de journée. Les analyses ont été réalisées à l'institut en santé au travail à Lausanne (IST). Le dosage de l'HDA dans l'urine a été effectué par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse, avec une limite de quantification de 0.50 µg/l et une limite de détection de 0.25 µg/l de HDA dans l'urine. La créatinine a été déterminée par colorimétrie. Les résultats ont été rendus en fonction de la créatinine urinaire.

### 3.3. *Questionnaire technique*

Le questionnaire technique permettait, entre autres, d'obtenir des informations unifiées relatives à la gestion des produits chimiques de l'entreprise, sur l'entretien de la cabine de peinture, sur la procédure de giclage de peintures, sur le nettoyage du matériel utilisé, sur le type de protection individuelle utilisé. Les utilisateurs étaient également interrogés sur leur perception du risque et la formation reçue en matière de port des protections respiratoires.

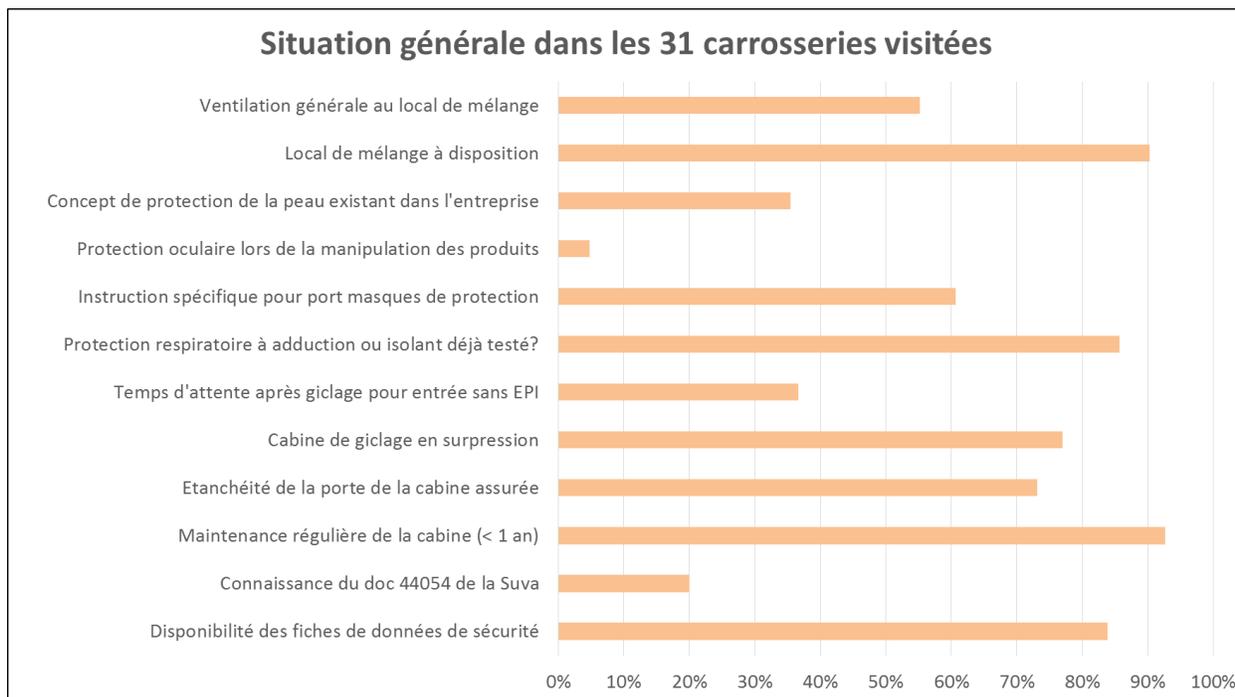
### 3.4. Questionnaire médical

Le questionnaire médical comportait des questions relatives au type de travail et équipements de protections individuelles, le tabagisme, les antécédents, les symptômes présentés et leur chronologie par rapport au travail. Les travailleurs ont rempli ce questionnaire soit seuls, soit en présence d'un médecin du travail.

## 4. Résultats

### 4.1. Questionnaire technique

Le questionnaire technique comportait un total de 28 questions. Le *Graphique 1* ci-dessous résume les réponses générales obtenues de toutes les carrosseries visitées dans les 4 cantons concernés pour douze questions d'ordre général. Les réponses ont été relevées par l'hygiéniste du travail durant sa visite des installations en compagnies des personnes occupées dans l'entreprise.



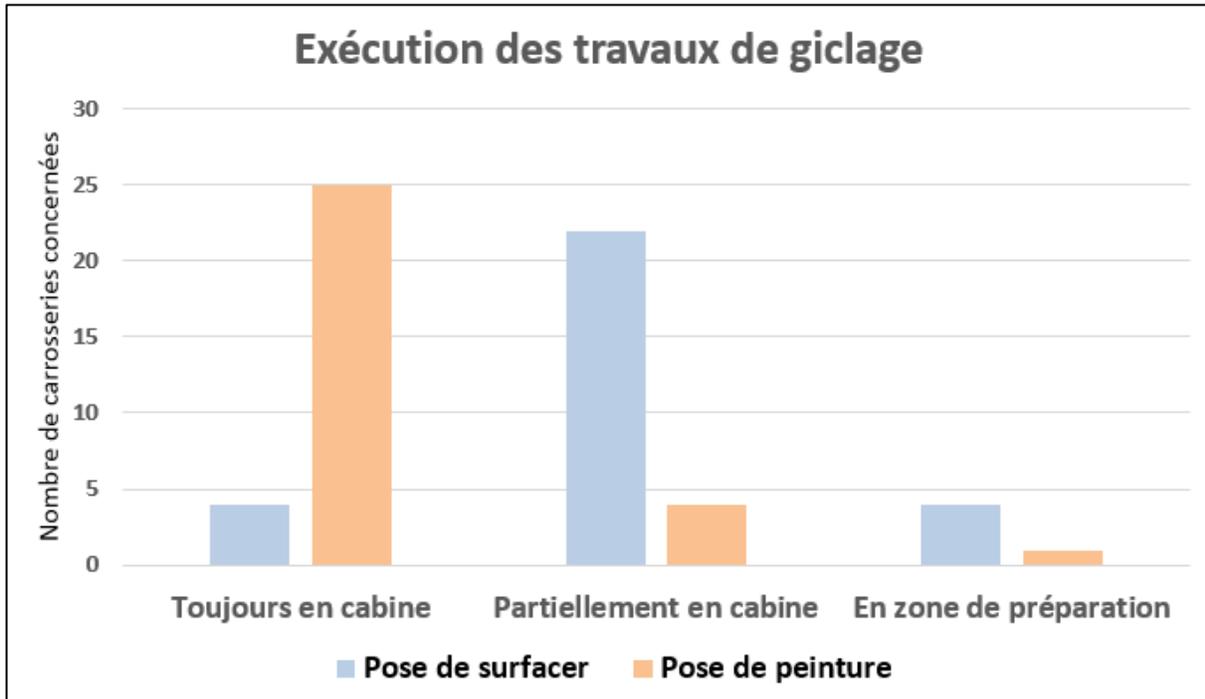
*Graphique 1 : Récapitulatif des réponses obtenues aux questions d'ordre général contenues dans le questionnaire technique pour toutes les carrosseries visitées*

Les fiches de données de sécurité sont disponibles dans 85% (n=26; 31 réponses) des entreprises visitées. Cela est notamment dû à la présence dans les zones de préparation des peintures d'un système informatique assurant un lien direct sur la banque de données des FDS fournies par le fabricant. La plupart des peintres ont accès facilement et spontanément à ces données, ce qui n'est pas le cas des personnes qui ne sont pas directement occupées aux travaux de peinture.

Le document de la Suva no. 44054, pourtant à la base des informations nécessaires à la prévention, n'est que peu connu : seules 20% (n=6; 31 réponses) des entreprises visitées en ont connaissance. Un effort d'information doit être réalisé en assurant notamment la distribution de ce document aux personnes occupées dans les carrosseries.

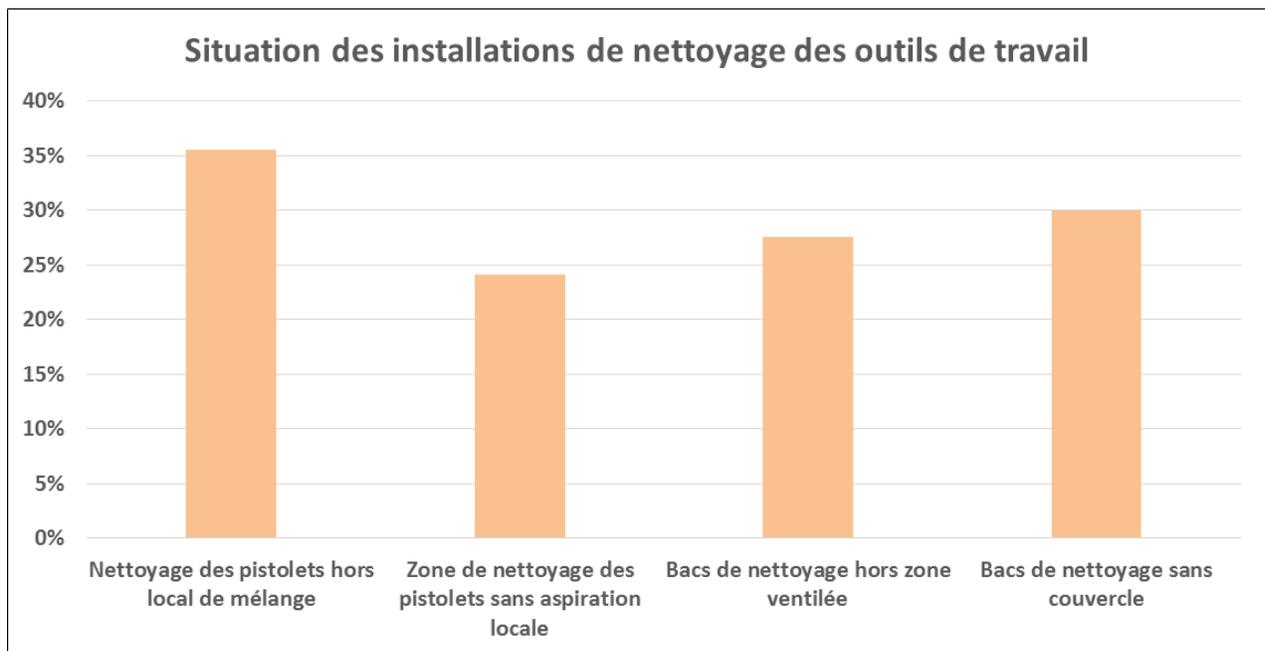
D'un point de vue technique, la totalité des entreprises visitées est équipée d'une cabine de peinture à l'exception d'une seule équipée uniquement d'une zone ventilée. La maintenance est assurée au minimum une fois par année dans 93% (n=25; 27 réponses) des cas. Durant l'exploitation, environ trois quarts (n=20; 26 réponses) des cabines de peinture sont en surpression par rapport aux autres locaux de l'entreprise. Cette situation est la règle : elle assure une zone de giclage exempte de poussières en provenance de l'extérieur. Lorsque la cabine de peintre n'est pas étanche (par exemple en raison d'une mauvaise fermeture des portes) cela peut entraîner une arrivée de traces d'aérosols et vapeurs de la zone de giclage vers les locaux adjacents. Plus du quart des installations visitées (n=10; 29 réponses) présentent une telle situation.

La plupart des entreprises visitées (87%; n=26; 30 réponses) réalisent leurs travaux de surfacer à l'extérieur d'une cabine ventilée (voir graphique 2 ci-après). En effet, à la question 'Les travaux de surfacer sont-ils réalisés dans une cabine fermée ventilée', 22 entreprises répondent qu'elles ne font des travaux de surfacer que partiellement en cabine alors que 4 les réalisent dans une zone ventilée (aspiration murale). Après vérification sur sites, les travaux de surfacer qui ne concernent qu'une zone relativement faible de surface à traiter ne sont jamais réalisés dans une cabine de peinture ventilée. Cela illustre particulièrement bien une situation insatisfaisante : les personnes occupées à cette activité (elles ne portent pas de masque à apport d'air) ne sont pas correctement protégées contre l'exposition aux aérosols contenant des isocyanates. De plus, la génération, même de courte durée, d'aérosols dans une zone non ventilée conduit à l'exposition, même faible, des autres personnes occupées à proximité. Cette situation n'est pas satisfaisante pour le cas d'un allergène.



Graphique 2 : Lieu d'exécution des travaux de giclage (surfacer et peinture)

La très grande majorité des entreprises visitées (90%; n=28; 31 réponses) disposent d'un local de mélange séparé. A peine plus de la moitié des locaux de mélanges visités (55%; n=16; 30 réponses) sont équipés d'une installation de ventilation générale. Lorsque cet équipement est présent, à plusieurs reprises, des défauts importants ont été constatés : débit inexistant ou trop faible, inversion des flux (aspiration en zone haute et arrivée d'air frais à proximité du sol). A une reprise au moins, l'air contaminé aspiré était même réinsufflé dans le local de mélange (installation relativement neuve). Enfin, la situation de ces locaux en matière de maîtrise du risque d'explosion est généralement tout à fait insatisfaisante : pas d'installation antidéflagrante (Ex), présence d'équipement ne respectant pas ce type de zone, etc. Cette situation est d'autant plus préoccupante que de l'acétone est utilisé en quantité relativement importante que ce soit pour nettoyer les pistolets (installation spécifique) ou faire tremper les outils souillés dans des bacs ouverts.



*Graphique 3 : Situation des installations de nettoyage des outils de travail*

Seuls les deux tiers des nettoyages des pistolets de giclage (65%; n=20; 31 réponses) sont réalisés dans le local de mélange. Les trois quarts des installations de nettoyage des pistolets (n=22 pour 29 réponses) sont équipés d'une aspiration locale de type 'hotte'. Presque 30% des bacs de trempage et de nettoyage des outils de travail ne sont pas installée en zone ventilée et autant ne disposent pas de couvercle de fermeture.

#### 4.2. Questionnaire médical

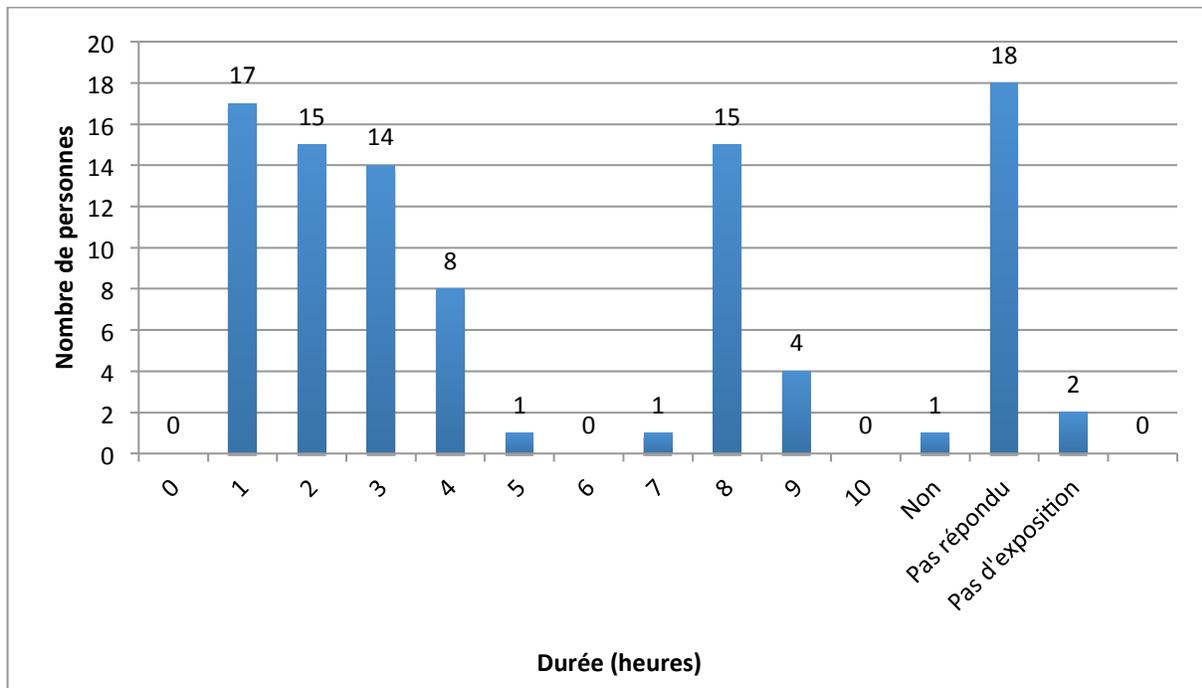
97 personnes ont participé à l'étude dont 92 hommes et 4 femmes. La moyenne d'âge est de 31 ans. L'âge minimum est de 15 ans et l'âge maximum de 65 ans.

Le groupe comprend 42 (43.3%) non-fumeurs, 39 (40.2%) fumeurs et 11 (11.3%) anciens fumeurs.

Dans le groupe de personnes étudiées, 79 (81.4%) d'entre elles ont répondu à la question sur la présence ou non de toux ou autres symptômes ORL. 22 (27,8%) ont répondu positivement à cette question et se plaignent soit de toux, rhinite, picotement gorge ou oculaire et d'irritation de la peau. Dans 68% des cas c'est-à-dire 15 travailleurs, ces symptômes seraient rythmés par le travail mais 73% d'entre eux ont des antécédents médicaux d'allergie, eczéma et/ou de rhume des foins. Aucun cas d'asthme n'a été diagnostiqué parmi les personnes interrogées.

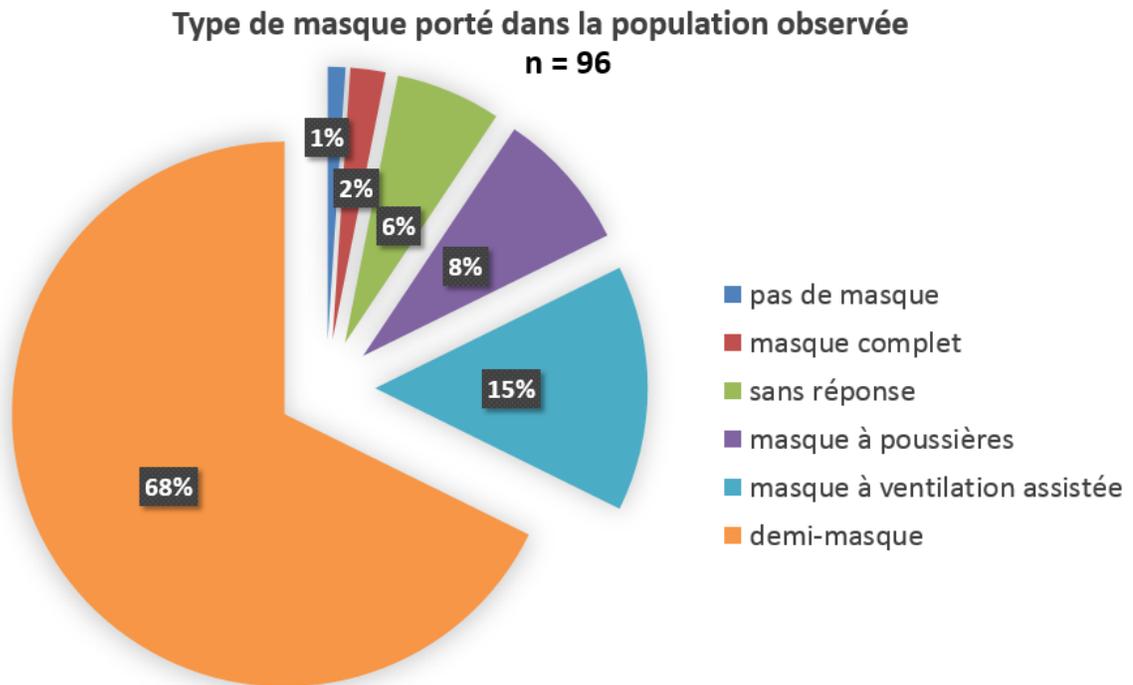
94% des travailleurs ont répondu à la question relative au nombre d'années passées en carrosserie. La durée annuelle moyenne en carrosserie est d'environ 13 ans.

Le graphique 4 ci-dessous montre le nombre de personnes en fonction de la durée moyenne exprimée en heures par jour d'exposition aux isocyanates. La durée moyenne d'exposition quotidienne recensée est de 4.87 heures.



Graphique 4 : Nombre de personnes en fonction de la durée moyenne en heures par jour d'exposition aux isocyanates

Le graphique 5 ci-après est particulièrement parlant : il démontre en effet que les appareils filtrants à ventilation assistée, bien que préconisés par la Suva dans son document no. 44054, ainsi que par certains fournisseurs, restent peu utilisés. Ainsi, dans notre échantillon, seuls 15% des personnes observées portaient un système de protection respiratoire adéquat (masque à ventilation assistée). La grande majorité (68%) des personnes concernées portaient un demi-masque (pour des raisons de clarté, nous renonçons à différencier les types de demi-masques).

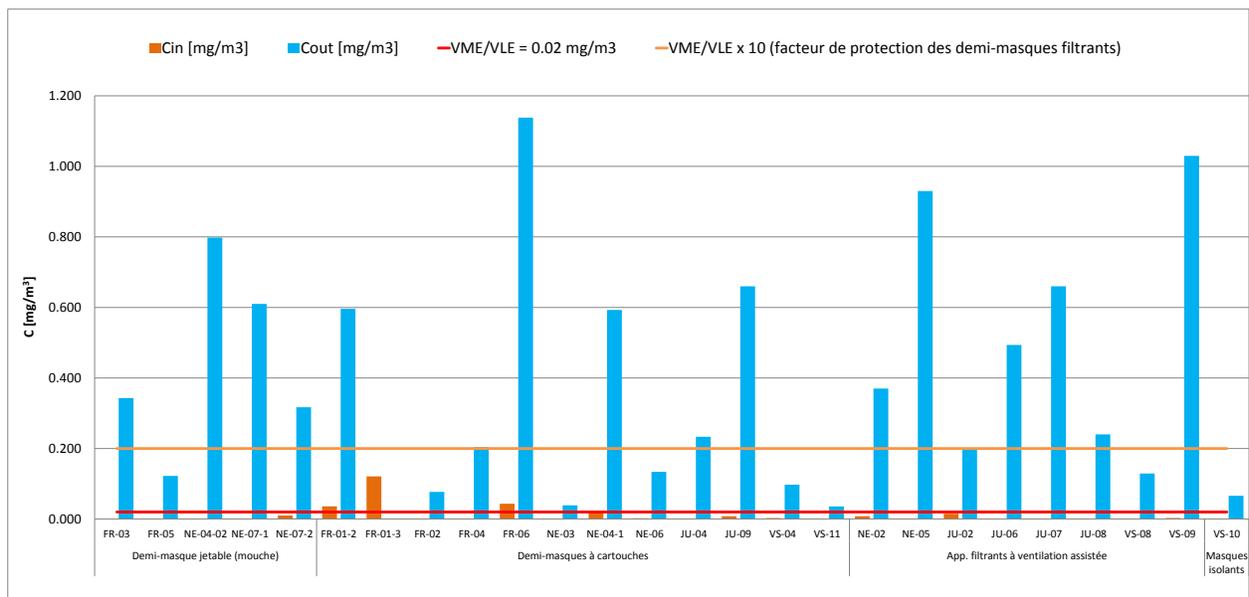


Graphique 5 : répartition des différents types de protection respiratoire et leur utilisation dans les carrosseries visitées

#### 4.3. Résultats des analyses d'air

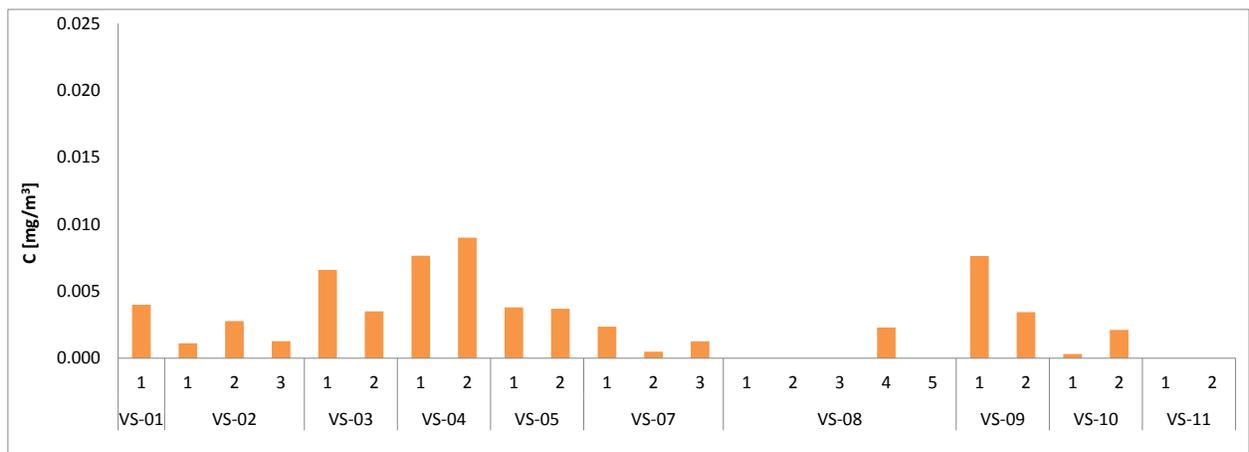
Le graphique 6 illustre les concentrations en HDI (exprimées en NCO total) obtenues à l'intérieur et à l'extérieur des protections respiratoires portées par le peintre lors de travaux de pulvérisation de vernis et peintures contenant des isocyanates dans la cabine de peinture pour un certain nombre de carrosseries.

La mesure intérieure n'a pas été réalisée de manière systématique (pour cette raison toutes les carrosseries ne sont pas représentées sur le graphique 6). De plus, les concentrations en HDI obtenues à l'intérieur des protections respiratoires ne correspondent pas à des valeurs absolues. Elles sont généralement sous-estimées car le temps d'échantillonnage est court et la méthode de prélèvement n'est pas validée (adaptation de la méthode validée afin de pouvoir prélever dans le masque respiratoire).



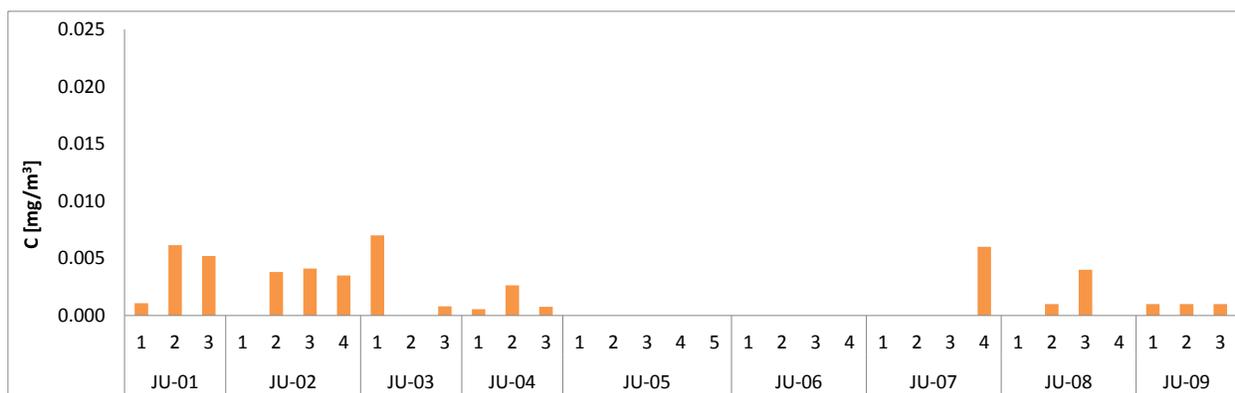
Graphique 6 : Concentrations en isocyanates (mesurées comme NCO total) intérieures et extérieures du masque de protection respiratoire

Les graphiques 7, 8 et 9 ci-après illustrent les concentrations dans l'air en HDI (exprimées en NCO total) mesurées en dehors de la cabine de peinture pendant et après des travaux de giclage, à différents emplacements dans la tôlerie.



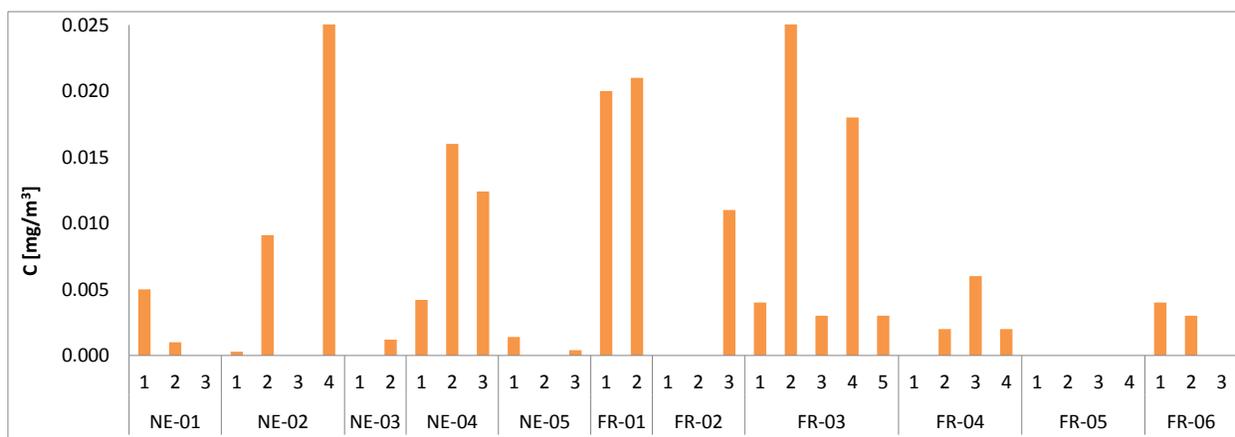
Graphique 7 : concentrations en isocyanates (mesurées comme NCO total) mesurées en dehors des cabines des carrosseries du canton de VS

Dans les carrosseries VS-07 et VS-08, des prélèvements d'air ont également été faites dans des zones de mélange, c.-à-d. des cabines de peinture avec des parois flexibles (emplacements 1 et 2 pour la carrosserie VS-07 et emplacements 1,2 et 3 pour la carrosserie VS-08).



Graphique 8 : concentrations en isocyanates (mesurées comme NCO total) mesurées en dehors des cabines des carrosseries du canton de JU

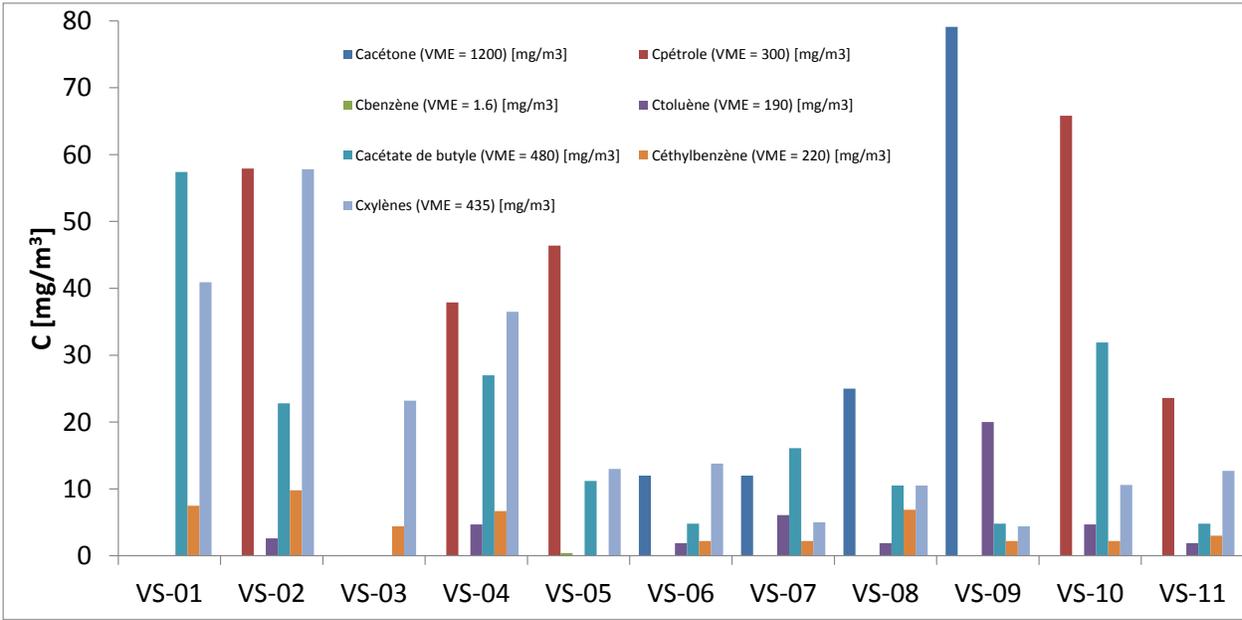
Parmi les deux carrosseries sans aucun résultat mentionnées dans le graphique 8, l'une (JU-05) ne semble pas avoir mis en œuvre de peinture contenant du HDI le jour de notre intervention. La seconde (JU-06), semble effectivement bien équipée : malgré un taux d'isocyanate à l'intérieur de la cabine de peinture mesuré entre 525 et 650  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , il n'a pas été possible de mesurer la moindre trace d'isocyanate à n'importe quel autre emplacement.



Graphique 9 : Concentrations en isocyanates (mesurées comme NCO total) mesurées en dehors des cabines des carrosseries des cantons de NE et FR

Dans les carrosseries NE-02 et FR-03, certaines mesures ont été réalisées lors d'activités d'application de surfacer dans l'atelier même, donc en dehors de la cabine de peinture (emplacement 4 pour la carrosserie NE-02, emplacement 2 pour la carrosserie FR-03).

Le graphique 10 illustre les concentrations trouvées pour une série de solvants principalement utilisés en carrosseries. Les mesures ont été effectuées dans les locaux de mélanges des carrosseries du Valais uniquement. Des mesures similaires mais selon une technique de prélèvement différente (prélèvements sur des tubes de désorption thermique) ont été faites dans les autres cantons. Les résultats sont semi-quantitatifs et du même ordre de grandeur que ceux obtenus pour le canton du Valais.



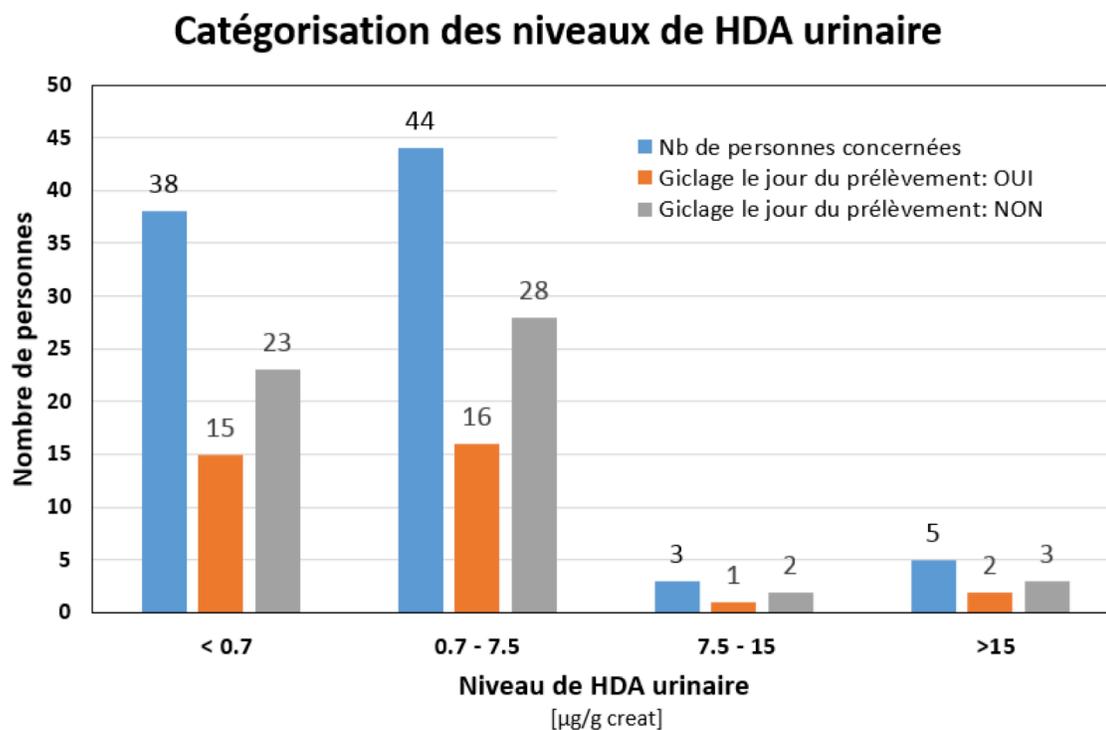
Graphique 10 : Concentrations en solvants mesurées dans les locaux de mélange des carrosseries valaisannes

#### 4.4. Résultats des analyses d'urine

Au total, ce sont 90 travailleurs qui ont donné un échantillon d'urine. 38 d'entre eux (42.2%) ont un taux urinaire plus petit que 0.7 µg/g de créatinine qui correspond à la valeur de référence pour la population générale non exposée et 47 (52.2%) ont un taux entre 0.7 et 15 µg/g de créatinine mais en restant raisonnablement inférieure à la VBT. Le taux urinaire de 5 travailleurs est toutefois supérieur à la VBT de 15 µg/g créatinine.

HDA [µg/g créat]	Nombre de personnes		Peinture le jour du prélèvement			
	N	%	OUI	%	NON	%
< 0.7	38	39.2	15	44.1	23	36.5
0.7 – 7.5	44	45.3	16	47.1	28	44.4
7.5 – 15	3	3.1	1	2.9	2	3.2
>15	5	5.2	2	5.9	3	4.8

Tableau 2 : Résultats des analyses urinaires par catégories



Graphique 11 : résultats des analyses urinaires par catégories

Parmi les personnes interrogées, 65 portent un demi-masque à cartouche : 22 (33.8%) d'entre elles ont un taux < 0.7 µg/g de créatinine et 32 (49,2%) présentent un taux entre 0.7 et 15µg/g. Seules 8 personnes ont un résultat dépassant la moitié de la VBT parmi lesquelles 5 (7,7%) travailleurs sont au-dessus de la VBT. Sur la totalité des travailleurs interrogés, 6 (9,2%) n'ont pas donné d'échantillon d'urine.

Pour les porteurs d'appareil filtrant à ventilation assistée, 6 personnes ont une concentration en HDA < 0,7µg/g de créatinine et 8 entre 0.7 et 15µg/g de créatinine. Personne ne dépasse la moitié de la VBT.

Pour les porteurs de masques à poussières (qui en principe ne sont pas chargés de travaux de giclage), 5 travailleurs présentent une concentration en HDA < 0.7µg/g de créatinine et 4 entre 0.7 et 15µg/g de créatinine. Personne ne dépasse la moitié de la VBT.

Des 34 peintres dont des prélèvements atmosphériques ont été fait à l'intérieur de leurs protections respiratoires pendant leurs travaux de pulvérisation de vernis et peintures contenant des isocyanates, 15 d'autre eux ont un taux est < 0.7µg/g de créatinine. Par contre 17 ont un taux situé entre 0.7µg/g de créatinine et 15µg/g dont 1 dépasse la moitié de la VBT. Deux travailleurs dépassent la VBT.

Sur ces travailleurs 25 portent des demi-masques et 9 des appareils filtrants à ventilation assistée. Pour les porteurs d'appareils filtrants à ventilation assistée, 4 ont un taux < 0.7µg/g et 5 un taux entre 0.7µg/g de créatinine et 15µg/g, personne ne dépasse la moitié de la VBT. Pour les porteurs de demi-masques à cartouche, 12 personnes sont en dessous de 0.7µg/g de créatinine, 11 ont un taux entre 0.7µg/g de créatinine et 15µg/g dont 1 dépasse la moitié de la VBT et 2 dépassent la VBT.

Pour les autres travailleurs présents dans l'atelier (N=63), 23 (36.5%) ont un taux de HDA < 0.7µg/g de créatinine et 30 (47.6%) un taux de HDA situé entre 0.7µg/g de créatinine et 15µg/g de créatinine. Parmi eux, 2 dépassent la moitié de la VBT. Seuls 3 travailleurs ont un taux de HDA supérieur à la VBT. 7 personnes n'ont pas désiré se soumettre au biomonitoring.

Indépendamment de leurs antécédents médicaux, 15 travailleurs décrivent des symptômes ORL rythmés par le travail. En corrélation avec leur taux HDA urinaire, plus de la moitié ont un taux supérieur à la valeur de référence pour la population générale (>0,7 µg/g de créatinine). Ils portent tous des demi-masques à cartouche. De même 4 travailleurs se plaignent d'irritation de la peau. Pour la moitié d'autres eux également leur taux HDA urinaire est supérieur à la valeur de référence pour la population générale (>0,7 µg/g de créatinine). Dans les 2 cas, personne ne dépasse la moitié de la VBT. 4 personnes se plaignent à la fois de symptômes ORL et d'irritation de la peau. Leur taux est celui de la population générale sauf une qui présente un taux particulièrement élevé (2 fois la VBT).

## 5. Discussion

### 5.1. Questionnaire technique

La connaissance des risques pour la santé liés aux produits utilisés dans les carrosseries n'est pas satisfaisante. Pire encore : les documents de vulgarisation à ce sujet (p. ex le doc no. 44054 de la Suva) ne sont pas connus des personnes occupées. Une campagne de sensibilisation en la matière est indispensable.

Si les carrosseries sont généralement équipées d'une ou plusieurs cabines de peinture, de nombreux travaux de giclage sont tout de même réalisés hors de ces cabines, notamment la pose de surfacer et de peinture sur de petites surfaces. Dans ces situations, tant le personnel concerné (qui ne porte pas de masque type filtrant avec ventilation assistée) que les personnes occupées aux postes de travail contigus peuvent subir des expositions plus ou moins importantes, y compris en isocyanates. Les travaux de giclage de produits faisant appel à un durcisseur doivent être bannis de l'atelier de carrosserie/tôlerie et, dans la mesure du possible, réalisés à l'intérieur d'une cabine ou, pour le moins, dans une zone séparée physiquement et équipée d'une aspiration latérale efficace (zone de préparation).

L'étanchéité des cabines de peinture doit être en tout temps assurée et régulièrement vérifiée. Généralement, un simple remplacement des joints sur les portes suffit à rétablir la situation. Cela est d'autant plus important que les cabines sont en surpression par rapport aux locaux adjacents. De plus, certains comportements doivent impérativement être corrigés. Outre le port systématique d'une protection respiratoire avec filtration et ventilation assistée, un temps d'attente doit être respecté après le giclage avant le retour à l'intérieur de la cabine sans protection respiratoire. Le port de gants et d'une protection oculaire lors de la manipulation des produits (mélange, nettoyage) est indispensable.

Les résultats obtenus indiquent clairement un déficit important dans bien des locaux de mélange: absence de ventilation générale, protection Ex inexistante, aspiration locale absente ou déficiente, pas de système de fermeture des bacs de nettoyage, etc. Dans pratiquement chacune des installations visitées, au moins un défaut technique a pu être constaté. La mise à niveau de ces éléments permettra d'éliminer facilement des sources d'exposition tant par voie respiratoire que par voie cutanée.

## 5.2. *Questionnaire médical*

Le questionnaire médical permet de tenir compte des particularités médicales des travailleurs, même si certains questionnaires manquaient parfois de précision, surtout quand ils ont été remplis par le travailleur seul. L'interrogatoire des personnes étudiées montre que le risque des isocyanates est mal apprécié. Même s'ils en connaissent les risques, ils n'en mesurent pas les conséquences réelles et importantes sur la santé. 1 travailleur sur 4 se plaint de symptômes ORL et/ou d'irritation de la peau rythmés par le travail. Pour les signes ORL, ils portent tous des demi-masques à cartouches.

Dans les carrosseries étudiées, 2/3 des peintres travaillent toujours avec un demi-masque à cartouche alors que le feuillet de la Suva n° 44054 distribué aux carrosseries et par certains fournisseurs préconisent les appareils filtrants à ventilation assistée.

## 5.3. *Résultats des analyses d'air*

Une première observation est de confirmer ce qui était évident jusqu'à présent : les concentrations en HDI retrouvés dans l'air de la cabine lors de pulvérisation de peintures contenant des isocyanates dépassent clairement les VME/VLE ( $0.02 \text{ mg/m}^3$ ) en vigueur (jusqu'à 50 fois). La protection respiratoire principalement utilisée est de type demi-masque jetable ou à cartouches. Pour ces derniers, une concentration en HDI non négligeable (généralement proche de la VLE voire au-dessus) a pu être mise en évidence pour plusieurs peintres, principalement pour ceux porteurs de demi-masques à cartouches. Nous avons observé la même chose pour certains porteurs de systèmes filtrants à ventilation assistée, mais les concentrations en HDI dans les masques ne dépassaient au moins pas la VLE.

Des prélèvements d'air ont également été effectués en dehors des cabines de peinture, dans l'atelier de tôlerie. La cabine de peinture doit être mise en légère surpression selon les critères de fonctionnement de celle-ci et il n'est pas étonnant de retrouver dans la majorité des carrosseries des concentrations non négligeables en HDI dans les zones proches de la cabine de peinture. Elles ne dépassent que rarement la VME/VLE mais on se retrouve généralement à environ un tiers de la VME/VLE en vigueur, voire à la moitié pour certains cas. Pour les quelques cabines qui étaient en dépression, on observe que ces concentrations en HDI en dehors de cabines sont nulles pour la plupart des cas.

Le fait de mettre les cabines de peinture en surpression est donc clairement une source de contamination des zones de l'atelier aux isocyanates. Il en est de même pour les petites applications de surfacer en dehors des cabines de peinture.

Il est aisé de recalculer la concentration moyenne en isocyanates dans l'air de la tôlerie (locaux adjacents à la cabine de peinture), sur le peintre dans la cabine pendant le giclage et à l'intérieur des masques. A des fins de simplifications, on supprime l'ensemble des situations où les résultats obtenus étaient plus bas que la limite de détection. On obtient alors les résultats suivants :

	<b>Concentration moyenne en NCO</b> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		
	<b>Tôlerie</b>	<b>Cabine</b>	<b>Dans le masque</b>
<b>Nombre de valeurs (N)</b>	27	27	12
<b>Moyenne</b>	0.012	0.341	0.016
<b>Ecart type</b>	0.044	0.329	0.022
<b>Moyenne géométrique</b>	0.003	0.176	0.006

*Tableau 3: Moyennes des concentrations exprimées en NCO*

La mesure de la concentration dans le masque ne peut pas être interprétée en raison de biais importants dans la méthode de mesure qui induit une forte sous-estimation de la concentration effective. Cependant, nos résultats laissent apparaître des quantités mesurables d'isocyanates à l'intérieur des masques. On constate également que la moyenne des concentrations mesurées dans les masques (N=12) est très proche de la moyenne de toutes les concentrations (N=27) mesurées dans les locaux adjacents (tôlerie). Bien que les données soient très dispersées (écarts types très élevés) on peut en conclure que l'exposition moyenne mesurée des peintres protégés par les masques est proche de l'exposition moyenne mesurée pour les autres personnes occupées dans les carrosseries concernées. Ainsi donc, les personnes occupées dans les locaux de travail et qui ne sont pas actives dans le giclage en cabine sont autant exposées que les peintres eux-mêmes qui effectuent des travaux en cabine. Cette situation n'est pas satisfaisante dans la mesure où les personnes sans activité de giclage sont exposées, même faiblement, à un produit sensibilisant.

Pour les solvants, les concentrations obtenues pour les principaux composés organiques volatils identifiés ne dépassent pas les VME en vigueur. Néanmoins, vu qu'on est en présence de plusieurs solvants, il faut prendre en compte l'exposition au mélange de substances. En effet, si les solvants en question agissent sur le même organe, on obtient un effet additif. Ainsi, même si on ne se retrouve pas en présence de concentrations inquiétantes en solvants, les locaux de mélange restent un endroit à ne pas négliger vu le nombre de solvants manipulés. Si ces locaux sont suffisamment ventilés, la limite inférieure d'explosibilité (LIE) ne devrait pas être atteinte (LIE du xylène = 44 000 mg/m<sup>3</sup>).

#### 5.4. *Résultats des analyses d'urine*

L'intérêt d'un suivi biologique a été dans l'ensemble bien perçu par l'employeur et les travailleurs (9 travailleurs sur 10 ont donné un échantillon d'urine).

Cette mesure du HDA urinaire permet d'avoir une vision plus globale de l'exposition aux isocyanates, en prenant aussi en compte le contact cutané et l'ingestion, en plus de l'inhalation.

Les taux de HDA urinaires de 40% des personnes se trouvent en-dessous du niveau du taux d'une population générale non-exposée et 47% un peu plus élevé tout en restant raisonnablement inférieure à la VBT. 5% ont toutefois un taux nettement supérieur à la VBT, ce qui montre au minimum une exposition ponctuelle massive. Ces taux relativement bas s'expliquent en partie également par des durées d'exposition aux isocyanates faibles au moment de nos mesures (exposition de 15...20 minutes).

Malgré ces taux urinaires dans l'ensemble inférieurs à la VBT, l'enseignement à tirer est tout de même la nécessité de maintenir une vigilance permanente afin de réduire à un niveau aussi faible que possible l'exposition aux isocyanates, autant d'un point de vue de l'inhalation que du contact cutané.

Environ la moitié des travailleurs présents dans la carrosserie ont un taux HDA urinaire entre 0.7µg/g de créatinine et 15µg/g de créatinine dont 7% dépassent la moitié de la VBT.

Cela démontre qu'une prise de conscience sur les risques des isocyanates est nécessaire auprès de l'ensemble du personnel de la carrosserie et pas seulement au niveau du peintre. Ceci rejoint l'étude de Pronk qui a détecté du HDA dans les urines même chez les travailleurs de carrosseries ne faisant pas de la peinture au pistolet.

En conclusion, les travailleurs interrogés lors de cette étude sont dans l'ensemble peu conscients des effets sur la santé des isocyanates. Une prise de conscience doit être faite à ce sujet non seulement auprès des peintres mais également auprès des travailleurs présents dans l'atelier de carrosserie et n'étant pas directement au contact comme les peintres avec les isocyanates.

## 6. Conclusions et recommandations

Suite à ce projet, des recommandations évidentes et claires ont pu être formulées et transmises ainsi aux spécialistes pour une meilleure prévention dans le cadre de contrôles effectués dans les carrosseries.

Notre hypothèse de départ, qui disait que dans la réalité du terrain, le type de protection respiratoire n'est pas adapté car il existe trop de déterminants d'exposition qui peuvent influencer l'exposition professionnelle des carrossiers aux isocyanates, a pu être confirmée par nos observations et les résultats obtenus dans cette campagne de mesures menées dans ces 31 carrosseries entre août 2016 et mai 2017.

Nous pouvons donc en déduire que le respect des VME/VLE pour les isocyanates en cabine de peinture dépend de nombreux facteurs, comme p.ex.

- le bon fonctionnement de la cabine de peinture (qui empêche la concentration en HDI de trop augmenter en cours de travail) ;
- le respect des temps d'attente après le giclage (qui correspond à une exposition directe sans protection) ;
- la durée du giclage ;
- l'efficacité et le port correct des EPI (pour les masques à cartouches, la fréquence de remplacement des filtres, le rasage, le remplacement du masque sont des facteurs qui influencent significativement son efficacité).

De plus, il ne faut pas oublier que les isocyanates sont des sensibilisants et qu'une personne peut potentiellement développer une sensibilisation à ces substances à des concentrations bien inférieures à la VME/VLE.

Par conséquent, les trois principaux messages qui ressortent de ce projet sont, pour les entreprises et travailleurs concernés:

- Giclage en cabine uniquement avec une protection respiratoire isolante ou avec un appareil filtrant à ventilation assistée - le masque à cartouche ou les demi-masques doivent être proscrits : la variabilité des concentrations mesurées dans l'air en HDI est trop grande pour pouvoir garantir le respect des VME/VLE avec un demi-masque à cartouches (facteur de protection = 10 fois la VME); le port d'une protection respiratoire conforme à la recommandation Suva n° 44054 correspond à l'état actuel des connaissances et de la technique ainsi que le respect d'un temps d'attente minimum (10 minutes - dépend du bon fonctionnement de la cabine) avant toute activité sans protection respiratoire dans la cabine (y compris levage du casque pour contrôler la qualité du travail pendant le giclage) ; le temps d'attente sera affiché sur la porte d'accès à l'intérieur de la cabine.
- La protection de la peau lors de la mise en œuvre de produits contenant des isocyanates est un thème central car peu de carrosseries ont mis en place un concept de protection de la peau; ceci concerne en particuliers le port de gants, de vêtements à manches longues et de lunettes de protection pendant les travaux de giclage (en cas d'utilisation de demi-masques) ;
- Le giclage de surfacer en atelier n'est pas tolérable d'un point de vue de santé des travailleurs. Il est donc nécessaire de dissuader les carrosseries de continuer avec ce genre d'activités, à moins qu'ils n'y disposent d'une zone de préparation ou autre dispositif d'aspiration locale des polluants.

Finalement, pour les locaux de mélange, voici quelques recommandations minimales à respecter et à mettre en place pour assurer une exposition minimale aux solvants présents :

- Ventilation mécanique ou naturelle selon la directive CFST 1825 ;
- Local en principe Ex (la balance et l'ordinateur qui servent à la préparation peuvent y être tolérés) ;
- Luminaires (et prises murales) en hauteur (hors zone Ex) avec interrupteur à l'extérieur ;
- Bac de nettoyage fermé et éloigné des appareils électriques ;
- Appareils de nettoyage correctement raccordés à la ventilation/extraction (aspiration locale) ;

- Ferme-porte automatique sur la porte du local de préparation
- Port de gants de protection adaptés (p.ex. en nitrile) pour manipuler/préparer les produits ;
- Port de gants et lunettes (selon instructions du fabricant) pour le nettoyage des outils avec les machines prévues à cet effet.
- Mise à disposition de l'ensemble du personnel de la carrosserie du document de la Suva no. 44054 et d'un résumé des fiches de données de sécurité des produits les plus couramment utilisés.
- Port de la protection respiratoire prescrite pour les travaux de préparation et surtout de nettoyage des outils.

D'un point de vue médical, nous pouvons conclure que :

- les travailleurs interrogés sont dans l'ensemble peu conscients des effets des isocyanates sur leur santé ;
- les taux urinaires de HDA, qui, en fin de poste, permettent d'évaluer l'intensité de l'exposition de la journée, sont pour la moitié au-dessus des valeurs d'une population non exposée ;
- environ un travailleur sur cinq se plaint de symptômes ORL ou d'irritation de la peau rythmés par le travail.

La littérature et les études épidémiologiques confirment que l'asthme dû aux isocyanates est une réalité et qu'une détection précoce reste primordiale.

Ainsi, les travailleurs exposés aux isocyanates devraient passer des examens médicaux périodiques pour établir un diagnostic aussi précoce que possible. Cette surveillance médicale devra être exhaustive. Il n'existe actuellement pas de tests fiables pour dépister les travailleurs à risques. Les travailleurs doivent donc rester vigilants à l'apparition de tout symptôme respiratoire ou cutané.

Par conséquent, une prise de conscience sur les effets respiratoires et cutanés doit être faite auprès des peintres ainsi qu'auprès des travailleurs présents dans l'atelier de carrosserie et n'étant pas directement au contact avec des produits contenant des isocyanates comme les peintres. Elle devra permettre au travailleur de reconnaître rapidement les signes cliniques afin de consulter le monde médical, le cas échéant.

En modifiant le comportement et la méthode de travail, il est possible de réduire le risque :

- d'irritation cutanée par le port de gants adaptés et appropriés sans oublier de se laver les mains après manipulation de peinture et avant de boire, de manger ou de fumer ;
- de problème respiratoire par le port de masque adapté.

Finalement, il faut également penser à des groupes de travailleurs dits sensibles qui peuvent potentiellement être présents dans des carrosseries. En effet :

- Les substances du type isocyanates contenus dans les durcisseurs ainsi que les solvants utilisées pour la préparation et le nettoyage sont des substances qui peuvent être dangereuses pour une femme enceinte et/ou pour l'enfant à naître. L'ordonnance sur la protection de la maternité (OProMa), plus spécifiquement l'article 13, indique qu'il faut garantir que l'exposition à des substances dangereuses n'est pas préjudiciable à la mère ni à l'enfant et que les valeurs limites d'exposition fixées dans la liste de la Suva doivent en particulier être respectées.
- L'exposition à des substances du type isocyanate contenus dans les durcisseurs ainsi que l'utilisation des produits destinés à la préparation et au nettoyage représentent des travaux dangereux. Il est interdit d'employer des jeunes apprentis < 18 ans à de tels travaux (art. 4 al. 1 de l'ordonnance 5 sur la protection des jeunes travailleurs – OLT5 – RS 822.115). Dans le cadre de la formation professionnelle, les mesures d'accompagnement prévues pour les apprentis à l'annexe 2 du programme de formation doivent impérativement être mises en œuvre dès la première année d'apprentissage. Ces mesures de protection coïncident pour la plupart avec mesures de protection mentionnées ci-dessus.

Peseux, janvier 2018