

GUIDE DE PRÉVENTION
POUR UNE UTILISATION
SÉCURITAIRE DES

ISOCYANATES

Démarche d'hygiène du travail

BRIGITTE ROBERGE
SIMON AUBIN
CLAUDE OSTIGUY
JACQUES LESAGE

RG-764



GUIDE DE PRÉVENTION POUR UNE UTILISATION SÉCURITAIRE DES ISOCYANATES

Démarche d'hygiène du travail

RG-764



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 pour l'expertise de son personnel et la qualité de ses travaux.

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.
- Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise.
- Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

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 (CSST).

LE TRANSFERT DES CONNAISSANCES ET LA VALORISATION DES RÉSULTATS DE RECHERCHE

La recherche à l'IRSST valorise l'interaction entre des chercheurs et des utilisateurs des résultats d'une étude donnée tout au long du processus. La participation active de partenaires dès l'élaboration d'un projet assure que la recherche répondra adéquatement à leurs besoins, qu'elle sera ancrée dans les contextes de travail réels et qu'elle aura des retombées concrètes dans les milieux de travail. Cette dynamique reflète les principes du paritarisme qui est à la base de l'action en santé et en sécurité du travail au Québec.

L'IRSST TIENT À REMERCIER LES PARTENAIRES MEMBRES DU COMITÉ DE SUIVI :

Marc Beaudoin, Association de la construction du Québec (ACQ)

Martine Charette, Auto Prévention

Johanne Dumont, Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST)

Charbel Mouawad, Association sectorielle – Fabrication d'équipement de transport et de machines (ASFETM)

Martin Nicholas, Santé Canada, Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT)

Frédéric Simard, Bayer et Association canadienne des entrepreneurs en mousse de polyuréthane (CUFCA)

Bernard Teasdale, ASP Construction

AUTEURS

Brigitte Roberge, Simon Aubin, Claude Ostiguy et Jacques Lesage, IRSST

COORDINATION

Marie-France d'Amours et Linda Savoie, IRSST

RÉVISION LINGUISTIQUE

Claire Thivierge, Écritures, etc.

CONCEPTION GRAPHIQUE

Lucie Chagnon, graphiste

DÉPÔT LÉGAL

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

2013

ISBN : 978-2-89631-649-6 (PDF)

ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications et de la valorisation de la recherche

505, boul. De Maisonneuve Ouest, Montréal (Québec) H3A 3C2

Téléphone : 514 288-1551

Télécopieur : 514 288-7636

publications@irsst.qc.ca

www.irsst.qc.ca

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

Avril 2013

AVIS DE NON-RESPONSABILITÉ

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, à la fiabilité ou au caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable de 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.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

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

Cliquez recherche



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

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

TABLE DES MATIÈRES

	AVANT-PROPOS	1
1	ANTICIPATION	4
1.1	Isocyanates les plus utilisés	7
1.2	Anticipation de la nature physique des isocyanates dans l'air	9
1.3	Anticipation de la présence des isocyanates lors de la dégradation thermique	9
1.4	Anticipation de la présence des isocyanates en relation avec les produits finis	10
2	IDENTIFICATION	14
2.1	Effets sur la santé	14
2.1.1	Absorption et métabolisme	14
2.1.2	Biomarqueurs	15
2.1.3	Toxicité générale	16
2.2	Loi et règlement	23
2.2.1	Responsabilités de l'employeur	23
2.2.2	Ventilation	24
2.2.3	Qualité de l'air	24
2.2.4	Équipements de protection	26
2.2.5	Risque de déflagration	26
3	ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE	30
3.1	Exposition par inhalation	31
3.1.1	Exposition lors de la pulvérisation de revêtements pour véhicules	31
3.1.2	Exposition lors de la pulvérisation de mousse uréthane	32
3.1.3	Exposition lors de l'utilisation d'isocyanates comme liant	32
3.1.4	Exposition lors de la dégradation thermique	32
3.2	Exposition par contact cutané	33
3.3	Stratégie de prélèvement et analyse	34
3.3.1	Principes généraux	34
3.3.2	Méthodes d'évaluation des isocyanates dans l'air	36
3.3.3	Méthodes d'évaluation des isocyanates sur les surfaces	41
3.3.4	Méthode d'évaluation des isocyanates dans les produits finis	42
3.3.5	Méthode d'évaluation des indicateurs biologiques de l'exposition	42

4	MAÎTRISE DES FACTEURS DE RISQUE	48
4.1	Substitution et élimination	48
4.2	Ventilation	49
4.3	Moyens administratifs	50
4.3.1	Hygiène personnelle et propreté des lieux	50
4.3.2	Surveillance médicale	50
4.3.3	Formation et information	50
4.3.4	Pratiques et méthodes de travail	50
4.4	Équipements de protection individuels	51
4.5	Maîtrise des risques de déflagration	53
4.6	Décontamination	53
4.7	Entreposage	54
4.8	Déversement	54
5	EXEMPLES DE LA DÉMARCHE D'HYGIÈNE DU TRAVAIL	60
5.1	Cas A : Pulvérisation de revêtement	62
5.2	Cas B : Application de mousse isolante de polyuréthane	64
5.3	Cas C : Fabrication de mousse de polyuréthane flexible	67
5.4	Cas D : Application de colle polyuréthane	69
5.5	Cas E : Dégradation thermique	71
5.6	Cas F : Relocalisation d'un travailleur sensibilisé	73
	ANNEXE 1 : Valeurs de référence des isocyanates	78
	ANNEXE 2 : Lexique, sigles et acronymes	83
	ANNEXE 3 : Liste des hyperliens	86

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1.1	Quelques propriétés physicochimiques de certains isocyanates	5
TABLEAU 1.2	Diversité des produits en fonction des caractéristiques de densité du polymère et de sa rigidité	8
TABLEAU 3.1	Caractéristiques des isocyanates à prendre en compte dans l'élaboration de la stratégie de prélèvement et analyse	34
TABLEAU 3.2	Résumé comparatif des méthodes d'évaluation des isocyanates dans l'air	40
TABLEAU 4.1	Taux de changements d'air à l'heure pour certains établissements	49
TABLEAU 5.1	Démarche simplifiée d'évaluation des risques selon l'INRS	61
TABLEAU 5.2	Plages de concentrations de HDI lors de la pulvérisation de peinture obtenues au cours de différentes études	63
TABLEAU 5.3	Caractéristiques de l'isocyanate pour le Cas A	63
TABLEAU 5.4	Plages de concentrations de MDI lors de l'application de mousse par pulvérisation obtenues au cours de différentes études	65
TABLEAU 5.5	Caractéristiques de l'isocyanate pour le Cas B	66
TABLEAU 5.6	Plages de concentrations de TDI lors de la fabrication de mousse obtenues au cours de différentes études	68
TABLEAU 5.7	Caractéristiques de l'isocyanate pour le Cas C	68
TABLEAU 5.8	Plages de concentrations de MDI utilisé comme liant obtenues au cours de différentes études	70
TABLEAU 5.9	Caractéristiques de l'isocyanate pour le Cas D	70
TABLEAU 5.10	Plages de concentrations d'isocyanates lors de la dégradation thermique de polyuréthane obtenues au cours de différentes études	72
TABLEAU 5.11	Caractéristiques de l'isocyanate pour le Cas E	72
TABLEAU 5.12	Caractéristiques de l'isocyanate pour le Cas F	74

LISTE DES FIGURES

FIGURE 2.1	Histoire naturelle de l'asthme	19
FIGURE 2.2	Pictogramme du SGH	23
FIGURE 3.1	Évaluation du risque de l'exposition aux isocyanates	30
FIGURE 3.2	Cassette de prélèvement pour la méthode IRSST 376 – Double-filtre (Iso-Chek®)	37
FIGURE 3.3	Train d'échantillonnage pour la méthode IRSST 376 – Barboteur	38
FIGURE 3.4	Cassette de prélèvement pour la méthode IRSST 366 – Haute sensibilité	39
FIGURE 3.5	Matériel pour prélèvement de surface	41
FIGURE 5.1	Extrait de la fiche signalétique du produit utilisé pour le Cas A	62
FIGURE 5.2	Extrait de la fiche signalétique du produit utilisé pour le Cas B	65
FIGURE 5.3	Extrait de la fiche signalétique du produit utilisé pour le Cas C	67
FIGURE 5.4	Extrait de la fiche signalétique du produit utilisé pour le Cas D	69

AVANT-PROPOS

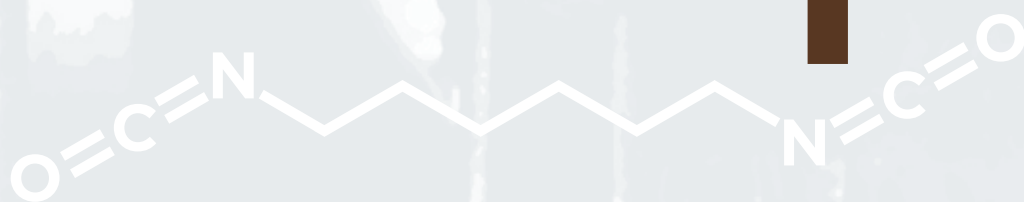
Les isocyanates peuvent causer des effets sur la santé cutanée et respiratoire. Ils sont, notamment, la principale cause d'asthme professionnel (AP) chez les travailleurs québécois. Tout comme sa version originale, ce *Guide de prévention pour une utilisation sécuritaire des isocyanates – Démarche d'hygiène du travail* s'adresse aux employeurs et aux travailleurs québécois ainsi qu'aux différents intervenants en santé et en sécurité du travail. Cet outil de vulgarisation destiné aux clientèles n'a aucune valeur réglementaire. Il permet de comprendre le risque chimique lié aux isocyanates et de prendre des décisions éclairées en ce qui concerne les moyens de prévention à mettre en place pour diminuer l'exposition et, éventuellement, le nombre de cas de travailleurs qui développent de l'asthme professionnel. Il ne se substitue pas aux informations contenues dans les fiches signalétiques des produits chimiques.

La mise à jour du *Guide d'utilisation sécuritaire des isocyanates* est justifiée par le nombre d'utilisateurs qui le consultent. Elle actualise les données de la version originale et traite de l'exposition pouvant nuire à la santé respiratoire par inhalation et de l'exposition cutanée. D'autres risques sont présents dans les milieux de travail. Mentionnons entre autres les risques pour la sécurité, les risques d'explosion et d'incendie, les risques ergonomiques... De plus, d'autres risques chimiques associés à des contaminants présents dans les produits utilisés, tels que les solvants, ne sont pas traités dans ce document. Toutefois, il est important que ces risques soient considérés dans leur ensemble lors d'une analyse de risques.

La deuxième édition du guide est présentée selon la démarche d'hygiène du travail qui encadre la prévention des risques pour la santé en anticipant, en identifiant, en évaluant, en maîtrisant et en communiquant les facteurs de risque d'exposition à des agents chimiques (dont les isocyanates), biologiques et physiques. Il s'agit d'une démarche d'hygiène et non d'une analyse de risques.

Cette mise à jour contient plusieurs nouveautés. Mentionnons la section consacrée à des exemples de situations types qui facilitent la compréhension et la prise en charge de l'exposition. De plus, un texte en caractères gras au début des sections résume leur contenu. Des liens conduisent à des sections ou à des sous-sections qui traitent d'aspects plus spécifiques. Aussi, des hyperliens dirigent le lecteur vers des sites Web accessibles en cliquant sur les mots en bleu dans le texte. À la fin du document, une liste regroupe tous ces hyperliens, qui sont fonctionnels au moment de la parution du guide (Annexe 3). Une autre liste, intitulée *Lexique, sigles et acronymes*, se trouve à l'Annexe 2.

ANTICIPATION



ANTICIPATION

Dans une démarche d'hygiène, les étapes préparatoires de l'Anticipation et de l'Identification permettent de colliger les informations pertinentes sur les composants des mélanges utilisés, sur les produits intermédiaires et finaux selon le procédé, notamment la nature physique des substances. La toxicité de chacune des substances identifiées et leur valeur de référence sont également colligées. La consultation des fiches signalétiques, entre autres, facilite cette collecte d'informations. De plus, la collecte des informations relatives au milieu de travail (évaluation environnementale) s'effectue notamment dans les registres disponibles des campagnes de prélèvements antérieures et dans la littérature.

Selon les connaissances scientifiques disponibles et l'expertise acquise dans d'autres situations, il est possible de prévoir les dangers associés à un procédé ou à l'utilisation d'une substance chimique. Une fois le danger identifié, il faut anticiper les risques. Selon le Centre canadien d'hygiène et de santé au travail ([CCHST - 2009](#)), le risque se définit comme « la probabilité de survenue d'un danger, le danger étant la propriété intrinsèque [...] d'une substance, [...] ou d'une situation d'avoir des conséquences néfastes ou de menacer la santé ou la sécurité d'un travailleur ».

L'évaluation de l'exposition aux isocyanates demeure aujourd'hui encore un grand défi pour plusieurs raisons. Citons la diversité des substances chimiques utilisées, une réglementation limitée à une fraction d'entre elles et l'exposition à celles-ci sous la forme d'aérosol et/ou de vapeur, en fonction de la mise en œuvre des procédés et de leurs propriétés physicochimiques. À l'anticipation de ce risque déjà très complexe s'ajoute le risque d'exposition associé à la dégradation thermique de ces polymères et aux quantités résiduelles d'isocyanates non réagis dans les produits finis.

Les isocyanates 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, ne sont pas ou peu utilisés au Québec, et seul l'isocyanate de méthyle est réglementé ; les diisocyanates (deux fonctions isocyanates NCO), la plus petite unité de base permettant la polymérisation, sont les substances visées par la réglementation ; les oligomères ou polyisocyanates ou prépolymères ou homopolymères se composent généralement d'un mélange d'isomères de molécules contenant plus de deux groupements ou fonctions isocyanates. Les produits commerciaux utilisés dans de nombreux procédés sont généralement composés de diisocyanates et d'oligomères. À noter que pour la suite du document, le terme isocyanate pourra être utilisé pour désigner tout composé comportant au moins une fonction isocyanate.

La tension de vapeur est très utile pour estimer la concentration maximale d'isocyanates sous forme de vapeur dans l'air au point de saturation ainsi que la forme physique que prendront ces substances dans l'air, suivant la mise en œuvre du procédé (sous forme de vapeur ou d'aérosol).

Le tableau 1.1 présente les principales molécules d'isocyanates susceptibles d'être présentes au cours de la mise en œuvre des procédés, avec leur tension de vapeur et les concentrations dans l'air à saturation et à 20 °C. Un accroissement de température favorise l'augmentation de la tension de vapeur.

TABLEAU 1.1

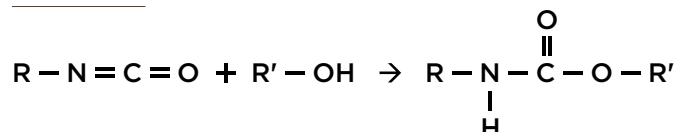
QUELQUES PROPRIÉTÉS PHYSICOCHIMIQUES DE CERTAINS ISOCYANATES

NOM DE L'ISOCYANATE (SIGLE)	CAS*	TENSION DE VAPEUR (mm Hg à 20 °C)	CONCENTRATION DANS L'AIR À SATURATION (ppm)
Isocyanate de méthyle (MIC)	624-83-9	390	510 000
Isocyanate de butyle (nBIC)	111-36-4	16	21 000
Isocyanate de phényle (PhIC)	103-71-9	2	2 600
Diisocyanate d'hexaméthylène (HDI monomère)	822-06-0	0,025	33
Diisocyanate d'hexaméthylène (HDI polyiso)	28679-16-5	$7,5 \times 10^{-5}$	0,099
2,4-Toluène diisocyanate (2,4-TDI)	584-84-9	0,02	33
Diisocyanate de toluène (mélange d'isomères 80:20) (TDI)	26471-62-5	0,02	33
Diisocyanate d'isophorone (IPDI)	4098-71-9	5×10^{-4}	0,66
Diisocyanate de diphenylméthane (MDI)	101-68-8	$< 1 \times 10^{-5}$	$< 0,013$
Prépolymère de diisocyanate de diphenylméthane (PMDI)	9016-87-9	$< 1 \times 10^{-5}$	$< 0,013$
Diisocyanate -4,4' de dicyclohexylméthane (HMDI)	5124-30-1	1×10^{-5}	0,013

* CAS : Numéro de la substance chimique.

Les isocyanates réagissent rapidement avec une grande variété de substances organiques possédant un proton labile (peu stable). La réaction de polymérisation se caractérise par une attaque de la double liaison azote-carbone de la fonction isocyanate ($-N=C=O$) suivie d'une addition d'un copolymère. Cette réaction implique donc l'utilisation d'un copolymère possédant un hydrogène acide. La réaction la plus courante des isocyanates s'effectue avec des substances possédant une fonction alcool (OH) pour former un uréthane (équation 1).

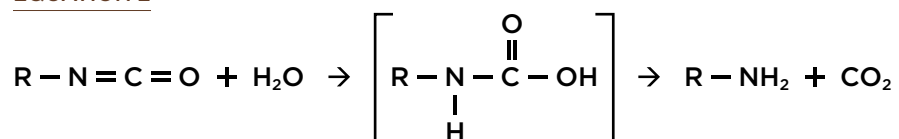
ÉQUATION 1



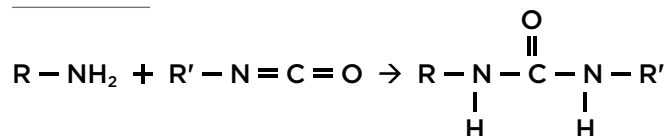
Une réaction de polymérisation peut donc se produire entre un diisocyanate ou un polyisocyanate et un dialcool ou un polyalcool pour former un polyuréthane. Le choix de l'alcool, substitué ou linéaire, sera déterminant pour les propriétés du polymère désiré. Ce type de polymérisation est d'utilisation courante dans l'industrie de la fabrication de mousse de polyuréthane rigide et semi-rigide, d'élastomères, de produits de recouvrement et de revêtements¹ pour véhicules (apprêts, durcisseurs...).

Les isocyanates s'hydrolysent lentement pour former des amines qui réagissent rapidement avec une autre fonction isocyanate, produisant ainsi un dérivé urée et du CO_2 (équations 2, 3, 4). Cependant, les isocyanates ne réagissent pas avec l'humidité de l'air.

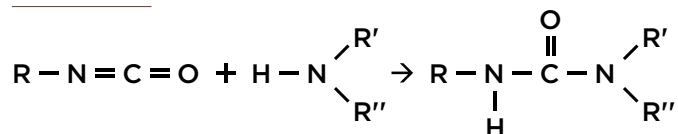
ÉQUATION 2



ÉQUATION 3



ÉQUATION 4



Comme les réactions des équations 3 et 4 le montrent, les isocyanates réagissent avec les amines primaires ou secondaires qui possèdent un proton labile pour former des dérivés urées. Les amines sont utilisées comme catalyseur de réaction dans certains procédés. De nombreuses méthodes analytiques utilisent des amines secondaires pour stabiliser les isocyanates lors de leur prélèvement en vue d'une analyse en laboratoire (voir sous-section [Stratégie de prélèvement et analyse](#)).

¹ Dans ce document, le terme « revêtement » comprend les apprêts, les peintures, les durcisseurs et autres produits appliqués notamment sur des véhicules.

Les bases d'isocyanates contenant un mélange de monomère et de divers oligomères et isomères sont largement utilisées comme liant ou pour former des composés polyuréthanes en présence de polyols et de différents additifs ainsi que dans certaines applications impliquant des solvants. Leurs usages sont très répandus dans des milieux industriels tels que la fabrication de mousses flexibles de faible et de haute densité, du moulage par injection et de la fabrication de mousses rigides de polyuréthane (pulvérisation). Les isocyanates servent également à la production des élastomères de polyuréthane qu'emploient les secteurs de l'automobile et de l'ingénierie. Leurs utilisations vont du liant pour le bois au matériau réactif servant à préparer des plâtres orthopédiques, à la fabrication d'adhésifs, de revêtements et de laques ainsi qu'à la vulcanisation de certains caoutchoucs.



En règle générale, les fiches signalétiques mentionnent les substances, dont les isocyanates, présentes dans le produit commercial qu'elles décrivent. Toutefois, l'information concernant la composition chimique de certaines d'entre elles n'est pas nécessairement fidèle à la réalité. En effet, la réglementation en vigueur dans le pays où la fiche signalétique est rédigée peut faire en sorte qu'un isocyanate n'y soit pas divulgué, induisant ainsi en erreur une personne qui consulte cette fiche. De plus, il est impératif que la consultation d'une fiche signalétique ne se limite pas à la recherche de la présence de monomère d'isocyanate (généralement la seule forme chimique d'isocyanate qui possède une valeur de référence (VR)). La présence d'isocyanates sous forme polymérique (ou oligomères), souvent en proportion de plus en plus élevée dans les produits offerts sur le marché, requiert de suivre les mêmes étapes visant la prévention des risques pour la santé liés aux isocyanates.

1.1 ISOCYANATES LES PLUS UTILISÉS

Diisocyanate de toluène (mélange d'isomères) (TDI)

Un mélange d'isomères de 2,4-TDI et de 2,6-TDI dans un rapport de 80:20 est le plus souvent utilisé pour la production de la mousse de polyuréthane flexible. Il entre également, mais de façon moins courante, dans la composition de vernis.

Diisocyanate-4,4' de diphenylméthane (MDI)

Le MDI est commercialisé sous la forme d'un liquide huileux constitué d'un mélange d'isomères de monomère et d'oligomères, que l'on exprime comme un prépolymère de MDI avec le sigle PMDI. Le ratio le plus fréquent de monomère-oligomères est d'environ 50:50; cependant, pour certains procédés, la teneur en monomère peut varier de 25 % à 75 %. Le MDI est utilisé dans la fabrication de mousses de polyuréthane de structure rigide, d'élastomères, d'agents liants pour le bois, de moules dans les fonderies et de certaines colles.

Diisocyanate d'hexaméthylène (HDI)

Le mélange commercial, fréquemment utilisé comme réactif dans de nombreuses formulations de revêtements et de peintures, se compose presque essentiellement d'oligomères de HDI (biuret et isocyanurate). La teneur en HDI monomère y est souvent inférieure à 1%. Le HDI entre essentiellement dans la composition de revêtements pour véhicules (apprêts, peintures, durcisseurs...), dans les vernis et les revêtements de type polyuréthane. Étant donné que le procédé de mise en œuvre se fait fréquemment par pulvérisation, il est donc prévisible d'obtenir une forte proportion de HDI oligomère dans les échantillons d'air. Les uréthanes à base de HDI résistent aux rayons ultraviolets (UV) et aux variations de température.

Diisocyanate d'isophorone (IPDI)

L'IPDI est présent dans certains mélanges sous forme d'isomères, un isocyanate de structure alicyclique permettant d'obtenir des polyuréthanes. Tout comme le HDI, il résiste aux UV. Il est utilisé dans la fabrication des revêtements pour véhicules, souvent en mélange avec le HDI, et dans les élastomères.

Le tableau 1.2 présente la diversité des applications les plus courantes des isocyanates.

TABLEAU 1.2

DIVERSITÉ DES PRODUITS EN FONCTION DES CARACTÉRISTIQUES DE DENSITÉ DU POLYMÈRE ET DE SA RIGIDITÉ

DENSITÉ/RIGIDITÉ DU POLYMÈRE	DESCRIPTION DU PRODUIT	SUBSTANCES
	MOUSSE FLEXIBLE	
	En bloc	TDI, PMDI
	Moulée	TDI, PMDI
	MOUSSE RIGIDE	
	Moulage par versement	PMDI, TDI
	En bloc et en panneau	PMDI
	Pulvérisation	PMDI
	MOUSSE RIGIDE DE STRUCTURE	PMDI
	LIANTS	PMDI, TDI
	ÉLASTOMÈRES	
	Moulage par injection	MDI, PMDI
	Moulage d'élastomères	MDI, TDI, HMDI, prépolymère
	REVÊTEMENTS (PEINTURE)	
	Revêtement souple	PMDI
	Un composant - couche d'apprêt	HDI, TDI, IPDI
	Produits d'étanchéité ou scellants	HDI, TDI, IPDI
	Deux composants - couche de finition	HDI, TDI, IPDI

1.2 ANTICIPATION DE LA NATURE PHYSIQUE DES ISOCYANATES DANS L'AIR

En raison de la diversité des isocyanates présents en milieux industriels, de leurs propriétés physicochimiques et de la diversité des procédés de polymérisation, l'évaluation environnementale de l'exposition demeure un défi, d'où l'importance de la démarche débutant par l'anticipation (recherche des informations sur les isocyanates) et se terminant par la mise en place de moyens pour les maîtriser et pour évaluer leur efficacité.

Dans chaque cas d'intervention, l'anticipation de la forme physique des isocyanates dans l'air contribue à soutenir une évaluation complète et l'implantation de mesures de maîtrise cohérentes.

D'après la tension de vapeur de ces substances (tableau 1.1), les diisocyanates ne sont pas très volatils. Le HDI et le TDI monomères sont fréquemment présents dans l'air des milieux de travail sous forme de vapeur à température ambiante. Avec un accroissement de la température, la tension de vapeur augmente de même que la concentration de ces substances à l'état de vapeur. Les procédés d'aérosolisation (pulvérisation) favorisent l'évaporation des isocyanates par un accroissement important de la surface de contact avec l'air. Cependant, pour les procédés faisant appel à l'utilisation de MDI et des oligomères de HDI, ces substances seront très majoritairement présentes dans l'air sous forme d'aérosol même si le procédé de mise en œuvre implique une aérosolisation du produit ou encore, la production de poussières aéroportées.

1.3 ANTICIPATION DE LA PRÉSENCE DES ISOCYANATES LORS DE LA DÉGRADATION THERMIQUE

Bien que les risques de surexposition aux isocyanates soient observés au cours de la mise en œuvre des procédés de polymérisation, la littérature rapporte également un potentiel de faible exposition lorsque les produits en polyuréthane sont soumis à une chaleur pouvant les dégrader.

Le terme « dégradation thermique » désigne ici les produits secondaires provenant tant d'une pyrolyse que d'une combustion. Le terme « pyrolyse » désigne quant à lui la dégradation d'un produit sous l'effet de la chaleur et le terme « combustion » s'applique lorsqu'il y a présence d'oxygène.

Il arrive donc que du travail nécessitant l'utilisation de chaleur sur les polyuréthanes, ou encore à proximité de ceux-ci, entraîne une dégradation du produit qui émet notamment des isocyanates dans l'air. Voici quelques exemples de tâches dégageant de la chaleur :

- Soudage
- Chauffage de mousse de polyuréthane
- Chauffage de colles
- Coupe au moyen d'un chalumeau ou d'un fil chaud
- Utilisation de ciseaux chauds
- Broyage
- Sciage
- Meulage.

La stabilité thermique des polyuréthanes varie grandement selon leur structure. Leur dégradation s'observe à des températures aussi basses que 150 °C. Il est important d'être conscient de ce risque potentiel d'exposition, car dans de nombreuses situations où aucune fumée ou flamme n'est dégagée, très peu d'indices visibles peuvent avertir le travailleur de la présence d'isocyanates.

1.4 ANTICIPATION DE LA PRÉSENCE DES ISOCYANATES EN RELATION AVEC LES PRODUITS FINIS

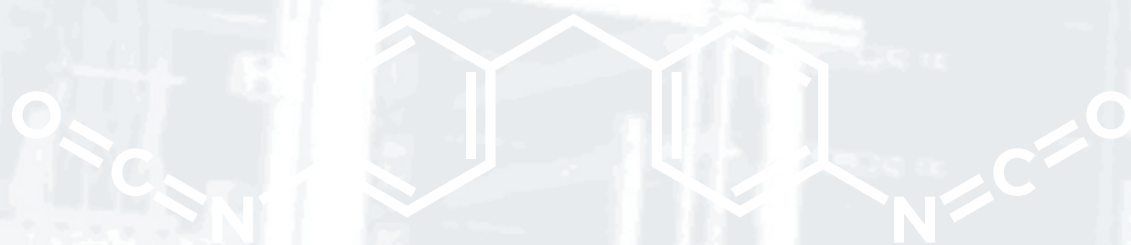
Une autre source d'exposition potentielle aux isocyanates réside dans la présence d'isocyanates non réagis dans les produits finis. En effet, plusieurs études en laboratoire ont démontré la présence d'isocyanates, tels que le TDI non réagi dans les mousses flexibles et le MDI non réagi dans les mousses semi-rigides. Il n'existe pas encore d'évidence d'une exposition cutanée aux isocyanates à la suite d'un contact avec un produit fini ni d'une exposition aux isocyanates dans l'air à la suite d'une émission potentiellement faible sous forme de vapeur de ces substances. Dans ce dernier cas, les recherches se poursuivent.

Pour conclure l'étape de l'anticipation, les méthodes de prélèvement devront donc s'adapter à la nature physique des isocyanates (sous forme de vapeur et d'aérosol), les deux formes se trouvant souvent dans le même environnement, générées par le même procédé. Une évaluation des isocyanates devrait permettre la mise en place de moyens de maîtrise visant la réduction de l'exposition, voire son élimination.

RÉFÉRENCES

- ALLPORT, Dennis C., David S. Gilbert et Susan M. Outterside. « MDI, TDI and the Polyurethane Industry », *In MDI and TDI: Safety, Health and the Environment: A Source Book and Practical Guide*, John Wiley & Sons Ltd, UK, 2003, {En ligne} http://media.wiley.com/product_data/excerpt/23/04719581/0471958123.pdf (mars 2013).
- BOUTIN, Michel, Jacques Lesage, Claude Ostiguy et Jorgen Pauluhn. « Validation of a Solvent-free Sampler for the Determination of Low Molecular Weight Aliphatic Isocyanates under Thermal Degradation Conditions », 2005. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 2, n° 9, p. 456-461.
- CENTRE CANADIEN D'HYGIÈNE ET DE SANTÉ AU TRAVAIL (CCHST). 2009. « Réponses SST : Danger et risque », {En ligne} http://www.cchst.ca/oshanswers/hsprograms/hazard_risk.html (mars 2013).
- DROLET, Daniel et Guylaine Beauchamp. « Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail (8^e édition, version 8.1, mise à jour) », 2012, Études et recherches/Guide technique T-06, IRSST, 150 pages. {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/T-06.pdf> (mars 2013).
- HOFFMANN, H-D. et Thomas Schupp. « Evaluation of Consumer Risk Resulting from Exposure against Diphenylmethane-4,4'-Diisocyanate (MDI) from Polyurethane Foam », 2009, *EXCLI Journal*, Vol. 8, p. 58-65, {En ligne} http://www.excli.de/vol8/Schupp_03_2009/Schupp_consumer_risk_100309proof.pdf (mars 2013).
- HUGO, J.M., Spence MW. et Lickly TD. « The Determination of the Ability of Polyurethane Foam to Release Toluene Diisocyanate into Air », 2000, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 15, n° 6, p. 512-519.
- INSTITUTE FOR HEALTH AND CONSUMER PROTECTION. « European Union Risk Assessment Report, CAS No. 26447-40-5, EINECS No. 247-714-0, Methylenediphenyl Diisocyanate (MDI), European Chemicals Bureau », EUR 22104 EN, 3rd Priority List, Vol. 59, 2005, {En ligne} http://esis.jrc.ec.europa.eu/doc/risk_assessment/REPORT/mdi-report304.pdf (mars 2013).
- KRONE, C.A., JTA. Ely, T. Klingner et R.J. Rando. « Isocyanates in Flexible Polyurethane Foams », 2003, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 70, p. 328-335, {En ligne} ftp://ftp.cdc.gov/pub/Documents/OEL/06.%20Dotson/References/Krone_2003.pdf (mars 2013).
- LESAGE, Jacques et Guy Perrault. « Environmental Monitoring of Chemical Agents », *In Asthma in the Workplace*, 3^e Edition, Édité par IL Bernstein, M. Chan-Yeung, JL Malo et DI Bernstein, 2006, p. 297-318.
- MELIN, J., M. Spanne, R. Johansson, M. Bohgard, G. Skarping et A. Colmsjö. « Characterization of Thermally Generated Aerosols from Polyurethane Foam », 2001, *Journal of Environmental Monitoring*, Vol. 3, n° 2, p. 202-205.
- PENGELLY, I J., Groves et C. Northage. « An Investigation into the Composition of Products Evolved During Heating of Hot Melt Adhesives », 1998, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 42, n° 1, p. 37-44, {En ligne} <http://annhyg.oxford-journals.org/content/42/1/37.long> (mars 2013).

IDENTIFICATION



IDENTIFICATION

L'anticipation a permis de documenter le potentiel d'exposition chimique associée à l'utilisation des isocyanates en fonction de leur nature physique, notamment. L'identification fournit d'autres informations pertinentes (effets sur la santé, réglementation...) pour établir une stratégie de prélèvement et d'analyse qui permettra de faire une évaluation quantitative de l'exposition, un élément essentiel pour la détermination des moyens de prévention à mettre en place.

2.1 EFFETS SUR LA SANTÉ

Les isocyanates sont de puissants irritants et sensibilisants cutanés et respiratoires. Sur le plan pulmonaire, ils peuvent causer différents types d'atteintes, la plus importante étant l'asthme professionnel (AP), qui peut se manifester après plusieurs mois ou plusieurs années d'exposition. Les symptômes apparaissent souvent en soirée, de sorte que la personne ne fait pas immédiatement le lien entre son travail et les troubles qu'elle ressent. Encore aujourd'hui, les isocyanates représentent la principale cause d'asthme d'origine professionnelle dans la plupart des pays industrialisés et toutes les fonctions isocyanates, qu'elles proviennent du monomère ou des oligomères, contribuent au développement de la maladie. Une fois atteint, le travailleur ne peut plus être exposé aux isocyanates, car il peut avoir une réaction asthmatique, et ce, même à une concentration beaucoup plus faible que la norme. De plus, il pourrait démontrer un asthme exacerbé en présence d'autres substances qui sont des irritants pulmonaires.

Au Québec, le Réseau de référence pour l'asthme professionnel (RRAP) permet de détecter précocement les travailleurs sensibilisés et d'accélérer le processus de prise en charge de ceux qui connaissent des problèmes d'asthme au travail. Il rassemble un certain nombre de médecins désignés du Réseau de santé au travail du secteur public, qui peuvent compter sur le soutien de pneumologues experts.

2.1.1 Absorption et métabolisme

En milieu de travail, les isocyanates sont principalement absorbés par les voies respiratoires. Il faut être prudent, car le seuil olfactif est beaucoup plus élevé que les normes.



On ne peut pas se fier à l'odeur comme moyen d'informer de la présence des isocyanates et la façon dont on utilise ces substances a un effet majeur sur le potentiel d'exposition.

À titre d'exemple, la pulvérisation d'isocyanates lors de l'application de revêtements (peinture) sous forme d'aérosol les disperse dans l'air (et cause leur inhalation si des mesures de prévention adéquates ne sont pas mises en place), alors que l'application d'un scellant à joint à l'aide d'un pistolet à calfeutrage ne génère pas ou très peu d'isocyanates dans l'air, mais pourrait favoriser le contact cutané. Par des essais cliniques de provocation bronchique, on estime que de 60 % à 91 % du diisocyanate d'hexaméthylène (HDI) inhalé est absorbé par les poumons et rapidement hydrolysé en amine. Il se retrouve ainsi dans le sang, où il se conjugue principalement avec l'albumine (protéine sérique) pour être distribué dans l'organisme par le système circulatoire. L'absorption par voie cutanée fait encore l'objet d'une controverse et les quelques études disponibles suggèrent une absorption cutanée de diisocyanate-4,4' de diphénylméthane (MDI) et de diisocyanate de toluène (TDI) de moins de 1% en 24 heures. Certaines études chez le rat suggèrent que cette voie d'exposition pourrait jouer un rôle dans le déclenchement de la sensibilisation pulmonaire. Finalement, l'absorption par voie digestive est plutôt improbable, mais pourrait être reliée à de mauvaises habitudes d'hygiène.

2.1.2 Biomarqueurs

Les biomarqueurs sont des substances qui se trouvent dans l'organisme à la suite de l'absorption d'une substance chimique spécifique. Ils peuvent être de bons indicateurs d'une exposition professionnelle. Dans le cas des isocyanates, les polyamines sont normalement détectables suivant une exposition professionnelle. Il en est de même pour les adduits de protéines trouvés dans le sang. Des expositions contrôlées au TDI et au MDI ont permis de détecter rapidement des adduits et des diamines acétylées dans l'urine, qui constitue la principale voie d'excrétion du TDI et du MDI. Des études sur des animaux ont également démontré qu'une faible quantité se trouve dans les cellules épithéliales pulmonaires et dans le sang, plus de 18 heures après l'exposition. La surveillance biologique comporte plusieurs limites, notamment le temps de demi-vie des diamines, qui est de plusieurs semaines pour le MDI dans le plasma, alors que l'élimination est beaucoup plus rapide dans le cas des métabolites du TDI et du HDI, soit le toluène diamine (TDA) et l'hexaméthylène diamine (HDA). Cette technique présenterait une voie intéressante pour la surveillance de l'exposition, particulièrement l'exposition cutanée, si les marqueurs biologiques étaient associés au niveau d'exposition mesuré de façon constante.



Les biomarqueurs d'isocyanates permettent de confirmer une exposition, mais pas de la relier à l'apparition de maladies. De plus, la présence simultanée de polyamines en milieu de travail causerait une interférence, les deux familles de produits conduisant aux mêmes biomarqueurs.

Les isocyanates agissent également comme haptènes en s'attachant par lien covalent à une protéine circulante (albumine, laminine ou protéine de membrane cellulaire) pour constituer un antigène et produire une réaction immunitaire. Ce mécanisme conduirait à la formation de biomarqueurs immunologiques (ex. : immunoglobuline E ou G, IgE ou IgG), qui sont utilisés de façon courante, mais dont la corrélation avec la maladie est faible. En effet, plusieurs travailleurs possédant ces biomarqueurs immunologiques n'ont pas développé d'asthme aux isocyanates, alors que d'autres, asthmatiques ceux-là, n'ont pas ces biomarqueurs. En fait, le mécanisme conduisant à l'allergie n'est pas vraiment bien compris pour les isocyanates.

2.1.3 Toxicité générale

Les propriétés réactives des isocyanates se manifestent simultanément de trois façons dans l'organisme. Ce sont d'abord des irritants puissants dont l'action se fera sentir sur la peau et sur toutes les muqueuses avec lesquelles ces substances sont entrées en contact (nez, yeux, gorge). Ensuite, une fois rendues dans l'organisme, elles ont la capacité de se lier à des protéines pour ainsi déclencher un processus allergique. Enfin, elles possèdent la capacité d'agir directement, tel un médicament, sur les muscles lisses des bronches pour les faire se contracter. On dit que les isocyanates ont simultanément des propriétés irritatives, immunologiques et pharmacologiques. Chacune de ces propriétés agira de façon variable selon l'intensité et la fréquence de l'exposition, la susceptibilité de l'individu et le site anatomique où les molécules d'isocyanates se retrouvent. Si l'on tient compte de toutes les combinaisons possibles, on réalise que les manifestations associées aux isocyanates forment un véritable continuum de pathologies, qui vont de l'irritation des yeux à l'alvéolite allergique en passant par la dermatite de contact et l'asthme. Les problèmes pulmonaires et irritants seront abordés en premier puisque les manifestations cliniques observées chez les travailleurs sont dominées en fréquence et en gravité par des atteintes de l'appareil respiratoire.

Effets aigus

Tous les isocyanates causent des irritations de la peau (rougeurs, sécheresse, eczéma) allant jusqu'à une brûlure au 3^e degré. Quelques études rapportent également des dermatites de contact allergiques. L'exposition aux vapeurs et aux aérosols cause des irritations oculaires qui se manifestent par un larmoiement, une sensation de brûlure ou même une conjonctivite, ainsi que des irritations des voies respiratoires supérieures pouvant causer de la douleur à la gorge ou un écoulement nasal. Des concentrations élevées dans l'air peuvent causer de l'irritation des yeux et du nez. Des expositions à de fortes concentrations, par exemple lors d'un déversement accidentel, peuvent provoquer une irritation des bronches, qui se manifeste par le syndrome d'irritation bronchique (RADS), une irritation des alvéoles (pneumonite) et un œdème pulmonaire ; ce dernier peut survenir dans un délai pouvant atteindre 48 heures après l'exposition.

SYNDROME D'IRRITATION BRONCHIQUE

Le [syndrome d'irritation bronchique](#) aigu ou RADS (*Reactive Airway Dysfunction Syndrome*) est dû à une très forte exposition aux isocyanates, normalement à plus de 2 ppm, pouvant provenir, entre autres, d'un déversement accidentel. Rappelons que les normes québécoises pour une valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP) de huit heures sont de 0,005 ppm pour les monomères du HDI, du MDI, du TDI, du diisocyanate d'isophorone et du diisocyanate-4,4' de dicyclohexylméthane, alors qu'elle est de 0,02 ppm pour l'isocyanate de méthyle. Bien que les oligomères d'isocyanates ne soient pas réglementés de façon spécifique au Québec, ils contribuent à la toxicité, souvent de façon majeure puisqu'ils sont présents en proportion très élevée dans certains produits. Par exemple, ils représentent plus de 99 % des fonctions isocyanates dans des mélanges de peinture à base de HDI. Le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) mentionne clairement que l'exposition doit être maintenue à un niveau minimal pour tous les isocyanates. Le RADS, qui en fait est une brûlure des bronches, est caractérisé par une toux persistante, une respiration sifflante, de l'essoufflement et de l'oppression à la poitrine. Il touche tous les travailleurs exposés à de fortes concentrations d'isocyanates. L'effort physique et le froid comptent parmi les facteurs qui peuvent aggraver ces symptômes. Il est donc essentiel que les travailleurs atteints prennent du repos et consultent un médecin. Les symptômes peuvent prendre jusqu'à 24 heures avant de se déclarer et l'hyperréactivité bronchique qui s'ensuit dure plusieurs mois. Chez certains individus, une seule exposition de ce type suffira à les sensibiliser à vie. Cela veut donc dire qu'ils présenteront de véritables symptômes d'asthme chaque fois qu'ils seront mis en présence de très faibles quantités d'isocyanates, soit à des concentrations de beaucoup inférieures aux normes en vigueur.

PNEUMONITE

La pneumonite est une conséquence de l'inflammation causée par l'exposition des alvéoles pulmonaires aux isocyanates. Du liquide s'infiltre alors dans les alvéoles et le travailleur manifeste des symptômes semblables à ceux de la grippe : fatigue, essoufflement, toux et fièvre, qui durent quelques heures. Dans les pires cas, on peut observer un véritable œdème pulmonaire avec détresse respiratoire.

Effets chroniques

Les effets chroniques peuvent être de type irritatif ou allergique. L'allergie se manifeste sous forme d'asthme lorsque les bronches sont atteintes ou sous forme d'alvéolite allergique lorsque les alvéoles sont impliquées. En clinique médicale, la distinction entre ces diverses maladies pulmonaires n'est pas toujours évidente et l'on peut observer en même temps, pour un cas donné, un ensemble de symptômes de l'une et de l'autre d'elles.

PNEUMOPATHIE D'HYPERSENSIBILITÉ (ALVÉOLITE)

L'alvéolite d'hypersensibilité est une réaction inflammatoire des bronchioles terminales et des alvéoles, déclenchée par un mécanisme allergique suivant l'inhalation d'isocyanates. Elle apparaît de six à huit heures après une seconde (ou plus) exposition et conduit à des symptômes de type grippal : fatigue, douleur articulaire, fièvre, malaise, toux, essoufflement, frissons, douleurs musculaires. Le tout rentre normalement dans l'ordre après un repos de 24 à 48 heures. Si les expositions se poursuivent, le travailleur peut développer une forme chronique conduisant à la dyspnée à l'effort, à une toux avec des expectorations et à une perte de poids. Ces situations sont plus fréquentes avec le MDI qu'avec le TDI.

ASTHME AUX ISOCYANATES

L'**asthme** est un syndrome respiratoire causé par une réaction inflammatoire des bronches. Trois mécanismes distincts contribuent à diminuer le diamètre de celles-ci : premièrement, un œdème (enflure) de la paroi des bronches, ensuite une contraction des muscles bronchiques et enfin, une sécrétion de mucus au centre de ces bronches. Le sujet présente une obstruction bronchique provenant d'une inflammation, d'un épaississement de la paroi des bronches et de leur constriction par le muscle lisse qui les entoure. Ce rétrécissement nuit au passage de l'air, surtout durant la phase expiratoire de la respiration, au cours de laquelle il est expulsé hors des poumons. Les symptômes sont de l'irritation des yeux, du nez et de la gorge, de la toux et des crises de respiration sifflante. Ils se produisent habituellement en soirée, ou peuvent réveiller le travailleur pendant la nuit (c'est ce qu'on appelle une réponse retardée). Avec le temps, le travailleur ressent davantage les symptômes et est incommodé sur les lieux du travail et après ses heures de travail (réponse immédiate et retardée). Au Québec, environ 25 % des cas d'asthme professionnel reconnus sont causés par les isocyanates, alors que la littérature plus ancienne rapportait que de 5 % à 15 % de l'ensemble des travailleurs exposés développeraient un asthme professionnel aux isocyanates au cours de leur carrière. Les incidences annuelles ont par contre chuté à moins de 1 % depuis les années 1980 à cause d'une meilleure sensibilisation des milieux de travail aux risques potentiels et aux moyens de les maîtriser, d'un meilleur contrôle de l'environnement, de la formulation de certains produits commerciaux (par exemple, les revêtements contenant moins de monomères volatils) et du port d'appareils de protection respiratoire (APR) lorsque la maîtrise à la source n'est pas possible. Ces mesures de prévention permettent ainsi de minimiser l'apparition de nouveaux cas d'asthme professionnel.

Rappelons que l'asthme est surtout un phénomène inflammatoire déclenché par une réponse allergique et que les isocyanates sont d'abord des molécules irritatives qui peuvent causer directement cette inflammation des bronches. L'asthme professionnel aux isocyanates comporte une période de latence, c'est-à-dire que le travailleur peut être exposé pendant des mois, voire des années, avant qu'il ne devienne sensibilisé à l'agent et développe l'asthme. Lorsque le travailleur devenu allergique est exposé à son agent causal, les symptômes peuvent se manifester rapidement ou plus tard, même pendant la soirée ou la nuit. C'est pourquoi certains travailleurs asthmatiques ne relient pas leurs symptômes (toux, sécrétions abondantes et respiration sifflante et difficile) à leur exposition en milieu de travail. La diminution ou la disparition des symptômes la fin de semaine ou pendant les vacances suggère une origine professionnelle. Une fraction des sujets sensibilisés qui seront retirés de toute exposition récupéreront partiellement ou complètement. Par contre, un travailleur sensibilisé mais encore exposé aux isocyanates aura un mauvais pronostic : aggravation des symptômes, crise d'asthme à la suite d'une exposition à très faible concentration de l'agent causal, dommage permanent des poumons. Quelques décès ont aussi été rapportés. De plus, certains travailleurs ayant développé un asthme professionnel aux isocyanates pourront ressentir les symptômes suivant une exposition à toute autre substance irritante pour les poumons. On parle alors d'asthme exacerbé (aggravé).

Principaux facteurs de risque

Plusieurs facteurs peuvent contribuer au développement de l'asthme. L'atopie, une prédisposition génétique personnelle à manifester de l'allergie (ex. : rhume des foins, poussière), ne semble pas contribuer au déclenchement de l'asthme aux isocyanates, pas plus que le sexe, le tabagisme ou un asthme préexistant. Chez plusieurs sujets, la sensibilisation est reliée à une exposition de courte durée mais à forte concentration (des pics d'exposition). Plus les concentrations d'isocyanates sont élevées, plus grands sont les risques de sensibilisation.



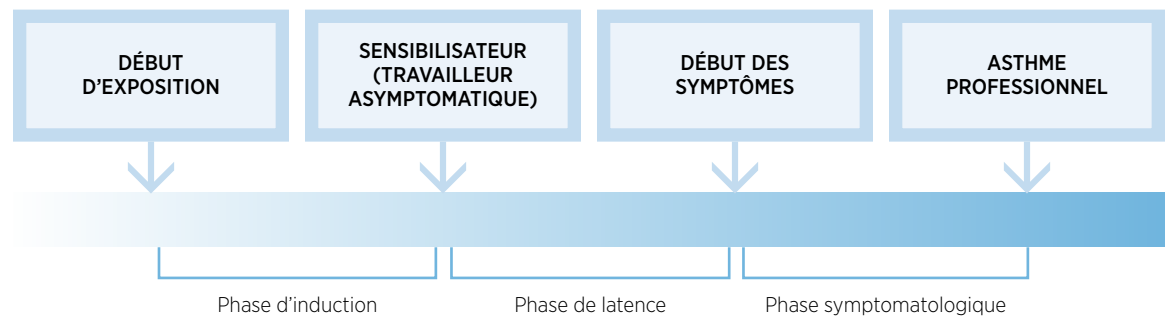
Les connaissances actuelles ne permettent pas de déterminer si la sensibilisation aux isocyanates est attribuable uniquement à de très fortes expositions ou si une exposition répétée à faible concentration sur une longue période pourrait également conduire à la sensibilisation asthmatique. Une exposition continue plutôt qu'intermittente à l'agent causal semble également augmenter le risque de développer un asthme professionnel. Une fois sensibilisé, le travailleur réagira à de très faibles concentrations, bien inférieures aux normes en vigueur.

Histoire de la maladie

L'**histoire naturelle** de la maladie peut être scindée en trois phases (figure 2.1). La **phase d'induction** se situe entre le début de l'exposition professionnelle et le début des premières modifications, alors que l'individu est encore totalement asymptomatique. Elle est suivie par la **phase de latence**, la période qui sépare les premières modifications biologiques, réversibles ou irréversibles, mais asymptomatiques, en l'occurrence la sensibilisation à l'agent, et l'apparition d'une symptomatologie asthmatique. Une intervention précoce au cours de ces deux premières phases permettrait de prévenir les dommages avant que la maladie n'occasionne des manifestations d'un asthme professionnel. La **phase de la symptomatologie asthmatique**, avant que l'individu ne sollicite l'aide d'un médecin, représente la troisième étape. Un diagnostic précoce peut parfois prévenir des incapacités fonctionnelles plus graves, susceptibles d'être déjà présentes lorsque la maladie est habituellement diagnostiquée plus tard.

FIGURE 2.1

HISTOIRE NATURELLE DE L'ASTHME



Source : Adaptée de : http://www.asthme.csst.qc.ca/Document/Info_Med/Formation/ApLatence/Latence03.html#Figure2 (Adaptation d'une illustration)

Diagnostic de l'asthme professionnel



Plusieurs moyens peuvent être utilisés pour établir le diagnostic de l'asthme professionnel. On y trouve les questionnaires qui peuvent servir non seulement au dépistage, mais également à documenter l'histoire professionnelle et à fournir des informations sur le milieu de travail. Les tests de fonction respiratoire permettent d'évaluer le calibre, l'excitabilité et l'irritabilité des bronches de façon non spécifique, alors que des tests de provocation bronchique spécifiques peuvent être réalisés en exposant le patient à l'agent causal (les isocyanates) de façon contrôlée en laboratoire hospitalier et en mesurant sa fonction respiratoire.

Devenir du travailleur

Plusieurs études sur le pronostic de l'asthme professionnel ont montré qu'une forte proportion de travailleurs sensibilisés présentent encore des symptômes respiratoires plusieurs années après l'arrêt de leur exposition à l'agent causal. On estime qu'environ le quart des sujets récupèrent complètement après le retrait de l'exposition. **C'est donc dire que la grande majorité souffrira d'une hyperréactivité bronchique qui pourrait constituer un facteur contributif à une sensibilisation à d'autres allergènes courants (asthme aggravé).** Un travailleur atteint d'asthme professionnel a plus de chance de ne pas présenter de séquelles permanentes si l'on prend les mesures nécessaires pour maîtriser son exposition et sa maladie le plus tôt possible après l'apparition des symptômes (troisième phase de l'histoire de la maladie). **Un travailleur asthmatique devrait être réaffecté à un poste exempt de l'agent causal.**



Une fois la maladie diagnostiquée, il est important de retirer le travailleur de son milieu de travail, car le risque de persistance de l'asthme augmente s'il reste exposé à l'agent causal.

Mutagénicité et génotoxicité

Les données disponibles ne permettent pas de conclure que les isocyanates soient mutagènes ou génotoxiques.

Reproduction et développement

Des études réalisées sur le HDI, le MDI, le MDI polymérique (PMDI) et le TDI ne démontrent aucun effet tératogène ni aucun dommage sur les organes reproducteurs de rats exposés au HDI, au TDI et au MDI.

Études épidémiologiques et cancérogénicité

Des rats et des souris exposés au TDI par gavage oral ont montré une incidence accrue de tumeurs semblables à celles que l'on trouve avec le TDA, un dérivé hydrolysé du TDI, notamment dans les tissus sous-cutanés, le pancréas, le foie et la glande mammaire chez le rat, dans les vaisseaux sanguins et le foie chez la souris. L'inhalation n'a permis d'identifier aucune tumeur chez ces animaux. En février 1998, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé le TDI cancérogène probable pour l'humain (groupe 2B), alors que le MDI et le HDI ne sont pas actuellement considérés comme étant cancérogènes.

Les études épidémiologiques réalisées chez plus de 4 000 travailleurs en Suède (1993 et 2004), ainsi que chez plus de 4 600 aux États-Unis (1996) et plus de 8 200 au Royaume-Uni (1993 et 2003) ne permettent pas de conclure que les isocyanates causent le cancer. L'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH®) ne classe aucun isocyanate comme étant cancérogène chez l'humain. Cet organisme considère la possibilité de classer le TDI comme un cancérogène confirmé chez l'animal (A3, *Notice of Intended Changes*, ACGIH® Booklet 2012), alors que le National Toxicology Program (NTP) considère le TDI comme une substance raisonnablement anticipée à titre de cancérogène sur la base d'études animales. Le Programme international sur la sécurité des substances chimiques (PICS) et la Commission Européenne (CE) considèrent le TDI comme un cancérogène possible pour l'humain.

Surveillance médicale

Les travailleurs exposés aux isocyanates auraient avantage à passer des examens médicaux périodiques, notamment pour vérifier leurs fonctions pulmonaires. En effet, ces mesures de prévention secondaire ont pour objectif de détecter des indicateurs précoces de sensibilisation avant que la maladie, dont l'asthme professionnel, apparaisse. Un tel programme de surveillance comprend un questionnaire sur les symptômes, incluant l'histoire professionnelle de la personne et, selon le résultat, des consultations médicales et des tests de fonction respiratoire seront recommandés (voir sous-section [Histoire de la maladie](#)). Les bénéfices de ce programme sont attribuables aux informations recueillies, mais également associés à la formation des travailleurs et aux mesures environnementales d'hygiène du travail. La surveillance médicale devrait permettre la détection de cas moins graves, avant que la maladie ne soit totalement développée. Un examen médical devrait également précéder le retour au travail de tout travailleur ayant subi une maladie cardiaque ou respiratoire. Un suivi médical devrait par ailleurs être implanté suivant une exposition accidentelle. Il devrait en être de même lorsque des symptômes respiratoires apparaissent.

Le Québec s'est doté du Réseau de référence pour l'asthme professionnel (RRAP) pour accélérer le processus de prise en charge des travailleurs qui font face à des problèmes d'asthme au travail. Ce réseau rassemble un certain nombre de médecins désignés du Réseau de santé au travail du secteur public, qui peuvent compter sur le soutien de pneumologues experts. Ce réseau de référence est basé sur une autodéclaration du travailleur. La démarche débute lorsque l'équipe de santé au travail sensibilise et informe le travailleur, puis lui remet un questionnaire autoadministré à remplir sur une base volontaire. Si le travailleur présente des symptômes, il est encouragé à contacter l'infirmière ou le médecin de l'équipe de santé au travail pour amorcer le processus de suivi. Le fonctionnement est décrit en détail sur le site internet suivant : <http://www.asthme.csst.qc.ca/>.

Pour conclure, les isocyanates sont de puissants irritants et sensibilisants cutanés et respiratoires dont la manifestation la plus grave est l'asthme professionnel. En absence de forts pics d'exposition, la littérature actuelle suggère qu'une exposition moyenne inférieure à 0,005 ppm et des pics inférieurs à 0,020 ppm en **fonctions isocyanates totales** (ppm de fonctions NCO) conduirait à une incidence d'asthme professionnel de moins de 1% par année chez les travailleurs non sensibilisés. La surveillance médicale est importante pour établir un diagnostic d'asthme aussi précoce que possible afin de minimiser le potentiel d'atteintes permanentes.



La maîtrise de l'exposition professionnelle demeure le meilleur outil pour lutter contre le développement de maladies professionnelles liées aux isocyanates.

RÉFÉRENCES

- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH®). *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices*, 2012, Cincinnati, OH, USA, 238 p.
- ASTHME PROFESSIONNEL, CSST, {En ligne} <http://www.asthme.csst.qc.ca/> (mars 2013).
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). « *Medical Management Guidelines for Toluene Diisocyanate* », 2010, {En ligne} <http://www.atsdr.cdc.gov/MHMI/mmg179.pdf> (mars 2013).
- AUSTIN, Shaun. « Biological Monitoring of TDI-Derived Amines in Polyurethane Foam Production », 2007, *Occupational Medicine*, Vol. 57, p. 444-448.
- BELLO Dhimiter, 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 », 2007, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 115, n° 3, p. 328-335, {En ligne} <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1849909/pdf/ehp0115-000328.pdf> (mars 2013).
- BELLO Dhimiter, Susan R. Woskie, Robert P. Streicher, Youcheng Liu, Meredith H. Stowe, Ellen A. Eisen, Michael J. Ellenbecker, Judy Sparer, Fred Youngs, Mark R. Cullen, Carrie A. Redlich. « Polyisocyanates in Occupational Environments: A Critical Review of Exposure Limits and Metrics », 2004, *American Journal of Industrial Medicine*, Vol. 46, n° 5, p. 480-491, {En ligne} <http://www.cdc.gov/niosh/nas/rdrp/appendices/chapter4/a4-22.pdf> (mars 2013).
- CREPY, M.N. « Dermatoses professionnelles aux constituants des matières plastiques », 2009, Fiche d'allergologie-dermatologie professionnelle n° 82, INRS.
- COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL (CSST). Répertoire toxicologique, {En ligne} <http://www.reptox.csst.qc.ca/> (mars 2013).
- DILLER, Werner F. « Frequency and Trends of Occupational Asthma Due to Toluene Diisocyanate: a Critical Review », 2002, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 17, n° 12, p. 872-877, {En ligne} ftp://ftp.cdc.gov/pub/Documents/OEL/06.%20Dotson/References/Diller_2002.pdf (mars 2013).
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. Règlement sur la santé et la sécurité du travail, Éditeur officiel du Québec, 2012, (S-2.1, r13), {En ligne} http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/S_2_1/S2_1R13.HTM (mars 2013).
- LABRECQUE, Manon, Jean-Luc Malo, Khadija M. Alaoui et Khalil Rabhi. « Medical Surveillance Program for Diisocyanate Exposure », 2011, *Occupational & Environmental Medicine*, Vol. 68, n° 4, p. 302-307, {En ligne} <http://oem.bmj.com/content/68/4/302.full.pdf+html> (mars 2013).
- LABRECQUE, Manon, André Cartier, Jean-Luc Malo et Jules Turcot. « Comparaison de deux approches différentes pour identifier les sujets atteints d'asthme professionnel aux isocyanates », 2009, Études et recherches, IRSST R-603, 23 pages, {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-603.pdf> (mars 2013).
- MALO, Jean-Luc. « Santé respiratoire et isocyanates, cours de formation sur les isocyanates en milieu de travail », 1999, 21^e congrès annuel de l'AQHSST.
- NADEAU, Daniel. « Les isocyanates et leurs effets sur la santé », 2000, Symposium sur les isocyanates et l'asthme professionnel.
- OTT, M. Gérald, W.F. Diller et Athena T. Jolly. « Respiratory Effects of Toluene Diisocyanate in the Workplace: a Discussion of Exposure-Response Relationships », 2003, *Critical Reviews in Toxicology*, Vol. 33, n° 1, p. 1-59, {En ligne} <http://informahealthcare.com/doi/pdf/10.1080/713611031> (mars 2013).
- OTT, M. Gérald. « Occupational Asthma, Lung Function Decrement, and Toluene Diisocyanate (TDI) Exposure: a Critical Review of Exposure-Response Relationship », 2002, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 17, n° 2, p. 891-901, {En ligne} http://198.246.112.54/pub/Documents/OEL/06.%20Dotson/References/Ott_2002.pdf (mars 2013).
- REDLICH, Carrie A. et M.H. Karol. « Review. Diisocyanate Asthma: Clinical Aspects and Immunopathogenesis », 2002, *International Immunopharmacology*, Vol. 2, n° 2-3, p. 213-224.
- SAKKINEN, Kirsi, Jarkko Tornaesus, Antti Hesso, Ari Hirvonen, Harri Vainio, Hannu Norppa et Christina Rosenberg. « Protein Adducts as Biomarkers of Exposure to Aromatic Diisocyanates in Workers Manufacturing Polyurethane (PUR) Foam », 2011, *Journal of Environmental Monitoring*, Vol. 13, n° 4, p. 957-965.
- WISNEWSKI, Adam V., Carrie A. Redlich, Cristina E. Mapp et David L. Bernstein. « Polyisocyanates and their Prepolymers », *In Asthma in the Workplace*, Édité par I.L. Bernstein, M. Chan-Yeung, J.-L. Malo et D.I. Bernstein, Taylor and Francis, 2006, p. 481-504.

2.2 LOI ET RÈGLEMENT

La législation et la réglementation visent la réduction voire l'élimination des facteurs de risque que présente l'utilisation de substances dangereuses, dont les isocyanates.

Cette section examine la législation et la réglementation qui concernent les isocyanates afin de déterminer les responsabilités et les obligations en matière de moyens de maîtrise reliés à leur utilisation.

2.2.1 Responsabilités de l'employeur

Le Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT) est régi par des lois et des règlements fédéraux et provinciaux. Les employeurs du Québec sont soumis à la législation québécoise, plus précisément à la Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST), ainsi qu'au Règlement sur l'information concernant les produits contrôlés.

FIGURE 2.2
PICTOGRAMME DU SGH



L'utilisation, la manutention et l'entreposage d'un produit contrôlé sur un lieu de travail sont autorisés si son contenant est muni d'une étiquette et si son fabricant fournit une fiche signalétique conforme aux dispositions de la Loi (LSST, articles 62.1 à 62.4, 62.6) et des règlements. De plus, les travailleurs doivent recevoir la formation et l'information requises pour accomplir le travail qui leur est confié de façon sécuritaire (LSST, article 62.5).

Le Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH) est un système international d'étiquetage des matières dangereuses pour la santé et l'environnement. Il est destiné à unifier les différents systèmes nationaux en vigueur, notamment le SIMDUT et la réglementation sur le transport des matières dangereuses. Plusieurs nouveaux pictogrammes de danger seront établis. L'un d'entre eux, qui représente une masse blanche avec le buste d'un humain (figure 2.2²), a été introduit. Il est utilisé entre autres pour identifier les sensibilisants. Au moment de la publication de ce guide, le SGH n'est pas encore mis en œuvre au Québec.

L'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité de ses travailleurs (LSST, article 51). Cet article de la Loi vise ses obligations en rapport avec :

- 1 les équipements, l'aménagement et la tenue des lieux ;
- 2 l'organisation du travail ainsi que les méthodes et les techniques de travail ;
- 3 l'identification, la maîtrise et l'élimination des risques, notamment les risques d'exposition à des contaminants et les risques d'incendies ;
- 4 la formation et l'information des travailleurs, notamment sur les équipements de protection individuelle (ÉPI) ;
- 5 le port des ÉPI.

² Source du pictogramme de la classe des dangers pour la santé, notamment pour la sensibilisation respiratoire, (En ligne) <http://sti.ac-montpellier.fr/IMG/pdf/SGH.pdf> (mars 2013).

2.2.2 Ventilation

Les isocyanates sont contenus dans plusieurs produits, dont les revêtements et les apprêts pour les véhicules de transport, les mousses de polyuréthane et les liants (voir section [Anticipation](#)). Ils présentent un danger pour la santé et la sécurité des travailleurs et peuvent induire de l'asthme professionnel (AP) ainsi que des allergies cutanées (voir sous-section [Effets sur la santé](#)).

La ventilation doit permettre de réduire, voire d'éliminer l'exposition aux isocyanates à l'aide de moyens de prévention, dont certains sont prescrits dans les articles 101 à 104, 107 et 109 du Règlement sur la santé et la sécurité du travail ([RSST](#)).

Le RSST mentionne également que les prises d'air ne doivent pas introduire de l'air contaminé (article 106), que l'air contaminé doit être évacué sans aucune recirculation (article 108) et ne pas être dirigé vers un local contigu (article 110).

Les normes d'émission dans l'atmosphère, relatives aux activités d'application de peintures ou de revêtements, sont prescrites aux articles 27 à 40 du [Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère](#) (RAA Q-2, r. 4.1). Ces normes visent surtout les émissions de composés organiques volatils (COV), résultant de la présence de solvants organiques dans les peintures. Elles consistent en des valeurs limites d'émission, des teneurs maximales de COV dans les peintures et des exigences relatives aux équipements d'application de peintures. Les isocyanates présents dans les peintures n'étant pas des solvants, mais bien des liants, ils ne sont pas visés par les normes prescrites dans le RAA.

2.2.3 Qualité de l'air

L'article 39 du RSST stipule que toute émission de matières dangereuses qui sont sources de gaz, de fumées, de vapeurs, de poussières ou de brouillards doit être éliminée sinon réduite en remplaçant les produits en cause. Si le remplacement est impraticable, les concentrations de ces substances dangereuses dans la zone respiratoire des travailleurs ne doivent pas excéder les valeurs d'exposition admissibles (VEA) prévues à l'annexe I du RSST (article 41).

Pour un établissement de plus de 50 travailleurs, le RSST spécifie que les concentrations des contaminants doivent être mesurées au moins une fois l'an si elles excèdent ou sont susceptibles d'excéder les VEA prévues à son annexe I. De plus, ces mesures doivent être prises dans le cas d'une modification du procédé ou de la mise en place de moyens de maîtrise. Les résultats de toutes les analyses de la qualité de l'air doivent être conservés pendant une période d'au moins cinq ans (RSST, article 43). Les mesures doivent être effectuées dans la zone respiratoire des travailleurs si possible, en appliquant les méthodes décrites par l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) (RSST, article 44).

De plus, l'article 42 de ce règlement comporte des exigences spécifiques à l'exposition aux diisocyanates et aux oligomères d'isocyanate; celle-ci doit être réduite au minimum, même lorsqu'elle demeure à l'intérieur des VEA prévues à l'annexe I du RSST.



La notion d'exposition minimale (EM) peut être interprétée comme suit :

Une étude du **niveau de risque** associé au procédé et à la substance (volatilité, état physique) est effectuée. L'objectif est de revoir les différents moyens de prévention pouvant s'adapter à la situation spécifique. Il s'agit de cas par cas. La hiérarchie des moyens de prévention est passée en revue : substitution, isolement du procédé, ventilation... et, en dernier recours, appareils de protection respiratoire (APR) à cartouche, si l'exposition est de courte durée et si aucun aérosol n'est émis. Dans les cas d'émissions d'aérosols, l'adduction d'air est privilégiée.

Bien que la maîtrise de l'exposition doive être fonction du niveau de l'exposition et que les étapes de l'anticipation et de l'identification fassent référence à des informations sur la nature chimique des isocyanates présents, les effets sur la santé, la réglementation en vigueur, etc., la quantification du risque n'est pas incluse dans l'étude de niveau de risque proposée dans la démarche de cet encadré. La notion d'exposition minimale (notation EM) soutient cette démarche et les moyens de prévention.

Valeurs de référence

Afin de prévenir les effets néfastes sur la santé et les maladies professionnelles pouvant résulter d'une exposition des travailleurs à des contaminants chimiques, il importe d'identifier et d'évaluer l'exposition afin de mettre en place des moyens de prévention (RSST, articles 43 et 44). La stratégie d'évaluation repose notamment sur la mesure de l'exposition, puis sur la comparaison de cette concentration à des valeurs de référence (VR)³.

Les prélèvements environnementaux ciblent les sources d'exposition en se concentrant sur des tâches à risque élevé. De plus, bien que l'intensité, la durée et la fréquence d'expositions reliées à l'apparition de la maladie ne soient pas toujours connues, de nouvelles valeurs d'exposition aux isocyanates pourraient être axées sur des excursions à court terme, plutôt que sur la moyenne pondérée sur huit heures. Il est plus facile de déterminer des crêtes d'exposition, qui peuvent contribuer au développement de la maladie ou à son exacerbation, en se référant à des valeurs d'exposition de courte durée. La notation S de l'annexe I du RSST classe les isocyanates parmi les sensibilisants respiratoires.

Certains organismes ou pays, tels que l'Australie, le Royaume-Uni et la Suisse, ont établi des VR correspondant à une concentration exprimée en masse de fonction isocyanate par unité de volume d'air, c'est-à-dire μg de NCO par mètre cube (m^3), incluant les fonctions isocyanates des monomères ET des oligomères. Ce paramètre de quantification est insensible à la mise au point rapide de nouvelles formulations de produits à base d'isocyanates (voir sous-section [Stratégie de prélèvement et analyse](#)). Compte tenu de la présence réduite en monomère par rapport à celle des oligomères dans plusieurs mélanges utilisés, l'établissement d'une VR pour les oligomères (polyisocyanates) est le seul moyen de permettre une évaluation quantitative du risque réel global relié à l'exposition et ainsi, de prendre les mesures adéquates pour mieux protéger les travailleurs en prenant en considération leur effet sensibilisant. Les tableaux de l'[Annexe 1](#) résument les valeurs de référence pour cinq substances de la famille des isocyanates. Les différentes notations et notes en bas de ces tableaux sont harmonisées pour en faciliter la lecture. Ces valeurs sont extraites de la base de données sur les substances dangereuses ([GESTIS](#)).

³ Les valeurs de référence, selon l'organisme ou le pays, peuvent être appelées valeur limite d'exposition (VLE ou VME), etc. De façon générale, elles sont pondérées sur 8 heures (VEMP) ou sur 15 minutes (VECD), ou sont une valeur plafond à ne pas dépasser. Une liste de quelques valeurs d'exposition est présentée à l'Annexe 1.

2.2.4 Équipements de protection

Les employeurs doivent fournir gratuitement des équipements de protection individuels (ÉPI) à leurs travailleurs. La section [Maîtrise des facteurs de risque](#) collige les matériaux des gants et des survêtements pour le corps entier qui offrent une protection contre les isocyanates.



Le port d'un ÉPI n'élimine aucunement l'obligation de l'employeur de réduire à la source le danger pour la santé et la sécurité des travailleurs (RSST, article 45).

L'Occupational Safety and Health Administration ([OSHA](#)) spécifie qu'il n'existe aucun appareil de protection respiratoire (APR) à cartouche chimique munie d'un indicateur de fin de service approuvé pour les isocyanates par le National Institute for Occupational Safety and Health ([NIOSH](#)). Toutefois, cet organisme considère que, lorsqu'il est impossible d'utiliser l'adduction d'air, l'emploi de cartouches de charbon activé pourrait être acceptable s'il respecte un programme de changement efficace et contrôlé de celles-ci, et ce, malgré l'absence d'un indicateur de fin de service.

Rappelons que l'établissement doit établir un programme de protection respiratoire (RSST, article 45), qui comprend, entre autres, la formation des travailleurs ainsi que les tests d'ajustements et d'étanchéité des APR. Le choix d'un de ces appareils et son facteur de protection (FC) doivent également être documentés dans le cadre de ce programme.

2.2.5 Risque de déflagration

Les produits à base d'isocyanates contiennent également des solvants inflammables. En plus du risque chimique lié à toutes ces substances, il faut donc aussi tenir compte des risques de déflagration et d'incendie dans la conception et l'aménagement des lieux où elles seront utilisées, notamment les cabines et ateliers de peinture. Ces espaces et équipements doivent répondre aux spécifications du [Code de construction du Québec](#), en plus de respecter les principes de prévention. Le RSST mentionne qu'il faut :

- 1 éliminer les sources d'inflammation, incluant l'électricité statique (RSST, articles 50 à 52);
- 2 maintenir les concentrations de vapeurs inflammables à moins de 25 % de la limite inférieure d'explosivité (RSST, article 49);
- 3 concevoir adéquatement les systèmes de captation à la source des vapeurs ou des gaz inflammables (RSST, article 53);
- 4 faire fonctionner de façon optimale les systèmes de captation pendant les heures d'exploitation (RSST, article 5).

Le système de collecte et de traitement des contaminants pulvérisés et autres qui présentent un risque d'incendie et d'explosion doit être conçu, construit, installé, utilisé et entretenu selon les règles de l'art et les normes énumérées à l'article 58 du RSST.

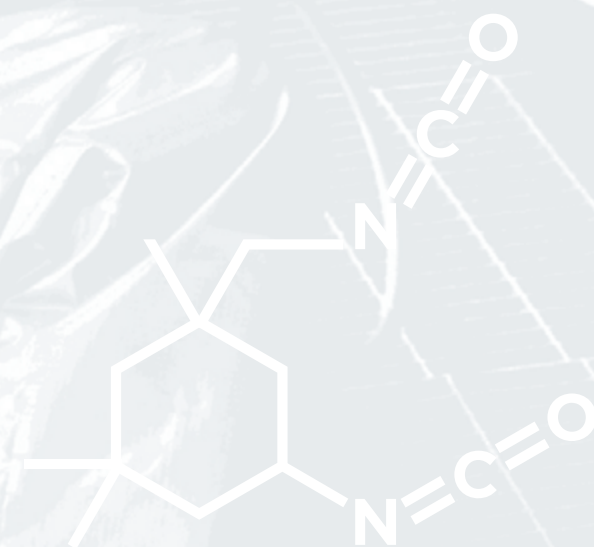
Le Code des liquides inflammables et combustibles du National Fire Protection Association ([NFPA-30, 2012](#)), la Norme sur la pulvérisation des matières inflammables et combustibles ([NFPA-33, 2011](#)) et le Code national de prévention des incendies du Canada fournissent plus d'informations à ce propos.

L'entreposage des substances inflammables doit respecter les spécifications du SIMDUT ainsi que les articles 81 et 82 du RSST.

RÉFÉRENCES

- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH®). *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices*, 2012, Cincinnati, OH, USA, 238 p.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. *ATMOSPHÈRES DES LIEUX DE TRAVAIL. Conseils pour l'évaluation de l'exposition aux agents chimiques aux fins de comparaison avec des valeurs limites et stratégie de mesurage*, 1995, Paris, France, Norme EN 689.
- BELLO, Dhimiter, Susan R. Woskie, Robert P. Streicher, Youcheng Liu, Meredith H. Stowe, Ellen A. Eisen et coll. « Polyisocyanates in Occupational Environments: a Critical Review of Exposure Limits and Metrics », 2004, *American Journal of Industrial Medicine*, Vol. 46, n° 5, p. 480-491, {En ligne} <http://www.cdc.gov/niosh/nas/rdrp/appendices/chapter4/a4-22.pdf> (mars 2013).
- DEDHIA, H.V., R.J. Rando et D.E. Banks. « Can We Protect Workers from Developing the Adverse Respiratory Effects of Isocyanate Exposure? », 2000, *Occupational Medicine: State of the Art Reviews*, Vol. 15, n° 2, p. 399-409.
- DROLET, Daniel, Nicole Goyer, Brigitte Roberge et coll. « Stratégies de diagnostic de l'exposition des travailleurs aux substances chimiques », 2010, Rapport et Études IRSST R-665, 70 pages, {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PublIRSST/R-665.pdf> (mars 2013).
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC. Loi sur la santé et la sécurité du travail, Éditeur officiel du Québec, 2012, (L.R.Q., chapitre S-2.1), {En ligne} http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/S_2_1/S2_1.html (mars 2013).
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC. Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère. Loi sur la qualité de l'environnement, 2013, (RAA Q-2, R.4.1), {En ligne} http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=%2F%2FQ_2%2FQ2R4_1.htm (mars 2013).
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC. Règlement sur la santé et la sécurité du travail, Éditeur officiel du Québec, 2012, (S-2.1, r13), {En ligne} http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/S_2_1/S2_1R13.HTM (mars 2013).
- IGNACIO, J.S. et W.H. Bullock. « A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures », 2006, *American Industrial Hygiene Association Exposure Assessment Strategies Committee*, Third Edition, Fairfax (VA), USA.
- INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ (INRS). « Aide au diagnostic Dépassement / Non-dépassement de la VLEP dans l'évaluation de l'exposition professionnelle », 2008, Paris, France, 14 p. Métropol Fiche A3/V02, {En ligne} [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/Metropol%20A3/\\$File/MetA3.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/Metropol%20A3/$File/MetA3.pdf) (mars 2013).
- INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ (INRS). « Stratégie d'évaluation de l'exposition et comparaison aux valeurs limites », 2005, Paris, France, 22 p., Métropol Fiche A1/V01, {En ligne} [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/Metropol%20A1/\\$File/MetA1.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/Metropol%20A1/$File/MetA1.pdf) (mars 2013).
- LAVOUÉ, Jérôme et Yan-Éric Deadman. « Enquête préliminaire en hygiène du travail et Stratégie d'évaluation de l'exposition et d'interprétation des données », *In Manuel d'hygiène du travail - Du diagnostic à la maîtrise des facteurs de risque*, Édition Modulo-Griffon, 2004, p. 377-437.
- PERKIN, LP. « Modern Industrial Hygiene, Recognition and Evaluation of Chemical Agents », Volume 1, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Publication n° 9833, John Wiley & Sons, 2008, Cincinnati (OH), USA.
- PRONK, Anjoeka, Erik Tieleman, Gunnar Skarping, Ivana Bobeldijk, Joop Van Hemmen, Dick Heederik et Liesbeth Preller. « Inhalation Exposure to Isocyanates of Car Body Repair Shop Workers and Industrial Spray Painters », 2006, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 50, n° 1, p. 1-14, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/50/1/1.full.pdf> (mars 2013).
- SPARER, Judy, Meredith H. Stowe, Dhimiter Bello, Youcheng Liu, Rebecca J. Gore, Fred Youngs, Mark R. Cullen, Carrie A. Redlich et Susan R. Woskie. « Isocyanate Exposures in Autobody Shop Work: The Spray Study », 2004, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 1, n° 9, p. 570-581.

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE



ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE

L'exposition des travailleurs est fonction des caractéristiques de l'isocyanate présent, mais également de son utilisation, du procédé et des équipements. Dans certains procédés, les isocyanates sont générés sous différentes formes physiques (vapeur, aérosol) et chimiques (monomère, oligomères), chacune ayant son propre potentiel de nocivité.

Le risque pour la santé d'une substance doit être évalué en tenant compte des déterminants et des facteurs d'exposition. Mentionnons la toxicité de la substance en question, ses propriétés et formes physiques, les conditions environnementales (température et humidité), les procédés employés (voir section [Anticipation](#) et sous-section [Stratégie de prélèvement et analyse](#)), les voies d'absorption (voir sous-section [Effets sur la santé](#)) et les horaires de travail. L'évaluation environnementale soutient la mise en place des moyens de maîtrise (substitution, ventilation, équipements de protection, etc.).

Considérant le potentiel d'irritation cutanée des isocyanates de même que celui d'occasionner des maladies pulmonaires obstructives, dont l'asthme professionnel (AP), l'évaluation de l'exposition doit permettre de déterminer la concentration (1) dans l'air de ces substances générées sous forme de vapeur ou d'aérosol ainsi que (2) sur les surfaces de travail, et ce, toujours en fonction de la réactivité de leurs formes monomère et oligomères. Mentionnons, à titre d'exemple, un revêtement à base d'isocyanates lorsqu'il est appliqué à l'aide d'un rouleau ou d'un pinceau (potentiel d'émission de vapeurs) comparativement à sa pulvérisation (potentiel d'émission d'aérosols et de vapeurs). Les objectifs d'une intervention (figure 3.1) peuvent être d'évaluer l'exposition d'un travailleur dans le cadre de l'élaboration d'un programme de prévention, d'une étude de conformité ou d'une étude sur la qualité de l'air pour la réintégration d'un travailleur sensibilisé. De plus, il faudra prendre en compte la contamination des surfaces de travail qui contribue, entre autres, à

FIGURE 3.1

ÉVALUATION DU RISQUE DE L'EXPOSITION AUX ISOCYANATES



l'exposition cutanée. La surveillance biologique confirmerait les expositions pour ces deux principales voies, c'est-à-dire par inhalation et par contact cutané, lorsque les polyamines de l'isocyanate en cause sont détectables.

Qu'il s'agisse d'une étude de conformité ou autre, le résultat d'une évaluation de l'exposition est comparé aux valeurs de référence [valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP) sur huit heures ou valeur d'exposition de courte durée (VECD) sur 15 minutes]. Les méthodes de prélèvement et d'analyse de l'air doivent permettre de caractériser les isocyanates sous leurs formes physique (vapeur et/ou aérosol) et chimique (monomère et oligomères) générées

par le procédé (voir sous-section [Stratégie de prélèvement et analyse](#)). Les périodes⁴ n'ayant pas fait l'objet de prélèvements doivent être rigoureusement documentées afin d'estimer le potentiel d'exposition qu'elles présentent. Les sections 3.1 et 3.2 décrivent, respectivement et en détail, l'exposition par inhalation de plusieurs procédés et l'exposition cutanée.

Au cours d'une étude de réintégration d'un travailleur sensibilisé aux isocyanates, il est essentiel de s'assurer que l'air ambiant des postes de travail en soit exempt. Le choix de la méthode analytique est crucial quant aux niveaux à quantifier, qui sont probablement très faibles. Il faut donc utiliser une méthode de haute sensibilité (voir sous-section [Stratégie de prélèvement et analyse](#)).

3.1 EXPOSITION PAR INHALATION

Comme mentionné à la section traitant de l'[Anticipation](#), plusieurs procédés industriels utilisent des isocyanates de formes monomère ou oligomères. La pulvérisation met les travailleurs plus à risque que les procédés d'injection ou d'extrusion, entre autres.

3.1.1 Exposition lors de la pulvérisation de revêtements pour véhicules

Les isocyanates contenus dans les apprêts, les durcisseurs, les produits de couche de finition et autres sont le HDI de forme monomère et une variété de mélanges de quatre polyisocyanates, dont le diisocyanate d'isophorone (IPDI) polyisocyanate, le HDI biuret, le HDI uretidione et le HDI isocyanurate. Des études rapportent que les travailleurs des ateliers de réparation de véhicules routiers sont fréquemment exposés aux HDI oligomères et que leurs niveaux d'exposition y sont élevés. Les principaux déterminants du secteur de la réparation de véhicules sont :

- 1 la quantité de revêtements utilisés;
- 2 les caractéristiques de l'atelier;
- 3 le nombre de véhicules à peindre;
- 4 le nombre de peintres présents;
- 5 la vitesse et le type d'aspiration de la cabine de finition (évacuation verticale *downdraft* ou *semi-downdraft* et évacuation horizontale *crossdraft*);
- 6 les pratiques de travail et
- 7 les conditions environnementales.

La littérature rapporte que l'exposition est moindre dans un atelier de grande dimension où il se fait de nombreuses applications de couches de finition. Cela s'expliquerait par le volume plus important dans ces types d'ateliers, par les équipements plus récents dont ils disposent et par leurs programmes d'entretien préventif. Le potentiel d'exposition des travailleurs non impliqués dans la pulvérisation de revêtements serait élevé dans les petits ateliers, particulièrement au cours des mois froids, alors que les portes, les fenêtres et les autres ouvertures sont fermées. Des concentrations rapportées dans la littérature sont colligées à la section [Exemples de la démarche d'hygiène du travail](#).

4 Pour en savoir plus : {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/T-06.pdf> (mars 2013).

3.1.2 Exposition lors de la pulvérisation de mousse uréthane

Le procédé de pulvérisation de mousse rigide à base de diisocyanate-4,4' de diphénylméthane (MDI) est utilisé pour l'isolation de structures de bâtiments. Le MDI y est principalement présent sous la forme physique d'aérosol composé de fines particules (majoritairement $> 10 \mu\text{m}$). La forme aérosol du liquide augmente de manière importante la surface liquide/air. Cette surface est un des facteurs qui définissent l'évaporation. Donc, sous forme d'aérosol, un liquide passe plus facilement à l'état de vapeur (jusqu'à la pression saturante). La littérature rapporte que l'exposition de l'installateur est importante. Les niveaux de MDI monomère mesurés varient de $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $1800 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bien que moindres pour les assistants, ces niveaux dépendent principalement de leurs pratiques de travail. Enfin, l'exposition est accrue lorsque ce procédé est utilisé dans des espaces clos ou restreints. Rappelons qu'au Québec, la VEMP du MDI est $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (voir tableau 3 à l'[Annexe 1](#)).

Une mousse à base de MDI est injectée pour consolider les tunnels souterrains. Au cours de ce procédé par injection, les résultats du MDI rapportés varient de la limite de quantification jusqu'à $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -NCO (groupement ou fonction active des isocyanates).

Le MDI entre également dans la fabrication d'accessoires intérieurs d'automobiles (extrusion) et de liants pour ceux-ci. Les travailleurs affectés à la fabrication ou au collage de ces accessoires peuvent être exposés à des concentrations variant de $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $352 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Des concentrations rapportées dans la littérature sont colligées à la section [Exemples de la démarche d'hygiène du travail](#).

3.1.3 Exposition lors de l'utilisation d'isocyanates comme liant

Depuis quelques années, le MDI sert de liant dans la fabrication de panneaux à copeaux orientés (OSB, ou *Oriented Strand Boards*). La valeur d'exposition pondérée sur huit heures aux postes évalués varierait de la limite de quantification analytique à $524 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Selon la littérature, les groupes d'exposition ne sont pas toujours homogènes et l'opérateur affecté au nettoyage des séchoirs et du mélangeur présente un risque accru d'exposition par rapport aux autres travailleurs.

L'utilisation de liants à base d'isocyanates peut générer des vapeurs de ces contaminants si l'on emploie un pistolet chauffant. Si la température augmente, la pression de vapeur augmente aussi. Il y a donc présence accrue d'isocyanates à l'état de vapeur.

Les travailleurs affectés au collage de pièces peuvent être exposés à des concentrations de MDI de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La fabrication de la mousse par moulage ou par extrusion, à haute ou à basse pression, présente également un potentiel d'exposition aux isocyanates (TDI ou MDI). Des concentrations rapportées dans la littérature sont colligées à la section [Exemples de la démarche d'hygiène du travail](#).

3.1.4 Exposition lors de la dégradation thermique

La dégradation thermique du polyuréthane génère des émissions d'isocyanates et d'autres substances toxiques, comme les aminoisocyanates et les amines. Ces substances sont générées sous forme de vapeur et de très fines particules ($< 2 \mu\text{m}$). Les isocyanates en cause sont principalement de forme monomérique.

L'utilisation d'un procédé abrasif (meulage à disque, ponçage de finition, coupe de pièces, etc.) sur des revêtements à base d'isocyanates génère de la chaleur qui peut libérer des isocyanates dans l'air, dont le MDI, le HDI, le TDI, l'IPDI et l'isocyanate de méthyle (MIC). Le potentiel d'exposition est plus élevé dans

les opérations de coupage. Étant donné que cette tâche peut dégager des concentrations d'isocyanates atteignant jusqu'à la moitié de la valeur de référence recommandée par le Health and Safety Executive ([HSE](#)), il est souhaitable qu'un travailleur sensibilisé ne l'exécute pas. Les opérations de soudage et d'usinage de métaux de revêtement à base de polyuréthane peuvent générer des concentrations d'isocyanates dans l'air, notamment le MIC, HDI, IPDI, TDI et MDI, et leur amine correspondant, toujours en fonction du type de revêtement appliqué.

Dans les fonderies (*hot box binders*), l'exposition au MIC est faible au regard des valeurs de référence recommandées par l'American Conference of Industrial Hygienist (ACGIH®). Un examen médical et des mesures préventives quant aux méthodes de production et une ventilation adéquate sont recommandés.

La mousse souple fraîchement formée dégage du TDI lorsqu'elle est coupée avec un fil chaud. Toutefois, cette substance n'est pas détectée lors de la coupe d'une mousse formée depuis plus de 24 heures. Des concentrations rapportées dans la littérature sont colligées à la section [Exemples de la démarche d'hygiène du travail](#).

En ce qui concerne les risques liés à un incendie de voiture par exemple, des isocyanates aliphatiques linéaires, des isocyanates alcéniques (de méthyle à butyle) et du HDI sont principalement générés pendant la combustion d'un revêtement d'automobile.

3.2 EXPOSITION PAR CONTACT CUTANÉ

Les isocyanates peuvent être absorbés par la peau, notamment au contact d'une surface contaminée, ou par des projections. En plus d'être exposés par inhalation, les travailleurs du secteur de la réparation de véhicules le sont également par voie cutanée, notamment au HDI, au cours de la préparation des revêtements (sans port de gants adéquats), de la pulvérisation et de travaux sur un revêtement qui n'est pas encore complètement sec, le temps médian de séchage étant d'environ 56 heures. Il y aurait donc un potentiel d'exposition cutanée pendant cette période.

Dans la fabrication de panneaux à copeaux orientés, la contamination des surfaces au MDI a été observée à des postes où se trouve un amoncellement de poussières de bois et/ou de résidus de MDI.

Dans certaines circonstances, il peut s'avérer utile, voire nécessaire, de déterminer la présence, la nature ou la quantité approximative d'isocyanates sur la surface de tables, d'outils ou d'autres objets.



Le prélèvement par frottis de surface pose un défi particulier, car ces substances très réactives contiennent plusieurs fonctions isocyanates et certaines peuvent être chimiquement liées à la surface pour ainsi être difficiles ou impossibles à prélever (voir sous-section [Méthodes d'évaluation des isocyanates sur les surfaces](#)).

3.3 STRATÉGIE DE PRÉLÈVEMENT ET ANALYSE

Les isocyanates sont des molécules très réactives qui doivent être « transformées » en molécules plus stables aussitôt prélevées sur le terrain afin d'être analysées adéquatement en laboratoire. L'efficacité de cette « transformation » est directement liée aux caractéristiques des isocyanates présents dans le milieu de travail, ce qui aura un effet déterminant sur le type d'échantillonneur à utiliser. La sélection de la méthode d'évaluation de l'exposition dépendra donc de l'ensemble de ces caractéristiques, qui sont reliées au type d'isocyanate et au procédé.

Cette section passe en revue les différentes méthodes permettant d'obtenir les données d'exposition les plus adéquates possibles. Quelques études de cas sont présentées à la section [Exemples de la démarche d'hygiène du travail](#). Il est important de noter que les stratégies de prélèvement et d'analyse citées dans ce document sont celles que l'IRSST recommande, bien qu'il en existe d'autres.

3.3.1 Principes généraux

Parce que les isocyanates sont des molécules très réactives, la méthode utilisée pour évaluer l'exposition sera pratiquement toujours une variante du principe de prélèvement et d'analyse suivant :



L'isocyanate est capté sur un substrat et mis en contact, immédiatement ou après un court délai, avec un réactif chimique pour transformer l'isocyanate en une molécule plus stable et plus facilement analysable.

TABEAU 3.1

CARACTÉRISTIQUES DES ISOCYANATES À PRENDRE EN COMPTE DANS L'ÉLABORATION DE LA STRATÉGIE DE PRÉLÈVEMENT ET ANALYSE

CARACTÉRISTIQUES	DESCRIPTION – DÉTERMINANT
Forme chimique	Monomère et/ou oligomères, en relation avec : ■ le procédé
Forme physique	Vapeur ou aérosol, en relation avec : ■ la forme chimique (tension de vapeur) ■ le procédé (température, agitation mécanique)
Vitesse de réaction	Lente ou rapide, en relation avec : ■ la forme chimique ■ le procédé

Cet énoncé indique que la mesure de l'exposition se résume généralement à deux étapes : le **prélèvement** (ou l'échantillonnage) et l'**analyse** subséquente. Ces deux étapes sont indissociables l'une de l'autre et la qualité d'un résultat est autant liée à l'une qu'à l'autre. Le prélèvement peut aussi bien s'effectuer dans l'air ou sur une surface, alors que l'analyse peut être faite directement sur le lieu de travail ou au laboratoire. La capacité de ces deux étapes à fournir à l'utilisateur des données représentatives de l'exposition aux isocyanates (au procédé, au contexte de travail, à la tâche) est directement liée à leur capacité de s'adapter aux propriétés et aux caractéristiques des isocyanates et du procédé utilisé. Afin d'aider l'intervenant à mieux comprendre les conséquences de ces

aspects sur l'évaluation de l'exposition, le tableau 3.1 et les paragraphes suivants reviennent sur l'information déjà présentée à la section [Anticipation](#). Ce tableau résume les caractéristiques des isocyanates qu'il faut connaître avant de procéder à l'évaluation de l'exposition par inhalation. On y constate que les caractéristiques à prendre en compte pour évaluer l'exposition sont interreliées.

En effet, la **forme chimique** des isocyanates, monomère et/ou oligomères, dépend de ce que le procédé requiert. Par exemple, la peinture à base de HDI renferme une proportion de monomère inférieure à 1 %, alors que celle des oligomères sera supérieure à 75 % et, dans la production de mousse de polyuréthane flexible, le TDI sera présent à 100 % sous forme monomère. Comme mentionné à la sous-section [Effets sur la santé](#), toutes les fonctions isocyanates, qu'elles proviennent du monomère ou des oligomères, contribuent aux effets nocifs sur la santé du travailleur. De plus, sans toutefois préciser une VEA spécifique comme pour les monomères, le RSST stipule pour les oligomères la notation sensibilisant (S) et le devoir de réduire au minimum leur exposition, impliquant ainsi un impératif quant à leur évaluation en milieu de travail lorsque leur présence est anticipée. Pour mieux illustrer les propos précédents, on peut revenir sur le cas du HDI dans la pulvérisation de revêtements, où la concentration en monomère dans l'air pourrait être bien inférieure au niveau d'action (seuil d'intervention) choisi alors que la concentration en oligomères pourrait être importante, devenant ainsi la seule indication d'une exposition non négligeable aux isocyanates.

La présence d'isocyanates sous **forme physique - vapeur** dépend de la tension de vapeur du composé chimique, une propriété intrinsèque à sa structure moléculaire. Par exemple, le monomère HDI aura une tension de vapeur supérieure à celle des oligomères de HDI ou du monomère MDI (voir tableau 1.1). Toutefois, la température d'un procédé pourrait rendre non négligeable l'émission de monomère MDI sous forme de vapeur. La présence d'isocyanates sous **forme physique - aérosols** dépend du procédé, à savoir s'il implique une dispersion mécanique (pulvérisation ou giclage), une attrition physique (ponçage) ou une condensation de vapeur (soudage, haute température). Ces modes de formation des aérosols donneront un indice de la grosseur des particules émises, une donnée à connaître puisque l'efficacité de collection d'un échantillonneur peut changer en fonction de leur taille. Les particules formées au cours d'un procédé de dispersion mécanique ou d'attrition physique seront généralement plus grosses (diamètre aérodynamique, $DA > 10 \mu m$) que celles qui sont formées par une condensation de vapeur ($DA < 2 \mu m$). La forme physique anticipée, ou une combinaison des deux, dictera le type de méthode de prélèvement à utiliser. En règle générale, les aérosols de toutes dimensions sont captés sur un filtre alors qu'un barboteur peut capter efficacement les vapeurs et les aérosols, dont le $DA > 2 \mu m$. Un filtre imprégné s'avère efficace dans le cas des vapeurs.

La réactivité des isocyanates est une de leurs caractéristiques intrinsèques, qui est à la fois recherchée (procédé de fabrication) et crainte (effets sur la santé). Il existe une différence entre la **vitesse de réaction** des procédés dans lesquels ils sont impliqués et cette différence aura un effet direct sur le délai alloué entre la captation de l'isocyanate et sa transformation (dérivation) en un composé chimique plus stable pour analyse ultérieure en laboratoire. À titre d'exemple, un procédé de pulvérisation dans lequel l'aérosol se trouve sous forme de gouttelettes contenant les deux composants, c'est-à-dire le produit à base d'isocyanates et le copolymère, pourra réagir tellement rapidement qu'un échantillonneur qui ne stabilise pas l'isocyanate *in situ* causerait une sous-estimation de la concentration. L'échantillonneur ayant l'habileté de stabiliser l'isocyanate *in situ*, qu'il soit sous forme de vapeur ou d'aérosol, est le barboteur. Le filtre imprégné ne pourra pas être très efficace pour les grosses particules réactives puisque la surface de contact des isocyanates avec le réactif sera relativement trop faible.

Il faut toujours garder en tête qu'une fois l'isocyanate totalement polymérisé dans le produit fini (revêtement, mousse isolante, liant, etc.), il est impossible de l'analyser. Le défi de l'évaluation de ces substances réside donc dans la capacité à stabiliser le très réactif groupement chimique isocyanate (NCO) de façon à pouvoir l'analyser en laboratoire. L'intervenant en hygiène du travail devra tenir compte des caractéristiques décrites ci-dessus lorsque viendra le temps de sélectionner la méthode de prélèvement et d'analyse.

3.3.2 Méthodes d'évaluation des isocyanates dans l'air

Prélèvement d'un échantillon de procédé

Dans le cas où l'intervenant en hygiène n'a pas en main toute l'information pour anticiper et identifier le ou les isocyanates présents dans le milieu de travail à évaluer, il peut envoyer un échantillon de procédé (matière première, durcisseur, apprêt, etc.) au laboratoire de l'IRSST pour une analyse qualitative.

Méthode IRSST 376 – Détermination des isocyanates sur cassette double-filtre



PRÉLÈVEMENT : Au moyen d'une pompe, l'air passe au travers d'une cassette de 37 mm (face fermée) équipée de deux filtres. Le premier, en téflon, capte les aérosols et le deuxième, en fibre de verre imprégné du réactif MAMA (9-(N-méthylaminométhyl) anthracène), capte les isocyanates sous forme de vapeur. Une fois le prélèvement terminé, le premier filtre (en téflon) est retiré de la cassette et déposé dans une jarre contenant du MOPIP (1-(2-méthoxyphényl) pipérazine) dans du toluène.

ANALYSE : Les deux filtres sont analysés séparément par chromatographie liquide à haute performance couplée à un détecteur ultraviolet (CLHP-UV). L'analyse du monomère et des oligomères est effectuée.

Mise au point à l'IRSST à la fin des années 1980, cette méthode utilise une cassette de 37 mm à face fermée, qui sert aussi à toutes sortes d'autres techniques de prélèvement depuis des dizaines d'années (figure 3.2). Ce dispositif permet de prélever des vapeurs et des aérosols d'isocyanates aussi bien en zone respiratoire d'un travailleur qu'à un poste fixe. En présence d'aérosols, le temps de prélèvement est limité à 15 minutes (débit d'aspiration à 1 L/min) en raison de l'absence de réactif sur le premier filtre. Un temps de prélèvement plus long est une cause de sous-estimation potentielle des isocyanates sous forme d'aérosols à réactivité rapide.



Si seules des vapeurs d'isocyanates sont anticipées, la durée du prélèvement peut se prolonger jusqu'à huit heures. Le cas échéant, l'analyse du filtre de téflon (isocyanates sous forme d'aérosols) se révélera inutile. Il est donc très important que l'anticipation de la présence d'isocyanates exclusivement sous forme de vapeur soit adéquate si l'on veut éviter une sous-estimation de leur concentration totale.

Chaque prélèvement produit deux résultats : la concentration en monomère et la concentration d'oligomères, toutes deux exprimées en milligrammes par mètre cube (mg/m^3). Le résultat du monomère provient de la somme de la quantité de ces molécules trouvées sur le filtre de téflon (aérosol) et le filtre de fibre de verre (vapeur). La concentration d'oligomères est obtenue par l'analyse du filtre de téflon.



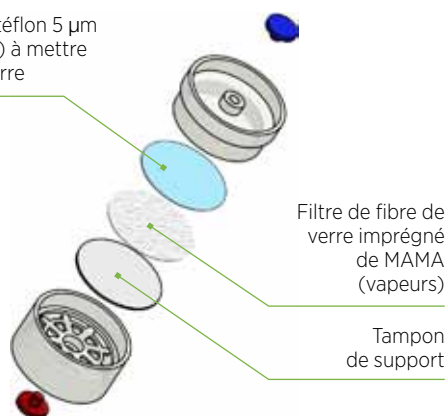
Le résultat des oligomères est calculé en combinant la concentration obtenue pour chacun des oligomères identifiés par le détecteur et quantifiés en référence à la réponse au détecteur du monomère correspondant. La concentration d'oligomères émise est donc exprimée en mg/m^3 équivalent monomère dans les rapports d'analyse.

L'American Society for Testing and Materials ([ASTM International](#), méthodes D5932, D6561 et D6562) et l'Organisation internationale de normalisation ([ISO](#), méthode 17736) publient cette méthode à titre de référence. Les détails techniques et autres données pertinentes à cette méthode sont présentés au tableau 3.2.

FIGURE 3.2

CASSETTE DE PRÉLÈVEMENT POUR LA MÉTHODE IRSST 376 – DOUBLE-FILTRE (ISO-CHEK®)

Filtre de téflon $5\ \mu\text{m}$
(aérosols) à mettre
dans la jarre



Filtre de fibre de
verre imprégné
de MAMA
(vapeurs)

Tampon
de support

Crédit : Christian Sirard, IRSST

Jarre contenant le MOPIP
dans du toluène



Crédit : Dominique Desjardins, IRSST

Méthode IRSST 376 modifiée – Détermination des isocyanates par barboteur



PRÉLÈVEMENT : Au moyen d'une pompe, l'air passe au travers d'un barboteur contenant du MOPIP dans du toluène, qui peut également être muni d'une cassette contenant un filtre en fibre de verre imprégné de MOPIP, située en aval du barboteur.

ANALYSE : Au laboratoire, la solution du barboteur (et le filtre de la cassette, le cas échéant) est analysée par chromatographie liquide à haute performance couplée à un détecteur ultraviolet (CLHP-UV). L'analyse du monomère et des oligomères est effectuée.

Basée sur la [méthode MDHS 25/3](#) du Health and Safety Laboratory (HSL) du Royaume-Uni, qui est aussi une méthode de référence ISO (méthode 16702), elle utilise un barboteur (figure 3.3) contenant le réactif MOPIP dans du toluène pour capter les isocyanates sous forme de vapeur et d'aérosol en poste fixe. En effet, la présence d'un solvant volatil dans un contenant de verre **n'est pas souhaitable pour le prélèvement personnel en zone respiratoire**. Le principal avantage de cette méthode réside dans le fait que la stabilisation des isocyanates captés est très efficace, ce qui est primordial lorsque l'intervenant doit évaluer des isocyanates à réactivité très rapide. Lorsque des particules inférieures à 2 µm sont anticipées, une cassette équipée d'un filtre en fibre de verre imprégné de réactif MOPIP est ajoutée en aval du barboteur puisque le mécanisme de collection de ce dernier n'est pas efficace pour ces particules très fines. Il existe une limite de la durée du prélèvement, qui n'est pas liée à la stabilisation des isocyanates collectés sur le substrat, mais plutôt à l'évaporation du solvant (toluène) du barboteur. L'utilisateur peut toutefois ajouter de la solution au besoin au cours du prélèvement. Afin d'éviter toute sous-estimation potentielle, le filtre de la cassette, s'il est utilisé, est transféré dans une jarre contenant le réactif MOPIP immédiatement après le prélèvement.



Une mise en garde s'applique également à la pompe utilisée pour faire un prélèvement avec un barboteur. Il est très important de la faire valider par l'IRSST puisqu'il a été démontré que le mécanisme de certains modèles de pompes se désagrègeait en présence de vapeur de toluène.

Chaque prélèvement produit deux résultats : la concentration en monomère et la concentration d'oligomères, exprimées en milligrammes par mètre cube (mg/m³). Ces deux concentrations sont obtenues à partir du même extrait provenant de la solution du barboteur.



Le résultat des oligomères est calculé en combinant la concentration obtenue pour chacun de ceux que le détecteur a identifiés et quantifiés en référence à la réponse au détecteur du monomère correspondant. La concentration d'oligomères émise est donc exprimée en mg/m³ équivalent monomère dans les rapports d'analyse. Dans le cas où une cassette a été utilisée, la quantité d'isocyanates mesurée est combinée aux résultats du monomère et des oligomères, selon le cas.

Les détails techniques et autres données pertinentes à cette méthode sont présentés au tableau 3.2.

FIGURE 3.3

TRAIN D'ÉCHANTILLONNAGE POUR LA MÉTHODE IRSST 376 - BARBOTEUR



Méthode IRSST 366 – Détermination des isocyanates à haute sensibilité



PRÉLÈVEMENT : Au moyen d'une pompe, l'air passe au travers d'une cassette de 37 mm (face fermée) équipée de deux filtres de fibre de verre imprégnés du réactif MAMA, qui captent les isocyanates sous forme de vapeur.

ANALYSE : Au laboratoire, chaque filtre est analysé séparément par chromatographie liquide à haute performance couplée à un spectromètre de masse (CLHP-SM).

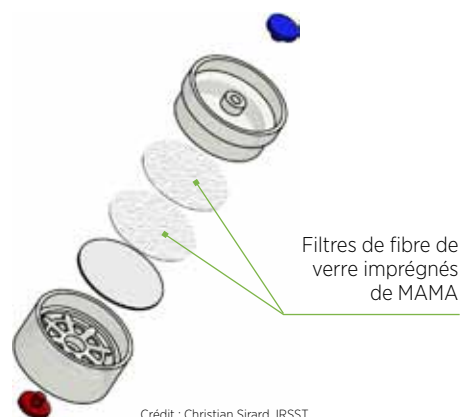


Seule l'analyse du monomère est effectuée.

Cette méthode, qui utilise également une cassette fermée de 37 mm (figure 3.4), a été conçue pour évaluer de très faibles concentrations de monomère d'isocyanates présentes dans l'air sous forme vapeur. Elle peut être positionnée aussi bien dans la zone respiratoire d'un travailleur qu'à un poste fixe et le temps du prélèvement peut durer jusqu'à huit heures. Cette méthode est recommandée pour évaluer un environnement de travail, notamment aux fins de relocaliser un travailleur sensibilisé aux isocyanates, afin de s'assurer que les vapeurs ne se propagent pas dans un endroit où ces substances ne sont pas utilisées (ex. : un espace de bureau). Comme mentionné à la sous-section [Effets sur la santé](#), un travailleur sensibilisé peut potentiellement être affecté gravement s'il est exposé à des concentrations bien au-dessous de la VR, d'où la pertinence d'utiliser une méthode ayant une limite de quantification très basse. Notons qu'en raison de sa très basse limite de quantification, **il n'est pas souhaitable d'utiliser cette méthode** dans un contexte où le poste de travail évalué utilise des isocyanates dont les résultats doivent être comparés à une VR, même si le type d'émission le permettait, c'est-à-dire l'anticipation d'isocyanates sous forme monomère et en phase de vapeur seulement.

FIGURE 3.4

CASSETTE DE PRÉLÈVEMENT POUR LA MÉTHODE IRSST 366 – HAUTE SENSIBILITÉ



Chaque prélèvement produit un résultat, habituellement exprimé en nanogrammes par mètre cube (ng/m³). Les deux filtres analysés séparément permettent d'évaluer s'il y a claquage ou non du premier filtre.

Les détails techniques et autres données pertinentes aux méthodes d'évaluation des isocyanates offertes par l'IRSST sont présentés au tableau 3.2.

TABLEAU 3.2

RÉSUMÉ COMPARATIF DES MÉTHODES D'ÉVALUATION DES ISOCYANATES DANS L'AIR

	IRSST 376 DOUBLE-FILTRE	IRSST 376 BARBOTEUR	IRSST 366 HAUTE SENSIBILITÉ
Isocyanates	HDI, IPDI, TDI et MDI	HDI, IPDI, TDI et MDI	HDI, IPDI, TDI et MDI
Échantillonneur	Cassette de 37 mm, filtre téflon et FV imprégné	Barboteur, cassette de 37 mm (optionnelle)	Cassette de 37 mm, 2 filtres FV imprégnés
Code matériel IRSST	917	1415	970
Durée de vie du matériel	3 mois	3 mois	3 mois
Oligomères	Oui	Oui	Non
Vapeurs	Oui	Oui	Oui
Aérosols	Oui	Oui (si <2 µm, ajouter cassette)	Non
Débit (L/min) Volume max. (L)	1,0 15*	1,0 –	1,0 –
Désorption sur le terrain	Oui	Non (sauf si cassette utilisée)	Non
Conservation de l'échantillon	4 semaines à 4 °C, obscurité	4 semaines à 4 °C, obscurité	4 semaines à 4 °C, obscurité
Instrumentation laboratoire	CLHP-UV	CLHP-UV	CLHP-SM
VMR (µg/prélèvement)	0,014-0,041 (varie selon l'isocyanate)	0,025-0,041 (varie selon l'isocyanate)	0,00075 (varie selon l'isocyanate)

* Selon le contexte, le volume peut être augmenté (temps de prélèvement > 15 min), voir [Méthode IRSST 376 – Détermination des isocyanates sur cassette double-filtre](#).

Expression des résultats d'analyse de la méthode IRSST 376

Sur le rapport d'analyse produit par le laboratoire, on trouve les résultats exprimés en mg/m³ et leur valeur minimum rapportée (VMR), exprimée en µg. Il est à noter que seul le résultat rapporté pour le monomère total (somme des vapeurs et des aérosols d'isocyanates de la forme monomère, lorsque la cassette double-filtre est utilisée) peut être utilisé dans les calculs visant à déterminer la valeur d'exposition qui sera ensuite comparée à la VR concernée. Le résultat rapporté pour les oligomères vient compléter l'évaluation de l'exposition aux isocyanates et permet de tenir compte de l'ensemble de leurs effets sur la santé et de leur mention à l'article 42 du RSST (exposition à réduire au minimum).

3.3.3 Méthodes d'évaluation des isocyanates sur les surfaces



PRÉLÈVEMENT : Une solution de développement est appliquée sur la surface à évaluer. Après 30 secondes, la surface est essuyée avec un tampon contenant un indicateur. Une couleur orange-rouge apparaît après quelques minutes s'il y a présence d'isocyanates.

Ce type de méthode qualitative indique la présence ou l'absence d'isocyanates sur une surface donnée. Il n'est pas nécessaire d'en connaître la quantité ou la concentration puisque leur présence suffit à indiquer que la surface doit être nettoyée pour éliminer le potentiel d'exposition cutanée. La solution de développement et le tampon que l'IRSST fournit à sa clientèle sont un produit commercial vendu sous le nom de SWYPE™ (figure 3.5). Deux types de frottis sont fournis : pour les isocyanates aliphatiques (code matériel IRSST 3050) et pour les isocyanates aromatiques (code matériel IRSST 3060).

FIGURE 3.5

MATÉRIEL POUR PRÉLÈVEMENT DE SURFACE



Photo : Dominique Desjardins, IRSST

Une méthode quantitative, élaborée par OSHA en 2002, est aussi basée sur une approche par frottis. Elle nécessite toutefois une analyse ultérieure en laboratoire pour obtenir une masse d'isocyanates par unité de surface prélevée. L'IRSST n'offre cependant pas cette méthode en raison des limites potentielles liées au résultat. Cette décision est basée sur l'incertitude concernant sa capacité à prélever tous les isocyanates potentiellement adhérents à la surface à évaluer ainsi que, comme mentionné au paragraphe précédent, sur les doutes quant à la nécessité de connaître avec exactitude la quantité d'isocyanates présents sur cette surface.

3.3.4 Méthode d'évaluation des isocyanates dans les produits finis

La détermination d'isocyanates dits « libres » dans les produits finis est un sujet sur lequel les connaissances ont progressé depuis les 10 dernières années. Au moment de rédiger le présent document, aucune méthode de référence recueillant un consensus et pouvant fournir une évaluation reproductible n'a toutefois été mise au point ou reconnue. Tout besoin spécifique quant à l'évaluation d'isocyanates dans des produits finis demeure donc du domaine de la recherche.

3.3.5 Méthode d'évaluation des indicateurs biologiques de l'exposition

Aucune méthode d'évaluation des indicateurs biologiques de l'exposition (IBE) n'est disponible à l'IRSST. Il est toutefois pertinent de mentionner que la littérature scientifique fournit l'information sur les IBE des isocyanates.

On trouve des concentrations de métabolites du MDI, comme le méthylène dianiline (MDA), dans le plasma et l'urine des travailleurs exposés aux produits de la dégradation thermique du polyuréthane à base de MDI. La surveillance biologique comporte plusieurs limites, notamment le temps de demi-vie des métabolites du MDI dans le plasma, qui est de plusieurs semaines. Une telle surveillance biologique représente une mesure de la dose intégrée sur une longue période. Les métabolites du TDI et du HDI, soit le toluène diamine (TDA) et l'hexaméthylène diamine (HDA), peuvent être prélevés à la fin d'un quart de travail, car leur élimination de l'organisme est plus rapide. La surveillance biologique présenterait une voie intéressante pour la confirmation de l'exposition, en particulier pour l'exposition cutanée, car des marqueurs biologiques ne corréleraient pas le niveau d'exposition.

RÉFÉRENCES

- ALLPORT, Dennis C., David S. Gilbert et Susan M. Outterside. « MDI, TDI and the Polyurethane Industry », *In MDI and TDI: Safety, Health and the Environment: A Source Book and Practical Guide*, John Wiley & Sons Ltd, UK, 2003.
- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH®). *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices*, 2012, Cincinnati, OH, USA, 238 p.
- BELLO, Dhimiter, Judy Sparer, Carrie A. Redlich, Karim Ibrahim, Meredith H. Stowe et Youcheng Liu. « Slow Curing of Aliphatic Polyisocyanate Paints in Automotive Refinishing: A Potential Source for Skin Exposure », 2007, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 4, n° 6, p. 406-411.
- BELLO, Dhimiter, 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 », 2007, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 115, n° 3, p. 328-335, {En ligne} <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1849909/pdf/ehp0115-000328.pdf> (mars 2013).
- BONAUTO, David K., Austin D. Summer, Christy C. Curwick, Stephen G. Whittaker et Don J. Lofgren. « Work-Related Asthma in the Spray-On Truck Bed Lining Industry », 2005, *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 47, n° 5, p. 514-517, {En ligne} <http://www.cdc.gov/niosh/nas/rdrp/appendices/chapter4/a4-15.pdf> (mars 2013).
- BOUTIN, Michel, Claude Ostiguy, André Dufresne, Martine Charrette et Jacques Lesage. « Détermination de la concentration d'isocyanates aéroportés pendant la dégradation thermique de peinture automobile dans des ateliers de réparation de carrosserie », 2006, Études et recherches IRSST R-456, 26 pages, {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/publication-irsst-determination-de-la-concentration-d-isocyanates-aeroportes-pendant-la-degradation-thermique-de-peinture-automobile-dans-des-ateliers-de-reparation-r-456.html> (mars 2013).
- BOUTIN, Michel, André Dufresne, Claude Ostiguy et Jacques Lesage. « Determination of Airborne Isocyanates Generated during the Thermal Degradation of Car Paint in Body Repair Shops », 2006, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 50, n° 4, p. 385-393, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/50/4/385.full.pdf+html> (mars 2013).
- BOUTIN, Michel, Jacques Lesage, Claude Ostiguy et Michel J. Brabant. « Identification et quantification des isocyanates générés lors de la dégradation thermique d'une peinture automobile à base de polyuréthane », 2005, Études et recherches IRSST R-418, 55 pages, {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/pubirsst/r-418.pdf> (mars 2013).
- BOUTIN, Michel, Jacques Lesage, Claude Ostiguy et Jorgen Pauluhn. « Validation of a Solvent-free Sampler for the Determination of Low Molecular Weight Aliphatic Isocyanates under Thermal Degradation Conditions », 2005, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 2, n° 9, p. 456-461.
- CARLTON, Gary N. et Ellen C. England. « Exposures to 1,6-Hexamethylene Diisocyanate during Polyurethane Spray Painting in the U.S. Air Force », 2000, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 15 n° 9, p. 705-712.
- CASTILLON, Kim. « Overexposure to Methylene Bisphenyl Isocyanate (MDI) in a Motor Vehicle Parts Manufacturing Facility », 2000, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 15, n° 3, p. 251-252.
- COLDWELL, Matthew et John White. « Airbone Isocyanate from SMART (Small to Medium Area Repair Technique) Spraying-Final Report », 2007, *Health & Safety Laboratory*, HSL/2007/06, 21 p., {En ligne} http://www.hse.gov.uk/research/hsl_pdf/2007/hsl0706.pdf (mars 2013).
- COLDWELL, Matthew et John White. « Measured Airborne Isocyanate from Mixing and Brush and Roller Application of Isocyanate Based 2-pack Paints », 2005, Health and Safety Executive (HSE), *Health and Safety Laboratory*, 13 p., {En ligne} http://www.hse.gov.uk/research/hsl_pdf/2005/hsl0560.pdf (mars 2013).
- COWIE, Hilary A., Graeme W. Hughson, Karen S. Creely, Mairi K. Graham, Peter A. Hutchison et Robert J. Aitken. « An Occupational Hygiene Assessment of the Use and Control of Isocyanates in the UK », 2005, HSE Books, 238 p., {En ligne} <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr311.pdf> (mars 2013).
- CREELY, K.S., G.W. Hughson, J. Cocker et K. Jones. « Assessing Isocyanate Exposures in Polyurethane Industry Sectors Using Biological and Air Monitoring Methods », 2006, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 50, n° 6, p. 609-621, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/50/6/609.full.pdf+html> (mars 2013).
- CRESPO, J. et J. Galan. « Exposure to MDI during the Process of Insulating Buildings with Sprayed Polyurethane Foam », 1999, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 43, n° 6, p. 415-419, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/43/6/415.long> (mars 2013).
- CUMMINGS, Barbara J. et Karroll S. Booth. « Industrial Hygiene Sampling for Airborne TDI in Six Flexible Slabstock Foam Manufacturing Facilities in the United States: A Comparison of the Short-Term and Long-Term Sampling Data », 2002, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 12, n° 17, p. 863-871.
- DeNOLA, G., J. Kibby, P.J. Hanhela, T.-H. Gan et W. Mazurek. « Occupational Exposure to Airborne Isocyanates during Brush/Roller Application of 2-Pack Polyurethane Paints in a Tropical Climate », 2010, *Journal of Coatings Technology and Research*, Vol. 7, n° 10, p. 201-201.
- DROLET, Daniel et Guylaine Beauchamp. « Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail (8^e édition, version 8.1, mise à jour) », 2012, Études et recherches/Guide technique T-06, IRSST, 150 pages. {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/T-06.pdf> (mars 2013).
- FAIRFAX, Richard et Edwin Porter. « Evaluation of Worker Exposure to TDI, MOCA, and Methylene Chloride », 2006, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 3, n° 6, p. D50-D53.

RÉFÉRENCES

- FENT, Kenneth W. et Chad H. Dowell. « Evaluation of Isocyanate Exposure during Polyurethane Foam Application and Silica Exposure during Rock Dusting at an Underground Coal Mine », 2010, *Health Hazard Evaluation Report HETA 2009-0085-3107 NIOSH*, 19 p., {En ligne} <http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2009-0085-3107.pdf> (mars 2013).
- FENT, Kenneth W., Linda G. Trelles Gaines, Jennifer M. Thomasen, Sheila L. Flack, Kai Ding, Amy H. Herring, Stephen G. Whittaker et Leena A. Nylander-French. « Quantification and Statistical Modeling--Part I: Breathing-Zone Concentrations of Monomeric and Polymeric 1,6-Hexamethylene Diisocyanate », 2009, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 53, n° 7, p. 677-689, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/53/7/677.full.pdf+html> (mars 2013).
- FENT, Kenneth W., Linda G. Trelles Gaines, Jennifer M. Thomasen, Sheila L. Flack, Kai Ding, Amy H. Herring, Stephen G. Whittaker et Leena A. Nylander-French. « Quantification and Statistical Modeling--Part II: Dermal Concentrations of Monomeric and Polymeric 1,6-Hexamethylene Diisocyanate », 2009, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 53, n° 7, p. 691-702, {En ligne} <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2758669/?tool=pubmed> (mars 2013).
- HEALTH AND SAFETY LABORATORY (HSL). « MDHS 25/3, Organic isocyanates in air », *Methods for the Determination of Hazardous Substances Health and Safety Laboratory*, 1999, {En ligne} <http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/pdfs/mdhs25-3.pdf> (mars 2013).
- HENRIKS-ECKERMAN, Maj-Len, Jarmo Välimaa, Christina Rosenberg, Kimmo Peltonen et Kerstin Engström. « Exposure to Airborne Isocyanates and Other Thermal Degradation Products at Polyurethane-Processing Workplaces », 2002, *Journal of Environmental Monitoring*, Vol. 4, n° 5, p. 717-721.
- JARAND, Curtis W., Samuel O. Akapo, Lonie J. Swenson et Bruce J. Kelman. « Diisocyanate Emission from a Paint Product: A Preliminary Analysis », 2002, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 17, n° 7, p. 491-494.
- KÄÄRIÄ, Katja, Ari Hirvonen, Hannu Norppa, Päivi Piirilä et Christian Rosenberg. « Exposure to 2,4 and 2,6-Toluene Diisocyanate (TDI) during Production of Flexible Foam: Determination of Airborne TDI and Urinary 2,4 and 2,6 Toluenediamine (TDA) », 2001, *The Analyst*, Vol. 126, n° 7, p. 1025-1031, {En ligne} [http://lib3.dss.go.th/fulltext/Journal/analyst/analyst2001/no.7/\(7\)2001vol126\(1025-1031\).pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/Journal/analyst/analyst2001/no.7/(7)2001vol126(1025-1031).pdf) (mars 2013).
- KAKOOEI, Hossein, Seyed Jamaledin Shahtaheri et Hossein-Ali Karbasi. « Evaluation of workers' exposure to methylene diphenyl diisocyanate (MDI) in an automobile manufacturing company, Iran », 2006, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Vol. 12, n° 4, p. 443-449, {En ligne} <http://www.ciop.pl/19594> (mars 2013).
- KARLSSON, Daniel, Jakob Dahlin, Gunnar Skarping et Marianne Dalene. « Determination of isocyanates, aminoisocyanates and amines in air formed during the thermal degradation of polyurethane », 2002, *Journal of Environmental Monitoring*, Vol. 4, n° 2, p. 216-222.
- KAROLY, William, John J. Flatley, Ralph D. Stevenson et John D. Bowers. « Airborne Concentrations of Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI) in North American Wood Mills during the Manufacturing of Oriented Strand Board (OSB) », 2004, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 1, n° 12, p. 789-798.
- KRONE C.A., J.T.A. Ely, T. Klingner et R.J. Rando. « Isocyanates in Flexible Polyurethane Foams », 2003, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 70, p. 328-335, {En ligne} http://ftp.cdc.gov/pub/Documents/OEL/06.%20Dotson/References/Krone_2003.pdf (mars 2013).
- LAZURE, Louis et Martine Charrette. « Les aires de préparation dans les ateliers de carrosserie », 2004, *Travail et santé*, Vol. 20, n° 2, p. 34-37.
- LAZURE, Louis, Hedi Abdellaoui, Jacques Lesage et Martine Charette. « Évaluation du confinement des aires de préparation lors de l'application de peinture », 2003, Études et recherches IRSST R-353, 60 pages, {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/-publication-irsst-evaluation-du-confinement-des-aires-de-preparation-lors-de-l-application-de-peinture-r-353.html> (mars 2013).
- LESAGE, Jacques, Jennifer Stanleya, William J. Karoly et Fran W. Lichtenberg. « Airborne Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI) Concentrations Associated with the Application of Polyurethane Spray Foam in Residential Construction », 2007, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 4, n° 2, p. 145-155.
- LESAGE, Jacques, Nicole Goyer, France Desjardins, Jean-Yves Vincent et Guy Perrault. « Worker's Exposure to Isocyanates », 1992, *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 53, n° 2, p. 146-153.
- LOFGREN, Don J., Terry L. Walley, Phillip M. Peters et Marty L. Weis. « MDI Exposure for Spray-On Truck Bed Lining », 2003, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 18, n° 10, p. 772-779, {En ligne} <http://www.cdc.gov/niosh/nas/rdrp/appendices/chapter4/a4-16.pdf> (mars 2013).
- LOFSTEDT, Hakan, Hakan Westberg, Anders Selden, Cecilia Lundholm et Magnus Svartengren. « Respiratory Symptoms and Lung Function in Foundry Workers Exposed to Low Molecular Weight Isocyanates », 2009, *American Journal of Industrial Medicine*, Vol. 52, n° 6, p. 455-463.
- MAÎTRE, A. « Les isocyanates : application des peintures polyuréthane en réparation automobile », 1998, *Archives des maladies professionnelles et de médecine du travail*, Vol. 59, n° 4, p. 280-282.
- MAZZUCKELLI, Lawrence F., M Methner Mark et Achutan Chandran. « Airborne Hexamethylene Diisocyanate and Particulate Matter Exposures during Fire/Rescue Vehicle Ladder Finishing Operations », 2006, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 3, n° 3, p. D28-D32.

RÉFÉRENCES

- METHNER, M.M., C. Achutan et A. Adebayo. « Health Hazard Evaluation Report: HETA-2004-0349-2970, Kewaunee Fabrications, LLC, Kewaunee, Wisconsin », 2005, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) HETA-2004-0349-2970, 25 p., {En ligne} <http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2004-0349-2970.pdf> (mars 2013).
- NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). « Preventing Asthma and Death from MDI Exposure during Spray-on Truck Bed Liner and Related Applications », 2006, Centers for Disease Control and Prevention, DHHS (NIOSH) n° 2006-149, 35 p., {En ligne} <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2006-149/pdfs/2006-149.pdf> (mars 2013).
- OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. « 1,6-Hexamethylene Diisocyanate », 2002, Method W4002, Sampling & Analytical Methods, {En ligne} <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/validated/w4002/w4002.html> (mars 2013).
- OSTIGUY, Claude, Sébastien Gagné, Jacques Lesage, Tra Huu Van et Yves Cloutier. « Développement d'une méthode d'analyse d'isocyanates à très haute sensibilité », 2005, Études et recherches IRSST R-419, 44 pages, {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/pubirsst/r-419.pdf> (mars 2013).
- OTT Gerald, W. F. Diller et Athena T. Jolly. « Respiratory Effects of Toluene Diisocyanate in the Workplace: A Discussion of Exposure-Response Relationships », 2003, *Critical Reviews in Toxicology*, Vol. 33, n° 1, p. 1-59, {En ligne} <http://informahealthcare.com/doi/pdfplus/10.1080/713611031> (mars 2013).
- PRONK, Anjoeka ; , Erik Tielemans, Gunnar Skarping, Ivana Bobeldijk, Joop Van Hemmen, Dick Heederik et Liesbeth Preller. « Inhalation Exposure to Isocyanates of Car Body Repair Shop Workers and Industrial Spray Painters », 2006, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 50, n° 1, p. 1-14, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/50/1/1.full.pdf> (mars 2013).
- PRONK, Anjoeka, F. Yu, Joop Vlaanderen, Erik Tielemans, Liesbeth Preller, Ivana Bobeldijk, J.A. Deddens, U.Latza, Xaver Baur et Dick Heederik. « Dermal, Inhalation, and Internal Exposure to 1,6-HDI and its Oligomers in Car Body Repair Shop Workers and Industrial Spray Painters », 2006, *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 63, n° 9, p. 624-631, {En ligne} <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2078164/pdf/624.pdf> (mars 2013).
- REEB-WHITAKER, Carolyn, Stephen G. Whittaker, Diana M. Ceballos, Elisa C. Weiland, Sheila L. Frack, Kenneth W. Fent, Jennifer M. Thomasen, Linda G. Trelles Gaines et Leena A. Nylander-French. « Airborne Isocyanate Exposures in the Collision Repair Industry and a Comparison to Occupational Exposure Limits », 2012, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 9, n° 5, p. 329-339.
- ROBERGE, Brigitte, Rodrigue Gravel et Daniel Drolet. « Diisocyanate-4,4' de diphénylméthane (MDI) – Pratiques de sécurité et concentration lors de pulvérisation de mousse polyuréthane », 2009, Études et recherches IRSST R-606, 71 p., {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/-publication-irsst-diisocyanate-4-4-de-diphenylmethane-mdi-pratiques-de-securite-et-concentration-lors-de-pulverisation-de-mousse-polyurethane-r-606.html> (mars 2013).
- SENNBRO, Carl Johan, Margareta Littorin, Hakan Tinnerberg et Bo A.G. Jönsson. « Upper Reference Limits for Biomarkers of Exposure to Aromatic Diisocyanates », 2005, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, Vol. 78, n° 7, p. 541-546.
- SENNBRO, Carl Johan, Christian H. Lindh, Anders Ostin, Hans Welinder, Bo A.G. Jonsson et Hakan Tinnerberg. « A Survey of Airborne Isocyanate Exposure in 13 Swedish Polyurethane Industries », 2004, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 48, n° 5, p. 405-414, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/48/5/405.full.pdf+html> (mars 2013).
- SKARPING, G., M. Dalene, B.G. Svensson, M. Littorin, B. Akesson, H. Welinder et R. Skerfving. « Biomarkers of Exposure, Antibodies, and Respiratory Symptoms in Workers Heating Polyurethane Glue », 1996, *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 53, n° 3, p. 180-187, {En ligne} <http://oem.bmj.com/content/53/3/180.full.pdf+html> (mars 2013).
- TINNERBERG, Hakan et Christian Mattsson. « Usage of Air Monitoring and Biomarkers of Isocyanate Exposure to Assess the Effect of a Control Intervention », 2008, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 52, n° 3, p. 187-194, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/52/3/187.full.pdf+html> (mars 2013).
- ULVESTAD, Bente, Erik Melbostad et Per Fuglerud. « Asthma in Tunnel Workers Exposed to Synthetic Resins », 1999, *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, Vol. 25, n° 4, p. 335-341, {En ligne} http://www.sjweb.fi/show_abstract.php?abstract_id=443 (mars 2013).
- VANGRONSVELD, E., S. Berckmans, K. Verbinnen, C. Van Leeuw et C. Bormans. « Isocyanate and Total Inhalable Particulate Air Measurements in the European Wood Panel Industry », 2010, *International Journal of Environmental Health*, Vol. 213, n° 6, p. 475-488.
- WESTBERG, Hakan, Hakan Lofstedt, Anders Selden, Bengt Lilja et Peter Naystrom. « Exposure to Low Molecular Weight Isocyanates and Formaldehyde in Foundries Using Hot Box Core Binders », 2005, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 49, n° 8, p. 719-725, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/49/8/719.full.pdf+html> (mars 2013).
- WIRTS, Martin et Tunga Salthammer. « Isocyanate Emission from PUR Adhesives: Influence of Temperature, Monomer Content, and Curing Mechanism », 2002, *Environmental Science and Technology*, Vol. 36, n° 8, p. 1827-1832.
- WOSKIE, Susan R., Judy Sparer, R.J. Gore, M. Stowe, Dhimiter Bello, Youcheng Liu, F. Youngs, Carrie A. Redlich, E. Eisen et Mark R. Cullen. « Determinants of Isocyanate Exposures in Auto Body Repair and Refinishing Shops », 2004, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 48, n° 5, p. 393-403, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/48/5/393.full.pdf+html> (mars 2013).

MAÎTRISE DES FACTEURS DE RISQUE



MAÎTRISE DES FACTEURS DE RISQUE

Le risque chimique est identifié (à l'étape de l'[Anticipation](#) et de l'[Identification](#)) et évalué (à l'étape de l'[Évaluation](#)). En ce qui a trait aux isocyanates, la notion d'exposition minimale (notation EM) soutient les moyens de prévention, dont l'aménagement des lieux dès leur conception demeure le meilleur. Regardons néanmoins d'autres moyens de maîtrise afin de réduire l'exposition des travailleurs, quelles que soient les voies d'entrée des substances dans l'organisme.

Le risque de développer de l'asthme est relatif au niveau et à la durée de l'exposition, que la surveillance environnementale (RSST, article 43) sert à quantifier. Ainsi, il est possible de connaître l'exposition à l'agent causal dans le temps tout en s'appuyant sur les valeurs d'exposition admissible (VEA) en vigueur et de mettre en place des moyens de prévention.

La mesure préventive la plus efficace est celle de l'aménagement des lieux dès leur conception, notamment en ce qui concerne la ventilation et les procédés. À cette étape, l'installation des équipements est plus facile et souvent moins coûteuse que lors de réaménagements ultérieurs alors que l'établissement est en production. De plus, mentionnons que la conception de la ventilation doit répondre aux exigences du RSST, notamment à son article 108.

4.1 SUBSTITUTION ET ÉLIMINATION

Substituer d'autres produits aux isocyanates représente *a priori* la solution pour réduire l'exposition. La substitution exige cependant une démarche structurée, qui ne conduit pas nécessairement à une solution applicable en milieu de travail, notamment pour des raisons de performance, de coûts, d'équipements ou de faisabilité technique. Le site Web [Solub](#), qui décrit cette démarche de substitution étape par étape, est disponible sur le site Internet de l'IRSST.

Un changement d'équipements ou de méthodes de travail est également une solution à envisager. À titre d'exemple, mentionnons l'utilisation d'un pinceau ou d'un rouleau, ou encore d'un pistolet à haut volume et à basse pression (HVLP) pour appliquer les revêtements de véhicules, ce dernier permettant un meilleur transfert du revêtement et générant moins d'aérosols.

Si la substitution et l'élimination sont impossibles (ce qui est fréquemment le cas dans des situations impliquant des isocyanates), l'exposition des travailleurs doit être réduite au niveau aussi bas que possible par d'autres moyens, tels que l'isolation et/ou le confinement du procédé.

4.2 VENTILATION

Lorsqu'un procédé génère des contaminants chimiques auxquels un travailleur peut être exposé, il faut ventiler l'aire de travail. La ventilation mécanique, dont le captage à la source, doit capter les substances émises sous toutes leurs formes au cours du procédé. L'écoulement de l'air doit être dirigé des zones propres vers celles qui sont contaminées. Le travailleur doit se situer hors des zones contaminées. L'air contaminé doit être rejeté à l'extérieur, loin des sources d'entrée d'air neuf, afin qu'il ne soit pas remis en circulation dans un autre local de l'établissement, comme le stipule l'article 108 du RSST. Le [RSST](#) mentionne d'autres exigences de cet ordre aux articles 101, 103 et 109. Les taux minimums de changements d'air frais à l'heure dans certaines catégories d'établissements indiqués dans le tableau 4.1 sont extraits de l'annexe III du Règlement.

TABEAU 4.1

TAUX DE CHANGEMENTS D'AIR À L'HEURE POUR CERTAINS ÉTABLISSEMENTS

CLASSIFICATION DES ÉTABLISSEMENTS	TAUX MINIMUM DE CHANGEMENTS D'AIR À L'HEURE
Industrie des peintures et vernis	4
Industrie de matières plastiques et de résines synthétiques	3
Fabrication de placage et de contreplaqués de bois	2
Garage d'entretien	4
Fabrication de produits chimiques industriels	2
Fabrication de textiles synthétiques	2
Fabrication de produits métalliques (fonderies)	4

Une cabine de [pulvérisation](#) est conçue pour empêcher les matières pulvérisées de se propager dans l'atelier et pour réduire l'exposition des travailleurs. Elle devrait être maintenue légèrement dépressurisée, avec un débit d'aspiration supérieur au débit d'alimentation. La ventilation doit fonctionner pendant les heures d'exploitation de l'établissement, comme le stipule l'article 5 du RSST. Une vitesse d'écoulement de 0,5 m/s est suggérée. Des équipements, tels qu'un indicateur visible (manomètre différentiel) ou une alarme sonore, peuvent estimer le débit qualitativement, mais ils ne sont pas des indicateurs fiables du maintien du débit de la ventilation. Dans l'industrie de l'automobile, une [aire d'application à rideaux](#) peut être réservée aux travaux de préparation des véhicules. Cependant, cette installation non étanche doit répondre à des exigences spécifiques afin de maintenir l'efficacité de la ventilation.

La performance des systèmes de ventilation doit être évaluée après leur installation et après toute modification, et ce, selon des [grilles d'évaluation](#). Ces dernières, publiées par la CSST, permettent d'évaluer les risques que comporte l'ensemble des opérations associées à la réparation de carrosseries d'automobiles au cours desquelles des contacts cutanés avec des isocyanates ou leur inhalation sont possibles. De plus, un entretien préventif et des changements de filtres doivent être effectués selon des horaires préétablis ou au besoin.

4.3 MOYENS ADMINISTRATIFS

4.3.1 Hygiène personnelle et propreté des lieux

L'utilisation de produits à base d'isocyanates présente un potentiel d'exposition par voie cutanée et, par conséquent, nécessite des mesures d'hygiène personnelle rigoureuse. Il faut notamment se laver les mains et le visage régulièrement au cours de la journée de travail (avant de manger, de boire ou de fumer), ainsi qu'enlever les survêtements de travail (salopette en Tyvek® et autres matériaux) pour la période des repas. Des dispositifs de douches d'urgence et oculaire doivent être installés dans les ateliers et les autres espaces de travail, en particulier lorsqu'il y a possibilité d'éclaboussures. La propreté du poste de travail permet d'éviter de remettre en suspension les particules que le procédé produit.

La pulvérisation de mousse rigide est souvent effectuée à l'extérieur d'un atelier (*in situ*), sur les chantiers de construction. Les travailleurs affectés à cette tâche sont particulièrement à risque d'être exposés aux isocyanates.

4.3.2 Surveillance médicale

Les mesures de prévention secondaire ont pour objectif de détecter des indicateurs de sensibilisation précoces, soit avant qu'une maladie, telle que l'asthme professionnel (AP), n'apparaisse. Les avantages d'un programme de surveillance médicale sont attribuables aux informations recueillies, mais également associés à la formation des travailleurs et aux mesures environnementales d'hygiène du travail.

4.3.3 Formation et information

Toutes les personnes qui travaillent avec des produits à base d'isocyanates doivent recevoir une formation sur leur utilisation et leur manipulation sécuritaires. Elles doivent comprendre la nature des risques associés à l'exposition à ces substances, ainsi que l'importance du port d'équipements de protection individuels (entre autres, appareils de protection respiratoire [APR], gants et vêtements de travail, bonne hygiène personnelle, pratiques de travail sécuritaires). Cette formation doit comprendre les informations pertinentes du [SIMDUT](#) (Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail) et, éventuellement, du Système général harmonisé (SGH), ainsi que celles qui concernent les équipements de protection respiratoire et leur entretien (voir sous-section [Loi et règlement](#)).

4.3.4 Pratiques et méthodes de travail

Certaines pratiques de travail mettent les travailleurs à risque. Au cours de la pulvérisation en atelier (revêtement) ou à l'extérieur (mousse rigide *in situ*), les travailleurs ne doivent pas se placer dans le nuage des aérosols générés. Lorsque la pulvérisation se fait en dehors d'un atelier, la cabine du camion de l'entreprise constitue fréquemment leur salle de repos, sans qu'ils puissent s'y laver les mains. De plus, l'accès à la zone de pulvérisation, voire au chantier, doit être interdit aux autres travailleurs pendant l'exécution de cette tâche. Une douche oculaire portative devrait être mise à la disposition des personnes qui travaillent à l'extérieur de l'atelier. Enfin, le lavage des vêtements de travail devrait se faire sur les lieux mêmes, à la fin du quart de travail.

Les zones d'utilisation de produits à base d'isocyanates doivent être réservées aux travailleurs informés sur les risques qui leur sont associés et munis d'équipements de protection individuels (vêtements, gants, APR à adduction d'air). Les contenants vides doivent être éliminés des lieux de travail après avoir été décontaminés, selon les règles prescrites par les lois environnementales.

Les procédures de travail décrivent notamment des façons de faire au poste de travail, incluant les changements des filtres de la cabine à peinture ou autres, l'entretien des équipements pour assurer leur efficacité optimale et les spécifications de leur utilisation. La propreté des lieux est un point important, car la contamination des outils et des équipements peut entraîner la contamination de la peau et ainsi causer des dermatites. Rappelons que les isocyanates sont des irritants cutanés.

4.4 ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELS

Lorsque les autres moyens de maîtrise ne peuvent être mis en place à cause, entre autres, d'une impossibilité technique ou d'un délai de livraison, les ÉPI contribuent à réduire l'exposition, mais ils ne remplacent pas l'obligation d'élimination à la source. La pulvérisation de produits à base d'isocyanates nécessite le port d'un APR à adduction d'air. Rappelons qu'aucun APR à cartouche chimique n'est approuvé par le NIOSH 42 CFR, partie 84, selon le *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards* et le *NIOSH Certified Equipment List (CEL)*, notamment à cause de leur seuil olfactif très élevé (ex. : 0,02 ppm pour le TDI). L'[Info isocyanates](#) de la CSST rapporte les APR recommandés par le NIOSH, en fonction de l'exposition :

- 1 Inférieure à 0,005 ppm, la protection respiratoire est portée sur une base volontaire.
- 2 Jusqu'à 0,05 ppm, l'adduction d'air (FPC⁵ = 10 ou plus) et possibilité de protection oculaire s'il y a irritation.
- 3 Jusqu'à 0,125 ppm, l'adduction d'air à débit continu (FPC = 25) et possibilité de protection oculaire s'il y a irritation.
- 4 Jusqu'à 0,25 ppm, appareil autonome avec un masque complet ou adduction d'air avec un masque complet (FPC = 50).
- 5 Jusqu'à 1 ppm, l'adduction d'air à surpression avec un masque complet ou tout autre appareil à pression positive (FPC = 1000).

Les APR doivent être choisis, ajustés, entretenus et inspectés conformément à la réglementation en vigueur et au programme de protection respiratoire de l'établissement. Le NIOSH recommande différents appareils selon les concentrations des isocyanates dans l'air, soit en fonction des concentrations supérieures à la valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP) du RSST et, dans le cas de ceux qui n'ont pas de VR, à toute concentration détectable. Il recommande :

- Tout APR autonome muni d'un masque complet fonctionnant à la demande ou tout autre fonctionnant à surpression (pression positive) ou
- Tout APR à approvisionnement d'air muni d'un masque complet fonctionnant à la demande ou tout autre fonctionnant à surpression (pression positive) accompagné d'un APR autonome auxiliaire fonctionnant à la demande ou de tout autre appareil fonctionnant à surpression (pression positive).

5 FPC : Facteur de protection caractéristique recommandé, notamment par OSHA, pour exprimer un indice de sécurité de la protection qu'offre un APR.

L'employeur doit rédiger un programme de protection respiratoire et le communiquer aux personnes concernées. L'air utilisé doit répondre à la définition d'« air respirable » conforme à la norme CSA Z180.1-00. À titre d'exemple, pour la pulvérisation de produits à base d'isocyanates (revêtements, vernis, mousses rigides, etc.), le port d'un appareil de protection respiratoire (APR) à adduction d'air est suggéré. L'air comprimé respirable de ces APR doit être conforme à la norme *Air comprimé respirable et systèmes connexes*, CAN/CSA-Z180.1-00 (article 48 du RSST). Il doit être analysé au moins aux six mois, sauf dans le cas des systèmes d'alimentation à air ambiant. Ces résultats sont compilés dans un registre qui doit être conservé pendant une période minimale de cinq ans.

Pour certaines tâches, il est possible d'utiliser une [pompe à air ambiant](#). Cette dernière doit être située dans un endroit aéré. L'air prélevé et acheminé au travailleur doit être exempt de contaminants, tels que le monoxyde de carbone (CO) et les solvants, et exempt de toute odeur décelable.

Malgré ces obligations, les cartouches pour produits organiques et un préfiltre à particules protégeraient contre les produits à base d'isocyanates (HDI, IPDI, TDI) utilisés dans les revêtements de véhicules. Le [facteur de protection](#) doit être supérieur à 25. Tout APR doit être d'un type approuvé pour l'usage auquel il est destiné et figurer dans la liste publiée par le NIOSH, intitulée *Certified Equipment List*.

Un respirateur à double cartouche contre les vapeurs organiques fournirait une protection suffisante contre les isocyanates lors du versement des produits, et ce, pour **une période maximale d'une heure**. Il s'agit ici de la **durée totale de toutes les fois où les cartouches sont utilisées**, à la condition qu'elles soient entreposées dans un sac **scellé hermétiquement** entre chacune de ces utilisations. L'horaire du changement des cartouches doit être documenté en fonction des travaux à effectuer.



Le programme de protection respiratoire élaboré par l'employeur doit inclure la documentation relative au facteur de protection des APR recommandé pour les tâches à effectuer dans l'établissement.

Toutes les personnes présentes pendant la pulvérisation de produits à base d'isocyanates doivent porter un APR à adduction d'air. La protection respiratoire devrait être conservée pour procéder à l'inspection visuelle de l'état des travaux dans l'intervalle de 15 minutes suivant la pulvérisation. À titre d'exemple, les revêtements pour véhicules (HDI) comprennent des isocyanates ayant une tension de vapeur supérieure à ceux qui entrent dans la pulvérisation de mousses rigides isolantes (MDI). Ainsi, pour procéder à l'examen visuel d'un revêtement d'automobile, le port d'un APR à adduction d'air est recommandé si cette inspection est faite dans les 15 minutes suivant la pulvérisation.

La sélection d'un protecteur oculaire dépend de la nature du travail à effectuer et du type d'APR utilisé. Afin de protéger les yeux et le visage pendant la pulvérisation de produits, le port d'un masque à pièce faciale complète est recommandé, sinon une lunette de protection étanche. Ces équipements de protection doivent être conformes à la norme [CSA Z94.3.1.09](#).

En plus de protéger les voies respiratoires, les yeux et le visage, il faut éviter tout contact avec la peau d'autres parties du corps. Selon le Répertoire toxicologique ([REPTOX](#)) de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST), la sélection d'un équipement de protection cutanée dépend de la nature du travail à effectuer. Les gants en latex ou en coton n'apportent pas la protection nécessaire contre les isocyanates. Les gants fait de matériaux suivants sont recommandés :

- Butyle
- Viton®
- Multicouche polyéthylène alcool de vinyle et d'éthylène, polyéthylène (PE/EVAL/PE)
- Selon la durée et le type d'activité, les gants de néoprène et de PVC peuvent offrir une efficacité intéressante.

Les vêtements de protection jetables⁶ de type [Tyvek®](#) Saranex ou de polypropylène enduit de polyéthylène (PE) couvrant tout le corps et munis d'un capuchon apportent une protection satisfaisante. D'autres matériaux sont également recommandés, tels que Saranex®23, Chemron Chemrel®, Dupont® Barricade®, Kappler CPF III® et Kappler Responder®.

Les ÉPI jetables doivent être éliminés dans le respect de l'environnement, car ils sont considérés comme des déchets dangereux, étant contaminés par des isocyanates.

4.5 MAÎTRISE DES RISQUES DE DÉFLAGRATION

La maîtrise des risques de déflagration, particulièrement dans les ateliers de carrosserie et de peinture, fait appel à l'élimination des sources d'inflammation (RSST, articles 50 à 52) et au maintien des concentrations de vapeurs inflammables à moins de 25 % de la limite inférieure d'explosivité (LIE) (RSST, article 49). Les systèmes de captation à la source des vapeurs ou des gaz inflammables font également l'objet de spécifications que l'article 53 du RSST décrit sommairement. Enfin, ces systèmes doivent fonctionner pendant les heures d'exploitation de l'établissement, tel que stipulé à l'article 5 du Règlement.

4.6 DÉCONTAMINATION

La décontamination des surfaces de travail permet de prévenir l'exposition cutanée aux isocyanates par contact direct avec des surfaces contaminées. Les études sur le sujet montrent que les isocyanates sont difficiles à neutraliser et à enlever de certaines surfaces. Pour faciliter le nettoyage, on recommande de peindre ces surfaces, les solutions de décontamination étant alors plus efficaces. Lorsqu'on doit utiliser des surfactants, il est préférable de choisir parmi ceux qui sont non ioniques ([Tergitol®](#) 15-S-5 Surfactant d'Union Carbide Corporation), plutôt que les anioniques. De plus, des études ont démontré que l'utilisation de solutions à base d'ammoniaque n'est pas très efficace pour neutraliser les isocyanates. Les meilleurs résultats sont obtenus avec le produit commercial Colormetric Laboratories Isocyanate Decontamination Solution, fabriqué par la compagnie [CLI](#), ou encore, avec une solution maison composée d'un mélange de dégraissant et de monoéthanolamine (MEA) dissous dans de l'eau, dont le Pine-Sol®MEA⁷.

⁶ La liste de ces matériaux n'est pas exhaustive et ne fait pas leur promotion. Elle est fournie uniquement à titre indicatif. Les marques citées ne représentent pas un endossement ni une garantie de performance par l'IRSST.

⁷ L'IRSST n'endosse aucune responsabilité relative aux produits mentionnés dans le guide, ces produits n'étant cités qu'à titre d'exemples.

Lors d'opérations d'entretien du matériel, par exemple des citernes ou des barils, ceux-ci doivent être vidés et lavés de leur contenu avec un produit de nettoyage approprié. Le travailleur ayant été formé pour cette tâche doit porter des ÉPI (APR, gants et survêtement) pour se protéger adéquatement. Les vêtements contaminés (gants, survêtements), les linges utilisés pour l'exécution des travaux et les contenants de résines doivent être éliminés selon les procédures prescrites par les organismes environnementaux.

4.7 ENTREPOSAGE

Il est important que les produits contenant des isocyanates soient entreposés selon les règles suivantes :

- 1 dans un endroit frais, fermé à clé, adéquatement ventilé
- 2 isolés de substances incompatibles, telles que des acides, des alcalis ou des amines
- 3 dans des contenants scellés hermétiquement et ne présentant aucune fuite ni infiltration (inspection visuelle)
- 4 dans des contenants et des emballages étiquetés dont les fiches signalétiques sont disponibles.

L'accès à l'aire d'entreposage doit être limité aux personnes autorisées ayant reçu une formation en matière de procédures de sécurité pour manipuler ces types de produits.

Les barils et tout autre récipient contenant des isocyanates ne doivent pas être chauffés. Si le produit s'y est cristallisé en raison de la basse température ambiante dans l'entrepôt, il faut déplacer le contenant dans une pièce plus chaude et ventilée. Les vapeurs d'isocyanates, qui se forment lors de l'acclimatation à cette nouvelle température ambiante, doivent être extraites du baril au moyen d'une trappe, si nécessaire.

Il faut suivre les procédures établies pour les activités normales, les urgences et l'entretien. Les opérations de mélange, de pesage, de chargement et de déchargement et autres doivent être effectuées en utilisant une ventilation locale ou dans un endroit bien ventilé, en pression négative.

Il est essentiel de maintenir l'environnement de travail propre et rangé ainsi que d'inspecter les équipements pour s'assurer de leur intégrité. L'entreposage doit être conforme aux spécifications du fabricant, indiquées dans la fiche signalétique du produit. Enfin, rappelons que le service des incendies doit être avisé de la présence de produits contenant des isocyanates et de la quantité entreposée.

4.8 DÉVERSEMENT

La quantité de produit déversée et les conditions environnementales de l'endroit où le déversement est survenu déterminent le niveau de risque. À titre d'exemple, une petite quantité de MDI tiède déversée dans un espace clos présente un risque plus élevé qu'une plus importante quantité du même produit froid versé dans un espace ouvert. Pour contenir le déversement, on peut utiliser du sable sec ou de la sciure de bois sèche pendant moins de 30 minutes avant de décontaminer adéquatement. Dans une situation extrême (*worst case*), par exemple lors de la décontamination d'un site de déversement, il est souhaitable de choisir la protection maximale (APR à adduction d'air, gants et survêtement en matériaux appropriés). Pour une entrée (planifiée ou d'urgence) dans une zone où la concentration est inconnue ou en situation de danger immédiat pour la vie ou la santé (DIVS), le REPTOX recommande tout appareil de protection respiratoire autonome muni d'un masque complet fonctionnant à la demande ou tout autre fonctionnant à surpression (pression positive) ou encore, tout appareil de protection respiratoire à approvisionnement d'air muni d'un

masque complet fonctionnant à la demande ou tout autre fonctionnant à surpression (pression positive) accompagné d'un appareil de protection respiratoire autonome auxiliaire fonctionnant à la demande ou de tout autre appareil fonctionnant à surpression (pression positive). En cas d'une évacuation d'urgence, il recommande tout appareil de protection respiratoire à épuration d'air muni d'un masque complet (masque à gaz), comportant un boîtier qui filtre les vapeurs organiques, accompagné d'un préfiltre N100 sans présence d'huile, ou d'un préfiltre P100 ou R100 en présence d'huile, fixé au niveau du menton, ou porté à la ceinture ou à un harnais, devant ou derrière l'utilisateur, ou tout appareil de protection respiratoire autonome approprié à la situation.

Les déversements impliquant des isocyanates nécessitent l'action immédiate de personnel compétent, formé pour cette tâche. Toute personne qui n'est pas formée ni responsable d'intervenir en cas d'urgence doit quitter immédiatement les lieux et aviser le personnel compétent. Les fiches signalétiques des produits traitent également de telles situations. Une fois le déversement maîtrisé en imbibant les produits déversés avec une grande quantité de neutralisant (afin qu'ils ne contiennent aucun isocyanate libre), il est nécessaire de nettoyer les équipements. Enfin, l'élimination sécuritaire des déchets et des équipements de protection (gants et survêtement) doit être faite selon les procédures prescrites par les organismes environnementaux.

Le programme de formation doit comprendre les procédures à suivre en cas d'urgence. Si aucune personne compétente n'est présente pour corriger le déversement et la contamination, l'évacuation des lieux est nécessaire et une équipe d'urgence doit y être appelée .

Le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) offre le service d'[URGENCE-ENVIRONNEMENT](#). Une équipe intervient 24 heures par jour, partout sur le territoire, afin que toutes les mesures soient prises pour minimiser les conséquences des situations d'urgence. On peut la joindre en composant sans frais le 1 866 694-5454.

Si le déversement implique un train ou un camion, ou pour obtenir des conseils additionnels, on peut appeler [CANUTEC](#) au 613 996-6666 ou *666 sur un téléphone cellulaire ou encore, [CHEMTREC](#) au 1 800 262-8200.

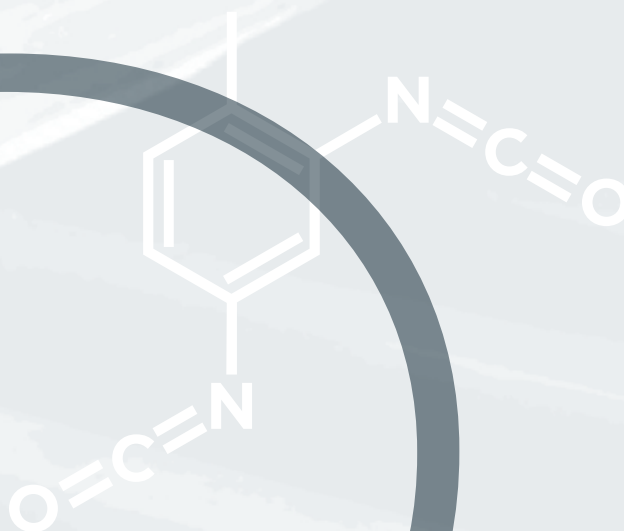
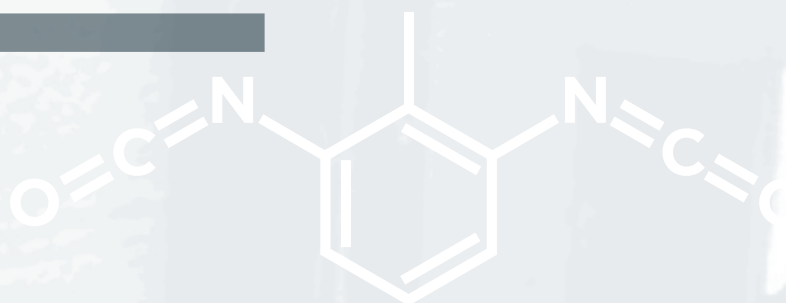
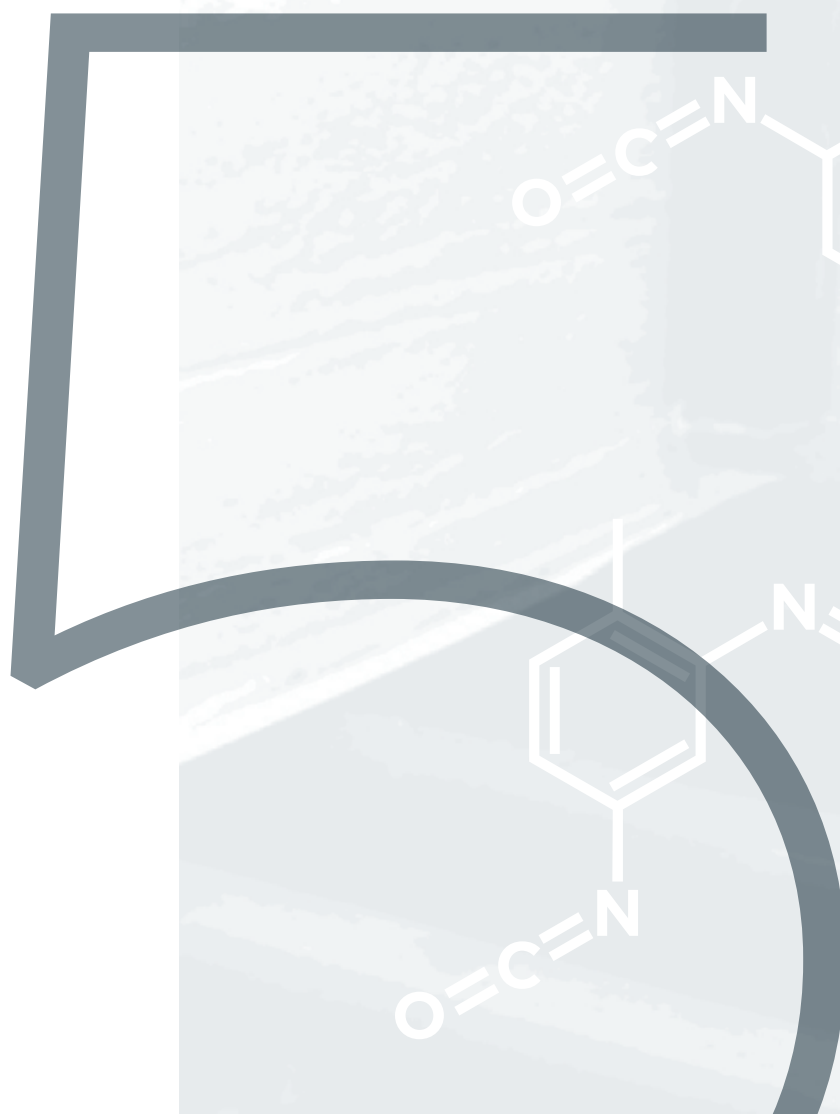
RÉFÉRENCES

- BELLO, Dhimiter, Susan R. Woskie, Robert P. Streicher, Meredith H. Stowe, Judy Sparer, Carrie A. Redlich, Mark R. Cullen et Youcheng Liu. « A Laboratory Investigation of the Effectiveness of Various Skin and Surface Decontaminants for Aliphatic Polyisocyanates », 2005, *Journal of Environmental Monitoring*, Vol. 7, p. 716-721.
- BOLSOVER, J., B. Rajan-Sithamparanadarajah et N. Vaughan. « Workplace Protection of Air-Fed Visors Used in Paint Spraying Operations », 2006, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 50, n° 3, p. 219-229, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/50/3/219.full.pdf> (mars 2013).
- BRUGNOT, C., C. Beauté, H. Hasni-Pichard et F. Lauzier. « Application des résines en espaces confinés dans l'activité BTP – Mise en évidence des expositions et propositions de moyens de prévention », 2001, INRS Cahiers de notes documentaires – Hygiène et sécurité du travail, n° 2152-184-01, 34 p., {En ligne} <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ND%202152> (mars 2013).
- CEBALLOS, Diana M., Michael G. Yost, Stephen G. Whittaker, Carolyn Reeb-Whittaker, Janice Camp et Russell Dills. « Development of a Permeation Panel to Test Dermal Protective Clothing against Sprayed Coatings », 2011, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 55, n° 2, p. 214-227, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/55/2/214.full.pdf+html> (mars 2013).
- CARLTON, Gary N. et Ellen C. England. « Exposures to 1,6-Hexamethylene Diisocyanate during Polyurethane Spray Painting in the U.S. Air Force », 2000, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 15, n° 9, p. 705-712.
- CASTILLON, Kim. « Overexposure to Methylene Bisphenyl Isocyanate (MDI) in a Motor Vehicle Parts Manufacturing Facility », 2000, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 15, n° 3, p. 251-252.
- COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL (CSST). Répertoire toxicologique, {En ligne} <http://www.reptox.csst.qc.ca/> (mars 2013).
- DHARMARAJAN, Venkatram, Barbara Cumming et Robert D. Lingg. « Evaluation of Organic-Vapor Respirator Cartridge Efficiency for Toluene Diisocyanate Vapor in the Presence of Methylenechloride or Acetone Solvent », 2003, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 18, n° 8, p. 620-628.
- DHARMARAJAN, Venkatram, R.D. Lingg et H. Everett Myer. « Evaluation of Organic-Vapor Respirator Cartridge Efficiency for Hexamethylene Diisocyanate Vapor in the Presence of Organic Solvents », 2001, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 16, n° 3, p. 397-404.
- FAIRFAX, Richard et Edwin Porter. « Evaluation of Worker Exposure to TDI, MOCA, and Methylene Chloride », 2006, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 3, n° 6, p. D50-D53.
- FENT, Kenneth W. et Chad H. Dowell. « Evaluation of Isocyanate Exposure during Polyurethane Foam Application and Silica Exposure during Rock Dusting at an Underground Coal Mine », 2010, *Health Hazard Evaluation Report HETA 2009-0085-3107 NIOSH*, 19 p., {En ligne} <http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2009-0085-3107.pdf> (mars 2013).
- FENT, Kenneth W., Linda G. Trelles Gaines, Jennifer M. Thomasen, Sheila L. Flack, Kai Ding, Amy H. Herring, Stephen G. Whittaker et Leena A. Nylander-French. « Quantification and Statistical Modeling—Part I: Breathing-Zone Concentrations of Monomeric and Polymeric 1,6-Hexamethylene Diisocyanate », 2009, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 53, n° 7, p. 677-689, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/53/7/677.full.pdf+html> (mars 2013).
- GANNON, Paul F.G., A.S. Berg, R. Gayosso, B. Henderson, S.E. Sax et H.M.J. Willems. « Occupational Asthma Prevention and Management in Industry - An Example of a Global Programme », 2005, *Occupational Medicine*, Vol. 55, n° 8, p. 600-605, {En ligne} <http://occmed.oxfordjournals.org/content/55/8/600.full.pdf> (mars 2013).
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. Règlement sur la santé et la sécurité du travail, Éditeur officiel du Québec, 2012 (S-2.1, r13), {En ligne} http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/S_2_1/S2_IR13.HTM (mars 2013).
- GUSTAVSSON, Marcus, Elinor Meiby, Daniel Gylestam, Jakob Dahlin, Marten Spanne, Daniel Karlsson, Marianne Dalene, Gunnar Skarping, Bjorn Oscar Tveteras et Age Engen Pedersen. « Adsorption Efficiency of Respirator Filter Cartridges for Isocyanates », 2010, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 54, n° 4, p. 377-390, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/54/4/377.full.pdf+html> (mars 2013).
- HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE (HSE). « Isocyanates: Health Hazards and Precautionary Measures », 1999, Guidance Note EH16, 12 p.
- LABRECQUE, Manon, Jean-Luc Malo, Khadija M. Alaoui et Khalil Rabhi. « Medical Surveillance Programme for Diisocyanate Exposure », 2011, *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 68, n° 4, p. 302-307, {En ligne} <http://oem.bmj.com/content/68/4/302.full.pdf+html> (mars 2013).
- LAZURE, Louis et Martine Charrette. « Les aires de préparation dans les ateliers de carrosserie », 2004, *Travail et santé*, Vol. 20, n° 2, p. 34-37.
- LAZURE, Louis, Hedi Abdellaoui, Jacques Lesage et Martine Charette. « Évaluation du confinement des aires de préparation lors de l'application de peinture », 2003, Études et recherches IRSST R-353, 60 pages, {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/-publication-irsst-evaluation-du-confinement-des-aires-de-preparation-lors-de-l-application-de-peinture-r-353.html> (mars 2013).

RÉFÉRENCES

- LESAGE, Jacques, Nicole Goyer, France Desjardins, J.Y. Vincent et Guy Perrault. « Worker's Exposure to Isocyanates », 1992, *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 53, n° 2, p. 146-153.
- LESAGE, Jacques, J. Stanley, W.J. Karoly et F.W. Lichtenberg. « Airborne Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI) Concentrations Associated with the Application of Polyurethane Spray Foam in Residential Construction », 2007, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 4, n° 2, p. 145-155.
- LIU, Youcheng, Mederith H. Stowe, Dhimiter Bello, Susan R. Woskie, Judy Sparer, Rebecca Gore, Fred Young, Mark R. Cullen et Carrie A. Redlich. « Respiratory Protection from Isocyanate Exposure in the Autobody Repair and Refinishing Industry », 2006, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 3, n° 5, p. 234-249.
- MACKIE, James. « Effective Health Surveillance for Occupational Asthma in Motor Vehicle Repair », 2008, *Occupational Medicine*, Vol. 58, n° 8, p. 551-555, {En ligne} <http://occmed.oxfordjournals.org/content/58/8/551.full.pdf+html> (mars 2013).
- MAZZUCKELLI, Lawrence F., M Methner Mark et Achutan Chandran. « Airborne Hexamethylene Diisocyanate and Particulate Matter Exposures during Fire/Rescue Vehicle Ladder Finishing Operations », 2006, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 3, n° 3, p. D28-D32.
- RESSOURCES HUMAINES ET DÉVELOPPEMENT SOCIAL CANADA (RHDSC). « Guide des mesures de contrôle. Mesures de contrôle visant à réduire l'exposition des employés aux isocyanates lors des opérations de peinture au pistolet », 2007, RHDSC LT-181-07-07, 14 pages, {En ligne} http://www.rhdcc.gc.ca/fra/travail/publications/sante_securite/pdf/gmc.pdf (mars 2013).
- ROBERGE, Brigitte et Bernard Teasdale. « La pulvérisation de mousse de polyuréthane – Guide de bonnes pratiques », 2009, Guide RG-623, IRSST, ASP Construction, 34 pages, {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/-publication-irsst-la-pulverisation-de-mousse-de-polyurethane-guide-de-bonnes-pratiques-rg-623.html> (mars 2013).
- ROBERGE, Brigitte, Rodrigue Gravel et Daniel Drolet. « Diisocyanate-4,4' de diphénylméthane (MDI) – Pratiques de sécurité et concentration lors de pulvérisation de mousse polyuréthane », 2009, Études et recherches IRSST R-606, 71 pages, {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/-publication-irsst-diisocyanate-4-4-de-diphenylmethane-mdi-pratiques-de-securite-et-concentration-lors-de-pulverisation-de-mousse-polyurethane-r-606.html> (mars 2013).
- TARLO, Susan M. et Garry M. Liss. « Prevention of Occupational Asthma - Practical Implications for Occupational Physicians », 2005, *Occupational Medicine*, Vol. 55, n° 8, p. 588-594, {En ligne} <http://occmed.oxfordjournals.org/content/55/8/588.full.pdf> (mars 2013).
- TARLO, Susan M., Gary M. Liss et K.S. Yeung. « Changes in Rates and Severity of Compensation Claims for Asthma Due to Diisocyanates: A Possible Effect of Medical Surveillance Measures », 2002, *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 59, n° 1, p. 58-62, {En ligne} <http://oem.bmj.com/content/59/1/58.full.pdf+html> (mars 2013).

EXEMPLES DE LA DÉMARCHE D'HYGIÈNE DU TRAVAIL



EXEMPLES DE LA DÉMARCHE D'HYGIÈNE DU TRAVAIL

La présente section reprend, à titre d'exemples, des situations de travail par procédé en adoptant l'approche préconisée dans ce guide de prévention relatif aux isocyanates. Ainsi, chacun des cas est décrit au regard des informations colligées aux étapes de l'anticipation et de l'identification, de l'évaluation (stratégie de prélèvements et analyse) et de la maîtrise des facteurs de risque.



Rappelons que les fiches signalétiques répondent aux spécifications de la réglementation du pays producteur ; ces spécifications peuvent différer de celles qui sont en vigueur au Québec. Cela pourrait avoir comme conséquence l'omission de mentionner un isocyanate dans la composition d'un produit. La personne qui consulte les fiches signalétiques a tout de même généralement accès à de l'information adéquate quant à la présence et l'importance relative d'isocyanates de formes monomère et/ou oligomères dans un produit chimique donné. Les fiches signalétiques reproduites dans les situations de travail décrites ici peuvent différer de celles des produits que les établissements utilisent. Ces exemples ont, entre autres, un caractère pédagogique.

L'interprétation de la notation relative à la réduction au minimum de l'exposition (EM) (article 42 et annexe I du RSST) fait appel à l'analyse des niveaux de risque. À cet effet, le [tableau 5.1](#) décrit certaines étapes d'une [démarche](#) d'évaluation simplifiée en utilisant comme milieu de travail un atelier de peinture où l'on fait la pulvérisation de revêtements pour véhicules. Cette démarche est inspirée de l'approche de l'[INRS](#).

TABLEAU 5.1

DÉMARCHE SIMPLIFIÉE D'ÉVALUATION DES RISQUES SELON L'INRS

DÉMARCHE SIMPLIFIÉE	EXEMPLE DANS UN MILIEU DE TRAVAIL
1 ANTICIPATION : INVENTAIRE DES AGENTS CHIMIQUES	
Identifier et énumérer les agents chimiques présents ou émis au cours du procédé par la collecte des informations disponibles sur les dangers pour la santé, la sécurité et l'environnement : ■ Étiquette sur le contenant ■ Fiche signalétique ■ REPTOX ■ Etc.	Utilisation de différents produits de revêtement, dont couche de base, peinture, couche de finition, etc., qui contiennent des isocyanates (HDI) et des solvants
2 IDENTIFICATION : ANALYSE DES CONDITIONS D'EXPOSITION	
Préciser les risques et les principaux facteurs d'exposition : ■ Nature des opérations ■ Forme physique des produits ■ Mode d'émission ■ Quantité utilisée ■ Voies d'exposition ■ Niveaux d'exposition (littérature, avis d'expert, mesures quantitatives, etc.) ■ Durée et fréquence d'exposition ■ Efficacité des moyens de prévention ■ Nombre de travailleurs impliqués	■ Pulvérisation avec un pistolet ■ Liquide ■ Aérosolisation et évaporation ■ À évaluer selon la production ■ Inhalation ■ > 170 µg/m³ monomère et > 20 000 µg/m³ oligomères ■ À évaluer (ex. : 5 fois/jour pendant 20 minutes) ■ Inconnue (ventilation, captage...) ■ À évaluer
3 ÉVALUATION DU RISQUE	
Évaluer l'importance des risques	■ Inhalation de substances allergènes (HDI et IPDI) sous forme d'aérosol et de vapeur ■ Contact cutané ■ Dispersion des contaminants dans les zones adjacentes, si la tâche est effectuée dans l'atelier, entre autres ■ Déflagration
4 MAÎTRISE ET PLAN D'ACTION	
Associer les risques identifiés à des mesures de prévention selon les éléments suivants : ■ Efficacité des mesures proposées et capacité de mise en œuvre ■ Réévaluation périodique ■ Évaluation médicale ■ Communication des risques	■ Substitution et isolation du procédé (difficile à réaliser) ■ Efficacité de la captation (Pas évaluée? Insuffisante?) ■ Identification du procédé à l'aide d'une affiche ■ Restriction de l'accès à la zone de pulvérisation aux travailleurs formés et autorisés ■ Méthodes de travail ■ Formation et information sur les risques, le SIMDUT et les ÉPI (RSST, article 47) ■ Port de vêtements appropriés (voir section Équipements de protection individuels) ■ Pulvérisation avec le port d'un APR à adduction d'air ainsi que pendant les 15 minutes suivantes pour effectuer l'inspection visuelle.

5.1

CAS A

PULVÉRISATION DE REVÊTEMENT



Photo : Auto-Prévention

Anticipation et identification

Le milieu de travail concerné est un atelier de carrosserie automobile où les travailleurs utilisent des revêtements à base d'isocyanates (apprêt, couche de finition...). Le procédé principal est la **pulvérisation**, mais les autres tâches, comme la préparation du mélange et le nettoyage de l'équipement une fois l'application du revêtement terminée, sont aussi à considérer.

Ce type de revêtement contient habituellement des isocyanates aliphatiques, c'est-à-dire du HDI et/ou de l'IPDI. Le procédé de pulvérisation génère des aérosols et la tension de vapeur de ces isocyanates permet d'anticiper leur présence sous forme de vapeur également. Il est cependant bien connu que la forme monomère de l'isocyanate se trouve en une très faible concentration dans ce type de produit, comparé à celle des oligomères. Il est tout de suite possible d'anticiper les risques suivants :

Exposition par inhalation et par contact cutané : pathologies cutanées et respiratoires liées aux substances dangereuses présentes dans les peintures (isocyanates, solvants, pigments...).

Risques d'incendie et d'explosion : présence de solvants inflammables dans la peinture et d'aérosols combustibles dans l'atmosphère (création potentielle d'une atmosphère explosive).

La consultation de la fiche signalétique de la peinture utilisée (figure 5.1) permet de constater la présence de HDI monomère et oligomères.

FIGURE 5.1

EXTRAIT DE LA FICHE SIGNALÉTIQUE DU PRODUIT UTILISÉ
POUR LE CAS A

INFORMATIONS SUR LES COMPOSANTS		
NOM CHIMIQUE	NUMÉRO CAS	%
Résine polyisocyanate de type trimère de HDI	28182-81-2	50 - 75
5-méthylhexane-2-one	110-12-3	7 - 25
Acétate de n-butyle	123-86-4	< 15
Solvant naphta aromatique léger (pétrole)	64742-95-6	0,25 - 2,5
Diisocyanate d'hexaméthylène	822-06-0	0,1 - 1

OLIGOMÈRES HDI

MONOMÈRE HDI

Les études de cas et autres publications scientifiques disponibles permettent également d'anticiper les niveaux de concentration observés dans un tel contexte de travail (tableau 5.2). Rappelons qu'au Québec, la VEMP du HDI est de $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (voir tableau 1 à l'[Annexe 1](#)).

TABLEAU 5.2

PLAGES DE CONCENTRATIONS DE HDI LORS DE LA PULVÉRISATION DE PEINTURE OBTENUES AU COURS DE DIFFÉRENTES ÉTUDES

PROCÉDÉ	PLAGE DE CONCENTRATIONS DE HDI* ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	MONOMÈRE	OLIGOMÈRES
Peinture automobile (réparation)	nd - 30	37 - 58 286
Peinture automobile (réparation)	0,003 - 179	0,002 - 26 950
Peinture automobile (pulvérisation)	nd - 112	nd - 5 494 (NCO**)
Peinture automobile	0,4 - 5,4	2,5 - 728,4 (NCO**)
Peinture automobile	0,004 - 3 1	0,04 - 2 949 (NCO**)
Peinture (pulvérisation)	0,7 - 3,8	0,8 - 298

nd : Non décelé.

* Les résultats pour le monomère présentés dans certaines études ont été convertis afin d'uniformiser l'unité de mesure utilisée.

** La mention NCO indique que les résultats sont exprimés en fonctions isocyanates (μg de NCO/ m^3).

Évaluation

L'information décrite précédemment est résumée au tableau 5.3 en fonction de l'approche présentée à la sous-section [Stratégie de prélèvement et analyse](#).

TABLEAU 5.3

CARACTÉRISTIQUES DE L'ISOCYANATE POUR LE CAS A

CARACTÉRISTIQUES	INFORMATIONS RECUEILLIES
Forme chimique	0,1 - 1% monomère HDI
	50 - 75% oligomères HDI
Forme physique	Vapeur (présence de monomère HDI)
	Aérosols (procédé de pulvérisation)
Vitesse de réaction	Lente

On en conclut que le HDI doit être évalué sous sa forme monomère et ses formes oligomères, ces dernières étant toutefois d'importance relative plus élevée et sous forme d'aérosols. Pour ce qui est de la vitesse de réaction, elle est généralement reconnue comme étant lente dans ce type d'application.

La méthode IRSST 376 double-filtre est préconisée pour évaluer l'exposition par inhalation dans une telle situation. La durée de prélèvement maximale fixée à 15 minutes ne générera pas de sous-estimation et pourra généralement couvrir l'ensemble des tâches (préparation, pulvérisation et nettoyage du pistolet) reliées à une application de revêtement.

Maîtrise

Lors de la **pulvérisation**, il est important que l'opérateur soit protégé par divers moyens, tels qu'un rideau d'eau, un socle pivotant, un système de ventilation ou une enceinte ventilée (**cabine à peinture**).

Moyens de prévention généraux :

- Mettre en place des cabines de peinture selon la **dimension de la pièce à peindre**.
- Prendre connaissance de l'étiquetage et de la fiche signalétique du produit, notamment les précautions d'utilisation et d'entreposage.
- Porter des ÉPI pour effectuer des opérations de peinture (gants adaptés, vêtements de travail, APR...).
- Donner aux travailleurs une formation sur la protection respiratoire ainsi que sur les risques présents et sur les moyens de s'en prémunir (nettoyage des pistolets, préparation des mélanges dans un local aménagé doté de ventilation).
- Adapter les installations électriques (éclairage, lieu physique...) aux directives recommandées pour des atmosphères explosives.

5.2

CAS B

APPLICATION DE MOUSSE ISOLANTE DE POLYURÉTHANE



Photo : Pierre Charbonneau

Anticipation et identification

Le milieu de travail est un chantier de construction où des travailleurs appliquent de la mousse isolante à base d'isocyanate sur les parois d'un bâtiment. Le procédé consiste en la pulvérisation de deux composants (1^{er} isocyanates et 2^e copolymère) qui, aussitôt mélangés, réagissent ensemble pour former une mousse de polyuréthane rigide.

Ce type de procédé implique habituellement du MDI et l'application de mousse par pulvérisation génère des aérosols. La tension de vapeur du MDI étant très basse, la forme de vapeur sera sans doute d'importance relative très faible. En plus du MDI, d'autres substances chimiques sont utilisées dans ce procédé. Il est impératif d'en tenir compte même si la démarche actuelle est principalement axée sur l'exposition aux isocyanates. Il est donc possible d'anticiper des risques :

Exposition par inhalation et par contact cutané : pathologies cutanées et respiratoires liées aux substances dangereuses présentes dans les composants (isocyanates, solvants, agents de gonflement, etc.).

Risques d'incendie et d'explosion : présence de solvants inflammables dans les composants et d'aérosols combustibles dans l'atmosphère (création potentielle d'une atmosphère explosive).

La consultation de la fiche signalétique du mélange (figure 5.2) permet de confirmer la présence de MDI monomère et oligomères.

FIGURE 5.2

EXTRAIT DE LA FICHE SIGNALÉTIQUE DU PRODUIT UTILISÉ
POUR LE CAS B

INFORMATIONS SUR LES COMPOSANTS			
NOM CHIMIQUE	NUMÉRO CAS	%	
Diisocyanate de polyméthylène polyphénylène	9016-87-9	45 - 55	OLIGOMÈRES MDI
Diisocyanate-4,4' de diphenylméthane	101-68-8	45 - 55	MONOMÈRE MDI

Les études de cas et autres publications scientifiques disponibles permettent également d'anticiper les niveaux de concentration observés dans un tel contexte de travail (tableau 5.4). Rappelons qu'au Québec, la VEMP du MDI est de 51 µg/m³ (voir tableau 3 à l'[Annexe 1](#)).

TABLEAU 5.4

PLAGES DE CONCENTRATIONS DE **MDI** LORS DE L'APPLICATION DE MOUSSE PAR
PULVÉRISATION OBTENUES AU COURS DE DIFFÉRENTES ÉTUDES

PROCÉDÉ	PLAGE DE CONCENTRATIONS DE MDI (µg/m ³)	
	MONOMÈRE	OLIGOMÈRES
Pulvérisation dans une remorque de camion	4,4 - 1 460	
Pulvérisation d'isolant	1,8 - 591	3,1 - 331
	17 - 400	
	70 - 2 050	10 - 1 200

Évaluation

L'information décrite précédemment est résumée au tableau 5.5 en fonction de l'approche présentée à la sous-section [Stratégie de prélèvement et analyse](#).

TABEAU 5.5

CARACTÉRISTIQUES DE L'ISOCYANATE POUR LE CAS B

CARACTÉRISTIQUES	INFORMATIONS RECUEILLIES
Forme chimique	45 - 55% monomère MDI
	45 - 55% oligomères MDI
Forme physique	Aérosols (pulvérisation)
	Traces de vapeur
Vitesse de réaction	Rapide

On en conclut que le MDI doit être évalué sous ses formes monomère et oligomères. Le procédé de pulvérisation et la faible tension de vapeur du MDI permet de prévoir que l'isocyanate dégagé sera majoritairement sous forme d'aérosols. La réaction chimique ayant lieu à même les aérosols générés (fines gouttelettes composées de l'isocyanate et du copolymère), elle se produit très rapidement. Même avec une durée de prélèvement limitée à 15 minutes, la fraction d'aérosols se verra sous-estimée si l'on utilise une méthode par filtre. Pour collecter le MDI efficacement dans le cas de ce type de procédé, l'utilisation d'une méthode par barboteur (IRSST 376) est préconisée puisqu'elle permet de dissoudre et de dériver *in situ* les aérosols et les vapeurs captés. La granulométrie déjà documentée des particules dans ce type de procédé révèle qu'il n'est pas nécessaire de placer une cassette avec filtre imprégné en aval du barboteur (particules > 2µm).

Maîtrise

Plusieurs dangers et risques sont inhérents à de tels travaux. Ici, nous traitons uniquement du risque chimique relié aux isocyanates. Étant donné que le travailleur se trouve en présence d'aérosols, plusieurs [moyens de prévention](#) doivent être mis en place :

- Porter un APR à adduction d'air.
- Porter des survêtements de travail étanches avec un capuchon en Tyvek® ou en Barricade® et des [gants](#) de nitrile ou en polyéthylène alcool de vinyle et d'éthylène, polyéthylène (PE/EVAL/PE) sous un gant de coton, une pièce faciale complète ou des lunettes de protection (ex. : *goggles*).
- Donner aux travailleurs une formation sur la protection respiratoire et sur les risques relatifs aux isocyanates.
- Faire respecter la zone d'exclusion en apposant une affiche annonçant les travaux et le port obligatoire de protection respiratoire et oculaire.
- N'exécuter aucun travail à chaud à proximité de la zone d'exclusion.
- Retirer le survêtement pour manger et pour le transport, entre autres.
- Interdire la construction d'un abri fermé sur l'équipement de levage (échafaudage, plateforme, etc.).
- Installer une douche oculaire portative dans la cabine du camion.

5.3

CAS C

FABRICATION DE MOUSSE DE
POLYURÉTHANE FLEXIBLE

Photo : AIHA PDC-2000

Anticipation et identification

Le milieu de travail concerné est une usine de production de mousse de polyuréthane flexible utilisée comme rembourrage de meubles. Les deux composants (1^{er} isocyanates et 2^e copolymère) sont pompés de leur réservoir respectif et mélangés en continu dans une buse pour être immédiatement déposés sur une plateforme sur convoyeur où la réaction chimique se produit (formation de la mousse). Le convoyeur est situé dans un tunnel ventilé. Les travailleurs potentiellement exposés ont pour tâches de transporter et de tailler les blocs de mousse finis.

Ce type de procédé utilise un mélange d'isomères du TDI. Le mélange et sa déposition sur la plateforme n'implique aucune dispersion mécanique (pulvérisation). Cependant, la tension de vapeur du TDI et la température du procédé résultent en la diffusion de vapeurs. En plus du TDI, d'autres substances chimiques sont utilisées dans ce procédé. Il est impératif d'en tenir compte même si la démarche actuelle est principalement axée sur l'exposition aux isocyanates. Il est donc possible d'anticiper des risques :

Exposition par inhalation et par contact cutané : pathologies cutanées et respiratoires liées aux substances dangereuses présentes dans les composants (isocyanates, solvants, etc.).

Risques d'incendie et d'explosion : présence de solvants inflammables dans les composants.

La consultation de la fiche signalétique du composant isocyanate utilisé (figure 5.3) permet de confirmer la présence de TDI monomère.

FIGURE 5.3

EXTRAIT DE LA FICHE SIGNALÉTIQUE DU PRODUIT UTILISÉ
POUR LE CAS C

INFORMATIONS SUR LES COMPOSANTS		
NOM CHIMIQUE	NUMÉRO CAS	%
2,4-diisocyanate de toluène	584-84-9	80
2,6-diisocyanate de toluène	91-08-7	20

MONOMÈRES TDI
SEULEMENT

Les études de cas et autres publications scientifiques disponibles permettent également d'anticiper les niveaux de concentration observés dans un tel contexte de travail (tableau 5.6). Rappelons qu'au Québec, la VEMP du TDI est de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (voir tableau 4 à l'[Annexe 1](#)).

TABLEAU 5.6

PLAGES DE CONCENTRATIONS DE TDI (MONOMÈRE) LORS DE LA FABRICATION DE MOUSSE OBTENUES AU COURS DE DIFFÉRENTES ÉTUDES

SUBSTANCE	PROCÉDÉ	PLAGE DE CONCENTRATIONS DE TDI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2,4-TDI 2,6-TDI	Moulage de mousse souple	0,2 - 7,12 0,02 - 10
TDI	Moulage de mousse souple	<0,2 - 230 <0,2 - 41

Évaluation

L'information décrite précédemment est résumée au tableau 5.7 en fonction de l'approche présentée à la sous-section [Stratégie de prélèvement et analyse](#).

TABLEAU 5.7

CARACTÉRISTIQUES DE L'ISOCYANATE POUR LE CAS C

CARACTÉRISTIQUES	INFORMATIONS RECUEILLIES
Forme chimique	100 % monomère TDI
Forme physique	Vapeur
Vitesse de réaction	Rapide

On en conclut que le TDI doit être évalué sous la forme monomère en phase de vapeur. Malgré une réactivité rapide du mélange pour former la mousse polyuréthane, il n'est pas pertinent de la considérer comme une limitation du prélèvement, puisque seul le TDI non réagi, sous forme de vapeur, est émis dans l'air. L'approche préconisée dans ce cas est la méthode IRSST 376 double-filtre. En l'absence d'aérosols, la durée du prélèvement pourra être supérieure à 15 minutes sans que cela n'influence le résultat puisque le filtre imprégné stabilisera l'isocyanate *in situ*. Il est fortement suggéré d'en aviser le laboratoire pour qu'il n'analyse que le filtre imprégné.

Maîtrise

- Mettre en place des systèmes de ventilation locale au poste de travail et/ou encoffrer la machine de fabrication.
- Prendre connaissance de l'étiquetage et de la fiche signalétique, principalement les sections traitant des précautions d'emploi et de stockage.
- Donner aux travailleurs une formation sur la protection respiratoire et sur les risques relatifs aux isocyanates.
- En cas de ventilation insuffisante, porter un APR approprié et éviter tout contact avec la peau et les yeux.

5.4

CAS D

APPLICATION DE COLLE
POLYURÉTHANE

Photo : Auto-Prévention

Anticipation et identification

Une des tâches effectuées dans un atelier de réparation automobile consiste à installer des pare-brises avec une colle polyuréthane. La colle est appliquée à l'aide d'un pistolet. Les isocyanates potentiellement présents sont le TDI ou le MDI, selon le liant utilisé. En l'absence de dispersion mécanique, aucun aérosol n'est généré. Cependant, des vapeurs de TDI pourraient être émises dans l'air en raison de la grande volatilité de cette substance. Des vapeurs de MDI pourraient être émises dans le cas où la température d'application serait élevée et celles-ci pourraient également se recondenser en aérosols très fins. À température ambiante, peu de vapeurs de MDI sont émises.

Il est donc possible d'anticiper des risques :

Exposition par inhalation et par contact cutané : pathologies cutanées et respiratoires liées aux substances dangereuses présentes dans les composants (isocyanates, solvants...).

La consultation de la fiche signalétique de la colle utilisée (figure 5.4) permet de confirmer la présence de MDI monomère et oligomères.

FIGURE 5.4

EXTRAIT DE LA FICHE SIGNALÉTIQUE DU PRODUIT UTILISÉ
POUR LE CAS D

INFORMATIONS SUR LES COMPOSANTS		
NOM CHIMIQUE	NUMÉRO CAS	%
Polymère d'acide adipique, de diisocyanate de diphenylméthane et de 1,6-hexanediol	31075 - 20-4	> 97
Diisocyanate-4,4' de diphenylméthane	101 - 68-8	< 3

OLIGOMÈRES MDI

MONOMÈRE MDI

Les études de cas et d'autres publications scientifiques disponibles permettent également d'anticiper les niveaux de concentration observés lors du collage de pièces d'automobiles (tableau 5.8). Notons que la colle utilisée pour cette tâche n'est pas chauffée. Rappelons qu'au Québec, la VEMP du MDI est de $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (voir tableau 3 à l'Annexe 1).

TABLEAU 5.8

PLAGES DE CONCENTRATIONS DE MDI (MONOMÈRE) UTILISÉ COMME LIANT OBTENUES AU COURS DE DIFFÉRENTES ÉTUDES

PROCÉDÉ	PLAGE DE CONCENTRATIONS DE MDI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Collage de pièces d'automobiles	< 0,2 - 6
Installation de fenêtres d'automobiles	13 - 47,3
	12,6 - 40

Évaluation

L'information décrite précédemment est résumée au tableau 5.9 en fonction de l'approche présentée à la sous-section [Stratégie de prélèvement et analyse](#).

TABLEAU 5.9

CARACTÉRISTIQUES DE L'ISOCYANATE POUR LE CAS D

CARACTÉRISTIQUES	INFORMATIONS RECUEILLIES
Forme chimique	Monomère MDI < 3 %
	Oligomère MDI > 97 %
Forme physique	Vapeur
Vitesse de réaction	Lente

On conclut que seules les vapeurs de monomère de MDI doivent être évaluées. Bien que les oligomères de MDI soient majoritairement présents dans la colle, le procédé tel que mis en œuvre ne permet pas leur aérosolisation. L'approche préconisée dans ce cas est la méthode IRSST 376 double-filtre et la durée du prélèvement peut dépasser 15 minutes.

Maîtrise

- Prendre connaissance de l'étiquetage et de la fiche signalétique, principalement les sections traitant des précautions d'emploi et de stockage.
- Donner aux travailleurs une formation sur la protection respiratoire et sur les risques relatifs aux isocyanates.
- Éviter tout contact avec la peau et les yeux.
- Porter un équipement de protection de la peau : gants en nitrile ou en néoprène.

5.5

CAS E

DÉGRADATION THERMIQUE



Photo : AIHA PDC-2000



Anticipation et identification

Des travailleurs d'un atelier de débosselage effectuent diverses tâches sur la carrosserie de voitures endommagées : coupage, meulage et soudage. La peinture automobile est à base d'isocyanates aliphatiques (HDI et/ou IPDI).

Ce type de travail provoque une forte augmentation de la température du produit fini à base d'isocyanates (polyuréthane). Ces derniers pourront alors se dégrader et former toute une série de monomères utilisés dans la composition initiale de la peinture (HDI

et IPDI), mais d'autres aussi, comme les MIC, EtIC, PIC, nBIC. Il est également possible de trouver du TDI ou du MDI provenant d'une couche d'apprêt située sous les autres couches de peinture à base de HDI et/ou IPDI. Selon la dispersion mécanique mise en cause et la température atteinte, l'émission de vapeur et de particules contenant des isocyanates doit être considérée. Il est donc possible d'anticiper des risques :

Exposition par inhalation et par contact cutané : pathologies cutanées et respiratoires liées à la présence des substances dangereuses émises.

Les études de cas et autres publications scientifiques disponibles permettent également d'anticiper les niveaux de concentration observés dans un tel contexte de travail (tableau 5.10).

5

EXEMPLES DE LA DÉMARCHE D'HYGIÈNE DU TRAVAIL

TABEAU 5.10

PLAGES DE CONCENTRATIONS D'ISOCYANATES (MONOMÈRE) LORS DE LA DÉGRADATION THERMIQUE DE POLYURÉTHANE OBTENUES AU COURS DE DIFFÉRENTES ÉTUDES

SUBSTANCE	PROCÉDÉ	PLAGE DE CONCENTRATIONS D'ISOCYANATES (µg/m³)
HDI MIC EtIC 2,4-TDI MDI	Coupage de carrosserie d'automobile : école de formation	nd - 1,86 0,6 - 2,83 nd - 0,12 nd - 0,81 0,46 - 4,2
IPDI HDI MIC EtIC 2,4-TDI MDI	Atelier de carrosserie	1,36 0,27 1,09 nd 0,44 2,13
HDI MIC 2,4-TDI MDI	Meulage de carrosserie : école de formation	nd - 0,1 0,17 - 0,3 nd - 0,38 0,46 - 1,47
MIC 2,4-TDI MDI	Atelier de carrosserie	0,28 0,3 3,04
Diisocyanates et triisocyanates	Atelier de carrosserie : ■ Meulage ■ Soudage	1,7* (1,1) 16* (0,3)
	Atelier d'usinage : ■ Fraisage et tournage	19* (18)

nd : Non décelé.

* : Concentration maximale.

Évaluation

L'information décrite précédemment est résumée au tableau 5.11 en fonction de l'approche présentée à la sous-section [Stratégie de prélèvement et analyse](#).

TABEAU 5.11

CARACTÉRISTIQUES DE L'ISOCYANATE POUR LE CAS E

CARACTÉRISTIQUES	INFORMATIONS RECUEILLIES
Forme chimique	Monomère de plusieurs isocyanates
Forme physique	Vapeur et aérosol
Vitesse de réaction	Lente

La documentation des caractéristiques des isocyanates émis dans le contexte d'une dégradation thermique est beaucoup plus complexe que dans celui d'un procédé industriel connu et dont l'exposition est relativement bien documentée. En effet, le travailleur ou l'intervenant en hygiène ne connaît pas nécessairement bien le matériau dégradé, et le tableau 5.10 démontre le large éventail d'isocyanates potentiellement présents. De plus, déterminer la concentration d'une telle diversité d'isocyanates est une tâche complexe. Une approche semi-quantitative est conseillée dans ce type de situation, avec l'utilisation de la méthode IRSST 366 à haute sensibilité. Celle-ci permet de quantifier simultanément le monomère sous forme vapeur des isocyanates les plus communs : HDI, IPDI, TDI et MDI. Le résultat ainsi obtenu peut ensuite être utilisé comme un indicateur semi-quantitatif de la présence d'isocyanates.

Maîtrise

Les résultats d'études présentées au tableau 5.10 permettent de prévoir une exposition relativement faible aux isocyanates. Néanmoins, l'objectif demeure une exposition minimale. Lorsque des mesures d'ingénierie et la modification des méthodes de travail ne suffisent pas à réduire l'exposition, le port d'ÉPI peut s'avérer nécessaire. Ces équipements de protection doivent être conformes à la réglementation ([REPTOX](#)).

- Utiliser des couteaux, lames et autres outils coupants bien affûtés pour effectuer le coupage, le meulage, le broyage et la découpe de la mousse.
- Aspirer les fumées et les poussières à la source.
- Nettoyer les lieux pour enlever les dépôts de poussières.

5.6

CAS F

RELOCALISATION D'UN TRAVAILLEUR SENSIBILISÉ

Anticipation et identification

Un poste de travail attendant à une salle où des travailleurs appliquent la peinture de pièces d'avions doit être évalué dans le but éventuel d'y relocaliser un travailleur sensibilisé aux isocyanates. Les isocyanates contenus dans la peinture sont le HDI et l'IPDI. La peinture est appliquée par pulvérisation et la ventilation des salles de peinture est adéquate.

Dans ce type de situation, les traces d'isocyanates dans l'air peuvent potentiellement se propager en dehors de l'endroit où ils sont utilisés sous forme de vapeur et, par conséquent, sous forme monomère. Les niveaux de concentration attendus sont bien inférieurs à la VEMP, mais doivent néanmoins être évalués, comme cela est expliqué à la sous-section [Effets sur la santé](#). Il est donc possible d'anticiper des risques :

Exposition par inhalation : provoquer une crise d'asthme chez un travailleur sensibilisé.

Évaluation

L'information décrite précédemment est résumée au tableau 5.12 en fonction de l'approche présentée à la sous-section [Stratégie de prélèvement et analyse](#).

TABEAU 5.12

CARACTÉRISTIQUES DE L'ISOCYANATE POUR LE CAS F

CARACTÉRISTIQUES	INFORMATIONS RECUEILLIES
Forme chimique	HDI et IPDI, monomère
Forme physique	Vapeur
Vitesse de réaction	Lente

Approche préconisée pour le prélèvement et l'analyse

On conclut que les vapeurs de HDI et le IPDI doivent être évaluées sous leur forme monomère. La vitesse de réaction n'est pas un enjeu pour cette évaluation, alors que c'est tout le contraire en ce qui concerne le seuil minimal de quantification de la méthode d'analyse. L'approche préconisée dans un tel contexte est la méthode IRSST 366 à haute sensibilité. Celle-ci est adéquate pour capter et dériver *in situ* les isocyanates présents sous forme de vapeur. La technique de dosage en laboratoire est en mesure de fournir une limite beaucoup plus basse (voir tableau 3.2) qui, couplée à un volume d'échantillonnage pouvant atteindre 480 litres (8 heures à 1 L/min), a la capacité d'obtenir une valeur minimum rapportée presque 800 fois inférieure à celle que l'on obtient avec la méthode IRSST 376 à double-filtre avec un volume de 15 litres.

Maîtrise

La relocalisation est un moyen de maîtrise de l'exposition d'un travailleur sensibilisé. Ce travailleur ne peut travailler dans un environnement où il y a présence d'isocyanates.

RÉFÉRENCES

- BOUTIN, Michel, Claude Ostiguy, André Dufresne, Martine Charrette et Jacques Lesage. « Détermination de la concentration d'isocyanates aéroportés pendant la dégradation thermique de peinture automobile dans des ateliers de réparation de carrosserie », 2006, Études et recherches IRSST R-456, 26 pages, {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/publication-irsst-determination-de-la-concentration-d-isocyanates-aeroportes-pendant-la-degradation-thermique-de-peinture-automobile-dans-des-ateliers-de-reparation-r-456.html> (mars 2013).
- BOUTIN, Michel, André Dufresne, Claude Ostiguy et Jacques Lesage. « Determination of Airborne Isocyanates Generated during the Thermal Degradation of Car Paint in Body Repair Shops », 2006, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 50, n° 4, p. 385-393, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/50/4/385.full.pdf+html> (mars 2013).
- CASTILLON, Kim. « Overexposure to Methylene Bisphenyl Isocyanate (MDI) in a Motor Vehicle Parts Manufacturing Facility », 2000, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 15, n° 3, p. 251-252.
- COLDWELL, Matthew et John White. « Airbone Isocyanate from SMART (Small to Medium Area Repair Technique) Spraying-Final Report », 2007, Health & Safety Laboratory, HSL/2007/06, 21 p., {En ligne} http://www.hse.gov.uk/research/hsl_pdf/2007/hsl0706.pdf (mars 2013).
- CREELY, K.S., G.W. Hughson, J. Cocker et K. Jones. « Assessing Isocyanate Exposures in Polyurethane Industry Sectors Using Biological and Air Monitoring Methods », 2006, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 50, n° 6, p. 609-621, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/50/6/609.full.pdf+html> (mars 2013).
- CRESPO, J. et J. Galan. « Exposure to MDI during the Process of Insulating Buildings with Sprayed Polyurethane Foam », 1999, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 43, n° 6, p. 415-419, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/43/6/415.long> (mars 2013).
- DROLET, Daniel et Guylaine Beauchamp. « Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail (8^e édition, version 8.1, mise à jour) », 2012, Études et recherches/Guide technique T-06, IRSST, 150 pages, {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/T-06.pdf> (mars 2013).
- FENT, Kenneth W., Linda G. Trelles Gaines, Jennifer M. Thomasen, Sheila L. Flack, Kai Ding, Amy H. Herring, Stephen G. Whittaker et Leena A. Nylander-French. « Quantification and Statistical Modeling—Part I: Breathing-Zone Concentrations of Monomeric and Polymeric 1,6-Hexamethylene Diisocyanate », 2009, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 53, n° 7, p. 677-689, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/53/7/677.full.pdf+html> (mars 2013).
- HENRIKS-ECKERMAN, Maj-Len, Jarmo Välimaa, Christina Rosenberg, Kimmo Peltonen et Kerstin Engström. « Exposure to Airborne Isocyanates and Other Thermal Degradation Products at Polyurethane-Processing Workplaces », 2002, *Journal of Environmental Monitoring*, Vol. 4, n° 5, p. 717-721.
- KÄÄRIÄ, Katja, Ari Hirvonen, Hannu Norppa, Päivi Piirilä et Christian Rosenberg. « Exposure to 2,4 and 2,6-Toluene Diisocyanate (TDI) during Production of Flexible Foam: Determination of Airborne TDI and Urinary 2,4 and 2,6 Toluenediamine (TDA) », 2001, *The Analyst*, Vol. 126, n° 7, p. 1025-1031, {En ligne} [http://lib3.dss.go.th/fulltext/Journal/analyst/analyst2001/no.7/\(7\)2001vol126\(1025-1031\).pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/Journal/analyst/analyst2001/no.7/(7)2001vol126(1025-1031).pdf) (mars 2013).
- KAKOOEI, Hossein, Seyed Jamaledin Shahtaheri et Hossein-Ali Karbasi. « Evaluation of Workers' Exposure to Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI) in an Automobile Manufacturing Company », Iran, 2006, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Vol. 12, n° 4, p. 443-449, {En ligne} <http://www.ciop.pl/19594> (mars 2013).
- KAROLY, William, John J. Flatley, Ralph D. Stevenson et John D. Bowers. « Airborne Concentrations of Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI) in North American Wood Mills during the Manufacturing of Oriented Strand Board (OSB) », 2004, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 1, n° 12, p. 789-798.
- LESAGE, Jacques, J. Stanley, W.J. Karoly et F.W. Lichtenberg. « Airborne Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI) Concentrations Associated with the Application of Polyurethane Spray Foam in Residential Construction », 2007, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 4, n° 2, p. 145-155.
- LOFGREN, Don J., Terry L. Walley, Phillip M. Peters et Marty L. Weis. « MDI Exposure for Spray-On Truck Bed Lining », 2003, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 18, n° 10, p. 772-779, {En ligne} <http://www.cdc.gov/niosh/nas/rdrp/appendices/chapter4/a4-16.pdf> (mars 2013).
- METHNER, M.M., C. Achutan et A. Adebayo. « Health Hazard Evaluation Report: HETA-2004-0349-2970, Kewaunee Fabrications, LLC, Kewaunee, Wisconsin », 2005, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) HETA-2004-0349-2970, 25 p., {En ligne} <http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2004-0349-2970.pdf> (mars 2013).
- PRONK, Anjoeka, Erik Tielemans, Gunnar Skarping, Ivana Bobeldijk, Joop Van Hemmen, Dick Heederik et Liesbeth Preller. « Inhalation Exposure to Isocyanates of Car Body Repair Shop Workers and Industrial Spray Painters », 2006, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 50, n° 1, p. 1-14, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/50/1/1.full.pdf> (mars 2013).
- PRONK, Anjoeka, F. Yu, Jop Van Vlaanderen, Erik Tielemans, Liesbeth Preller, Ivana Bobeldijk, J.A. Deddens, U. Latza, Xaver Baur et Dick Heederik. « Dermal, Inhalation, and Internal Exposure to 1,6-HDI and its Oligomers in Car Body Repair Shop Workers and Industrial Spray Painters », 2006, *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 63, n° 9, p. 624-631, {En ligne} <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2078164/pdf/624.pdf> (mars 2013).

RÉFÉRENCES

REEB-WHITAKER, Carolyn, Stephen G. Whittaker, Diana M. Ceballos, Elisa C. Weiland, Sheila L. Frack, Kenneth W. Fent, Jennifer M. Thomasen, Linda G. Trelles Gaines et Leena A. Nylander-French. « Airborne Isocyanate Exposures in the Collision Repair Industry and a Comparison to Occupational Exposure Limits », 2012, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 9, n° 5, p. 329-339.

ROBERGE, Brigitte, Rodrigue Gravel et Daniel Drolet. « Diisocyanate-4,4' de diphénylméthane (MDI) – Pratiques de sécurité et concentration lors de pulvérisation de mousse polyuréthane », 2009, Études et recherches IRSST R-606, 71 pages, {En ligne} <http://www.irsst.qc.ca/-publication-irsst-diisocyanate-4-4-de-diphenylmethane-mdi-pratiques-de-securite-et-concentration-lors-de-pulverisation-de-mousse-polyurethane-r-606.html> (mars 2013).

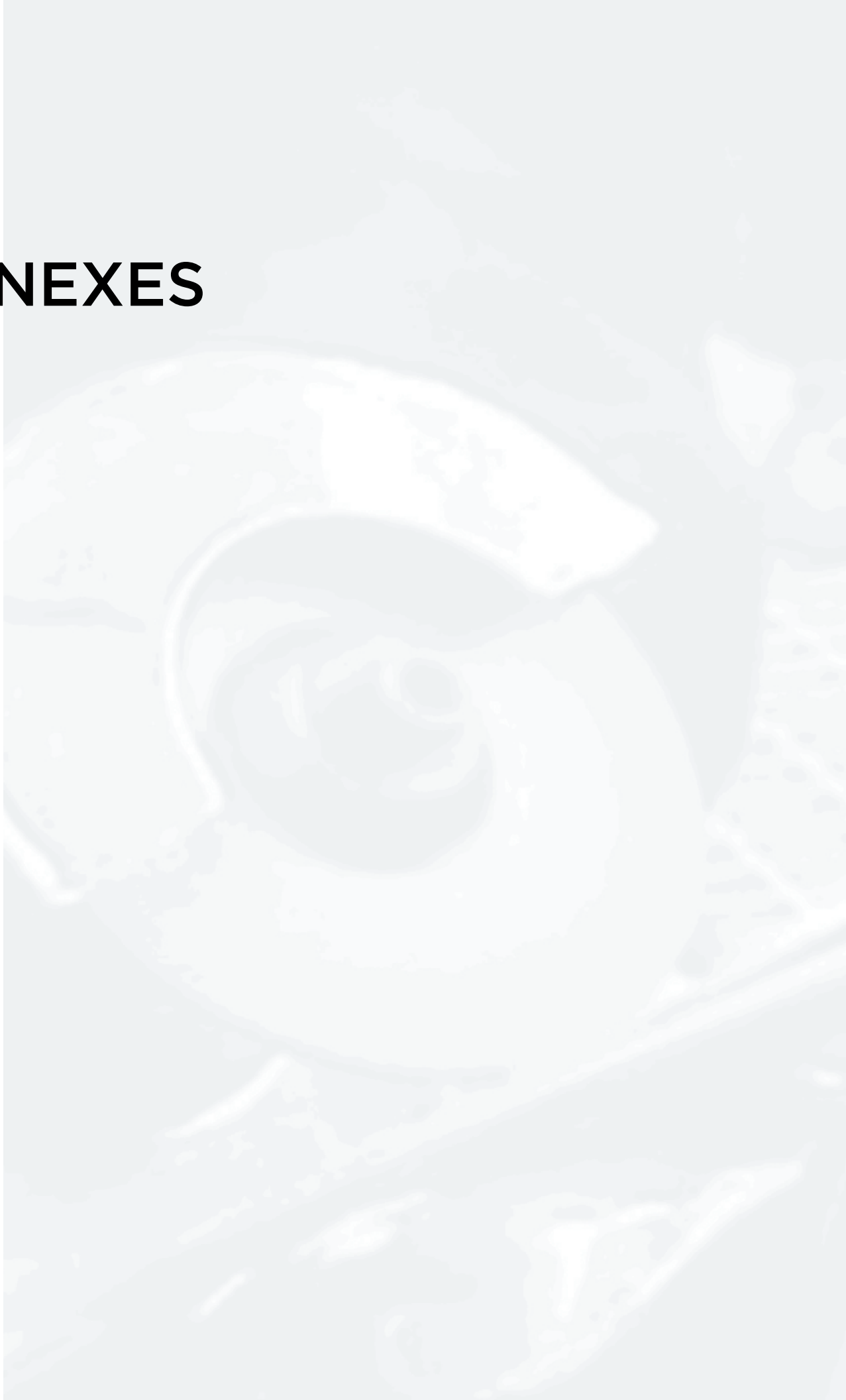
SENNBRO, Carl Johan, Christian H. Lindh, Anders Ostin, Hans Welinder, Bo A.G. Jonsson et Hakan Tinnerberg. « A Survey of Airborne Isocyanate Exposure in 13 Swedish Polyurethane Industries », 2004, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 48, n° 5, p. 405-414, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/48/5/405.full.pdf+html> (mars 2013).

SKARPING, G., M. Dalene, B.G. Svensson, M. Littorin, B. Akesson, H. Welinder et R. Skerfving. « Biomarkers of Exposure, Antibodies, and Respiratory Symptoms in Workers Heating Polyurethane Glue », 1996, *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 53, n° 3, p. 180-187, {En ligne} <http://oem.bmj.com/content/53/3/180.full.pdf+html> (mars 2013).

WESTBERG, Hakan, Hakan Lofstedt, Anders Selden, Bengt Lilja et Peter Naystrom. « Exposure to Low Molecular Weight Isocyanates and Formaldehyde in Foundries Using Hot Box Core Binders », 2005, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 49, n° 8, p. 719-725, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/49/8/719.full.pdf+html> (mars 2013).

WOSKIE, Susan R., Judy Sparer, R.J. Gore, M. Stowe, Dhimiter Bello, Youcheng Liu, F. Youngs, Carrie A. Redlich, E. Eisen et Mark R. Cullen. « Determinants of Isocyanate Exposures in Auto Body Repair and Refinishing Shops », 2004, *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 48, n° 5, p. 393-403, {En ligne} <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/48/5/393.full.pdf+html> (mars 2013).

ANNEXES



VALEURS DE RÉFÉRENCE DES ISOCYANATES

TABLEAU 1

VALEURS DE RÉFÉRENCE POUR LE DIISOCYANATE D'HEXAMÉTHYLÈNE (**HDI**)
(CAS : 822-06-0) PAR PROVINCE CANADIENNE OU PAR PAYS

PROVINCE-PAYS	VEMP		VECD		VALEUR PLAFOND		NOTATIONS		
	ppm	µg/m ³	ppm	µg/m ³	ppm	µg/m ³	SENSIBILISANT	PEAU	AUTRES
Québec	0,005	34					S		EM
Alberta	0,005	30							
Colombie-Britannique	0,005				0,01		S		
Ontario	0,005				0,02				
Saskatchewan	0,005		0,015						
Allemagne	0,005	35	0,005	35	0,005 ¹				
Australie ²		20		70			S		
ACGIH [®]	0,005						S resp		URT irr
États-Unis (NIOSH)	0,005	35			0,020 ⁴	140 ⁴			
France	0,01	75	0,02	150			AR		
Royaume-Uni ²		20		70			S		
Suède	0,002	20			0,005 ³	30 ³	S		M
Suisse ²		20		20			S		B

EM Substance à laquelle l'exposition doit être réduite au minimum, conformément à l'article 42 du RSST.

Resp Respiratoire.

URT Voies respiratoires supérieures.

Irr Irritation.

AR Risque d'allergie respiratoire.

¹ Valeur pour 15 minutes et plafond.

² Valeur de référence exprimée en fonctions NCO (monomère et oligomères).

³ Valeur de référence pour 5 minutes.

⁴ Valeur de référence pour 10 minutes.

M Surveillance médicale nécessaire pour manipuler la substance.

B Surveillance biologique.

S Sensibilisant.

VALEURS DE RÉFÉRENCE
DES ISOCYANATES

TABLEAU 2

VALEURS DE RÉFÉRENCE POUR LE DIISOCYANATE D'ISOPHORONE (IPDI)
(CAS : 4098-71-9) PAR PROVINCE CANADIENNE OU PAR PAYS

PROVINCE-PAYS	VEMP		VECD		VALEUR PLAFOND		NOTATIONS		
	ppm	µg/m ³	ppm	µg/m ³	ppm	µg/m ³	SENSIBILISANT	PEAU	AUTRES
Québec	0,005	45					S		EM
Alberta	0,005	50							
Colombie-Britannique	0,005				0,01		S		
Ontario	0,005				0,02				
Saskatchewan	0,005		0,015						
Allemagne	0,005	40	0,005	46	0,005 ¹				
Australie ²		20		70			S		
ACGIH [®]	0,005						S resp		
États-Unis (NIOSH)	0,005	45	0,02	180				P	
France	0,01	90	0,02	180			AR		
Royaume-Uni ²		20		70			S		
Suède	0,002	18			0,005 ³	46 ³	S		M
Suisse ²		20		20			S		B

EM Substance à laquelle l'exposition doit être réduite au minimum, conformément à l'article 42 du RSST.

Resp Respiratoire.

URT Voies respiratoires supérieures.

AR Risque d'allergie respiratoire.

1 Valeur pour 15 minutes et plafond.

2 Valeur de référence exprimée en fonctions NCO (monomère et oligomères).

3 Valeur de référence pour 5 minutes.

M Surveillance médicale nécessaire pour manipuler la substance.

B Surveillance biologique.

S Sensibilisant.

P Absorption cutanée.

VALEURS DE RÉFÉRENCE
DES ISOCYANATES

TABLEAU 3

VALEURS DE RÉFÉRENCE POUR LE DIISOCYANATE-4,4' DE DIPHÉNYLMÉTHANE (**MDI**)
(CAS : 101-68-8) PAR PROVINCE CANADIENNE OU PAR PAYS

PROVINCE-PAYS	VEMP		VECD		VALEUR PLAFOND		NOTATIONS		
	ppm	µg/m ³	ppm	µg/m ³	ppm	µg/m ³	SENSIBILISANT	PEAU	AUTRES
Québec	0,005	51					S		EM
Alberta	0,005	50							
Colombie-Britannique	0,005				0,01		S	P	
Ontario	0,005				0,02				
Saskatchewan	0,005		0,015						
Allemagne		50		50		100	S	P	
Australie ²		20		70			S		
ACGIH [®]	0,005						S resp		
États-Unis (OSHA)					0,02	200			
États-Unis (NIOSH)	0,005	50			0,02 ⁴	200 ⁴			
France	0,01	10	0,02	200			AR		
Royaume-Uni ²		20		70			S		
Suède	0,002	30			0,005 ³	50 ³	S		M
Suisse ²		20		20			S		B

EM Substance à laquelle l'exposition doit être réduite au minimum, conformément à l'article 42 du RSST.

Resp Respiratoire.

² Valeur de référence exprimée en fonctions NCO (monomère et oligomères).³ Valeur de référence pour 5 minutes.⁴ Valeur de référence pour 10 minutes.

AR Risque d'allergie respiratoire.

M Surveillance médicale nécessaire pour manipuler la substance.

B Surveillance biologique.

S Sensibilisant.

P Absorption cutanée.

VALEURS DE RÉFÉRENCE
DES ISOCYANATES

TABLEAU 4

VALEURS DE RÉFÉRENCE POUR LE DIISOCYANATE DE TOLUÈNE (MÉLANGE D'ISOMÈRES) (TDI)
(CAS : 26471-62-5) PAR PROVINCE CANADIENNE OU PAR PAYS

PROVINCE-PAYS	VEMP		VECD		VALEUR PLAFOND		NOTATIONS		
	ppm	µg/m ³	ppm	µg/m ³	ppm	µg/m ³	SENSIBILISANT	PEAU	AUTRES
Québec	0,005	36			0,02	140	S		EM
Alberta ⁶	0,005	40			0,02	100			
Colombie-Britannique ⁶	0,005				0,01		S		
Ontario ⁶	0,005				0,02				
Saskatchewan ⁶	0,005		0,02				S		
Allemagne ⁶	0,005	35	0,005	35	0,02	140			
Australie ²		20		70			S		
ACGIH ⁶	0,005				0,02		S resp		
États-Unis (OSHA) ⁶					0,02	140			
États-Unis (NIOSH)									
France	0,01	80	0,02	160			AR		
Royaume-Uni ²		20		70			S		
Suède	0,002	14			0,005 ³	40 ³	S		M
Suisse ²		20		20			S		B

EM Substance à laquelle l'exposition doit être réduite au minimum, conformément à l'article 42 du RSST.

Resp Respiratoire.

2 Valeur de référence exprimée en fonctions NCO (monomère et oligomères).

3 Valeur de référence pour 5 minutes.

AR Risque d'allergie respiratoire.

6 Diisocyanate-2,4 de toluène (CAS : 584-84-9) et/ou diisocyanate-2,6 de toluène (CAS : 91-08-7).

M Surveillance médicale nécessaire pour manipuler la substance.

B Surveillance biologique.

S Sensibilisant.

VALEURS DE RÉFÉRENCE
DES ISOCYANATES

TABLEAU 5

VALEURS DE RÉFÉRENCE POUR LE DIISOCYANATE-4,4' DE DICYCLOHEXYLMÉTHANE (**HMDI**)⁸
(CAS : 5124-30-1) PAR PROVINCE CANADIENNE OU PAR PAYS

PROVINCE-PAYS	VEMP		VECD		VALEUR PLAFOND		NOTATIONS		
	ppm	µg/m ³	ppm	µg/m ³	ppm	µg/m ³	SENSIBILISANT	PEAU	AUTRES
Québec	0,005	54					S		EM
Alberta	0,005	50							
Colombie-Britannique	0,005				0,01				
Ontario	0,005				0,02				
Saskatchewan	0,005		0,015						
Australie ²		20		70			S		
ACGIH [®]	0,005						S resp		URL irr
Royaume-Uni ²		20		70			S		
Suisse ²		20		20			S		B

EM Substance à laquelle l'exposition doit être réduite au minimum, conformément à l'article 42 du RSST.

URT Voies respiratoires supérieures.

Irr Irritation.

2 Valeur de référence exprimée en fonctions NCO (monomère et oligomères).

B Surveillance biologique.

S Sensibilisant.

8 Correspond à l'appellation méthylène bis(4-cyclohexyl isocyanate).

LEXIQUE, SIGLES ET ACRONYMES

ACGIH®	American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
Adduit	Les isocyanates peuvent réagir et se lier chimiquement à une protéine pour former différentes nouvelles molécules, qu'on appelle des adduits.
Antigène	Une substance sera dite antigénique si elle est capable de provoquer une réponse immunitaire ou au moins de se lier de façon spécifique aux produits d'une réponse immunitaire préalable (anticorps ou récepteurs des lymphocytes T).
Alvéolite	Réaction inflammatoire des voies respiratoires au niveau des alvéoles.
AP	Asthme professionnel.
APR	Appareil de protection respiratoire.
Asthme	Syndrome respiratoire causé par une réaction inflammatoire des bronches. Il se manifeste par des symptômes tels que de la difficulté à respirer, de la toux et des sifflements.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Cancérogène	Se dit d'une substance pouvant causer le cancer.
CAS	Le numéro CAS (<i>CAS number</i> ou <i>CAS registry number</i> , en anglais) d'une substance chimique, polymère, séquence biologique et alliage est son numéro d'enregistrement unique dans la banque de données du Chemical Abstracts Service (CAS), une division de l'American Chemical Society (ACS).
CANUTEC	Centre canadien d'urgence transport, qui relève de la Direction générale du transport des marchandises dangereuses (TMD) de Transport Canada.
CCHST	Centre canadien d'hygiène et de santé au travail.
CE	Commission européenne
CHEMTREC	Le CHEMical TRansportation Emergency Center est un organisme américain de mesure d'urgence en cas de déversement chimique pendant le transport routier ou ferroviaire.
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer.
Combustion	Réaction exothermique (dégagement de chaleur) entre un combustible (solide, liquide ou gazeux) et un comburant (souvent l'oxygène de l'air).
Conjonctivite	Irritation de la conjonctive (muqueuse) de l'œil.
CSA	Canadian Standards Association.
CSST	Commission de la santé et de la sécurité du travail.
Danger	Propriétés inhérentes à une substance chimique (ici les isocyanates) ou un procédé impliquant plusieurs agents (chimiques, biologiques, physiques) qui, soumis à des conditions de production et d'utilisation, risquent d'entraîner des effets néfastes sur la santé ou sur l'environnement.
Dermatite	Affection inflammatoire de la peau.
Dermatose	Toute maladie de la peau.
Diisocyanate	Composé chimique ayant deux fonctions isocyanates « NCO ».
EM	Notation du RSST pour une substance à laquelle l'exposition doit être réduite au minimum.

LEXIQUE, SIGLES ET ACRONYMES

ÉPI	Équipement de protection individuel.
Exposition	Contact avec une substance (ici les isocyanates) par inhalation, par toucher de la peau ou des yeux ou par ingestion. L'exposition peut être de courte durée (aiguë), de moyenne ou de longue durée (chronique).
FPC	Facteur de protection caractéristique d'un APR.
Génotoxicité	Propriété de certains toxiques physiques ou chimiques (agents génotoxiques) de déclencher des mutations qui affecteront le patrimoine génétique des organismes exposés.
Haptènes	Une haptène est une molécule qui peut réagir avec des protéines. Bien que non immunogène, elle peut se lier à des protéines de la réponse immunitaire.
IBE	Indicateur biologique d'exposition.
Immunogène	Antigène capable de provoquer une réponse immunitaire.
Immunoglobuline	Protéine sanguine douée de propriétés immunitaires. Il en existe plusieurs classes et sous-classes. L'IgE est surtout associée à des maladies telles que l'asthme et le rhume des foins, alors que l'IgG est associée à la réponse immunitaire humorale et à la défense contre les infections.
IRSST	Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail.
ISO	International Organization for Standardization.
Isocyanate	Fonction chimique composée d'azote, de carbone et d'oxygène « NCO ». Peut également désigner tout composé ayant au moins une fonction isocyanate.
Isomères	Deux composés chimiques qui diffèrent par la position de certains de leurs groupements ou fonctions.
LIE	Limite inférieure d'explosivité. Concentration minimale d'une substance dans l'air (exprimée en pourcentage [%] volume/volume) où un mélange inflammable ou explosif peut se former.
LSST	Loi sur la santé et la sécurité du travail.
MAMA	9-(N-méthylaminométhyl) anthracène.
Monoisocyanate	Composé chimique ayant une seule fonction isocyanate « NCO ».
Monomère	Unité chimique de base constituant une chaîne appelée polymère.
MOPIP	(1-(2-méthoxyphényl) pipérazine).
Mutagenicité	Aptitude d'un agent biologique, physique ou chimique à provoquer des mutations dans le matériel génétique des cellules.
NCO	Fonction isocyanate (N = azote; C = carbone; O = oxygène).
NFPA	National Fire Protection Association.
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health (organisme de recherche des États-Unis).
NTP	National Toxicology Program
Oligomère	Composé chimique ayant plusieurs fonctions isocyanates NCO qui est obtenu par la condensation de plusieurs monomères de diisocyanate ou par la réaction incomplète de monomères de diisocyanate et de copolymère.
PE	Polyéthylène.
PE/EVAL/PE	Polyéthylène/alcool de vinyle et d'éthylène/polyéthylène.

LEXIQUE, SIGLES ET ACRONYMES

PICS	Programme international sur la sécurité des substances chimiques.
Polyisocyanate	Voir oligomère.
Polymère	Composé chimique en longue chaîne formée de l'addition de plusieurs unités plus simples.
Polymérisation	Réaction chimique durant laquelle plusieurs monomères réagissent pour former une chaîne appelée polymère.
Polyol	Composé chimique ayant plus de deux groupements ou fonctions alcools.
Polyuréthane	Polymère d'uréthane. On appelle carbamate, ou plus couramment uréthane, tout composé produit par la réaction d'un isocyanate et d'un alcool, dont un polyol.
Prépolymère	Voir oligomère.
ppm	Unité de mesure de concentration signifiant partie par million.
Pyrolyse	Décomposition thermique de matières organiques. Il s'agit du premier stade de transformation thermique après la déshydratation.
REPTOX	Répertoire toxicologique de la CSST.
Risque	Le risque se définit comme la probabilité de survenue d'un danger, le danger étant la propriété intrinsèque ou la capacité d'un objet, d'une substance, d'un processus ou d'une situation d'avoir des conséquences néfastes ou de menacer la santé ou la sécurité d'un travailleur.
RSST	Règlement sur la santé et la sécurité du travail.
Sensibilisation	Processus immunologique par lequel les personnes deviennent hypersensibles à une substance chimique en manifestant une réaction allergique.
SIMDUT	Système d'information sur les matières dangereuses utilisées en milieux de travail.
SGH	Système général harmonisé.
Syndrome d'irritation bronchique	Syndrome d'un état symptomatique d'asthme ayant comme caractéristique essentielle la persistance d'une hyperréactivité bronchique durant au moins trois mois après un accident. Il peut être défini comme étant un type d'asthme causé par l'inhalation d'une substance aux propriétés irritantes générées à haute concentration.
Tératogénicité	Capacité de certaines substances, médicamenteuses ou non, à entraîner des malformations chez le fœtus.
Test de provocation bronchique	Exposition en laboratoire hospitalier ou en milieu de travail à l'agent causal suivie d'une mesure de la fonction respiratoire spécifique à l'agent. Ce test peut également être fait avec un irritant, tel que la méthacholine.
Triisocyanates	Composé chimique ayant trois fonctions isocyanates « NCO ».
Uréthane	Groupe ou fonction chimique composé d'azote, d'hydrogène, de carbone et d'oxygène « R-NH-COO-R' ».
VEA	Valeur d'exposition admissible au sens du RSST.
VECD	Valeur d'exposition de courte durée (15 minutes).
VEMP	Valeur d'exposition moyenne pondérée sur huit heures.
VR	Valeur de référence.
µg/m³	Unité de mesure de concentration signifiant microgramme par mètre cube.

LISTE DES HYPERLIENS

Aire d'application à rideaux	http://autoprevention.qc.ca/docs/FT_C03_AireApplication.pdf (mars 2013).
Alberta	http://employment.alberta.ca/documents/WHS/WHS-LEG_ohsc_2009.pdf (mars 2013).
Allemagne	http://www.dguv.de/ifa/en/gestis/limit_values/index.jsp (mars 2013).
ASTM	http://www.astm.org/ (mars 2013).
Asthme	http://www.asthme.csst.qc.ca/ (mars 2013).
Australie	http://hsis.safeworkaustralia.gov.au/ (mars 2013).
Cabine à peinture	http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ED%20839 (mars 2013).
CANUTEC	http://www.tc.gc.ca/fra/canutec/menu.htm (mars 2013).
CLI	http://www.clilabs.com/products/spill-decontamination-kits.html
CSA Z99.3.1.99	http://www.csst.qc.ca/prevention/magazine/2011/printemps/reportages/Pages/vos_yeux.aspx (mars 2013).
CIRC	http://www.iarc.fr/indexfr.php (mars 2013).
CCHST	http://www.cchst.ca/oshanswers/hsprograms/hazard_risk.html (mars 2013).
CHEMTREC	http://www.chemtrec.com/ (mars 2013).
Code de construction du Québec	http://www.rbq.gouv.qc.ca/lois-reglements-et-codes/code-de-construction-et-code-de-securite.html (mars 2013).
Colombie-Britannique	http://www2.worksafebc.com/Publications/OHSRegulation/GuidelinePart5.asp#EL (mars 2013).
Dimension de la pièce à peindre	http://www.travailler-mieux.gouv.fr/spip.php?page=risque-prevention&id_article=173 (mars 2013).
Démarche	http://www.inrs.fr/accueil/risques/chimiques/evaluation-risques.html (mars 2013).
Fiche signalétique	http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2046 (mars 2013).
France (INRS)	http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/Ed%20984/\$File/ed984.pdf (mars 2013).
Gants	http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-606.pdf (mars 2013).
GESTIS	http://www.dguv.de/ifa/en/gestis/stoffdb/index.jsp (mars 2013).
Guide d'échantillonnage	http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/T-06.pdf (mars 2013).
Grilles d'évaluation	http://www.csst.qc.ca/publications/200/Documents/DC200_343web.pdf (mars 2013).
HSE	http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/eh40.pdf (mars 2013).
Info isocyanates	http://www.asthme.csst.qc.ca/document/Pre_int/Infolso/Isocyanates1(2000-03).pdf (mars 2013).

LISTE DES HYPERLIENS

INRS	http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ND%202233 (mars 2013).
ISO	http://www.norme-standard.com/tag/iso-17736/ (mars 2013).
LSST	http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/S_2_1/S2_1.html (mars 2013).
Méthode MDHS 25/3	http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/pdfs/mdhs25-3.pdf (mars 2013).
Méthode quantitative	http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/validated/w4002/w4002.html (mars 2013).
Moyens de prévention	http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/RG-623.pdf (mars 2013).
NFPA-30, 2012	http://www.nfpa.org/Assets/files/AboutTheCodes/30/FI30-2012.pdf (mars 2013).
NFPA-33, 2011	http://www.nfpa.org/Assets/files/AboutTheCodes/33/FI33-2011.pdf (mars 2013).
NIOSH	http://www.cdc.gov/niosh/topics/isocyanates/ (mars 2013). http://www.cdc.gov/niosh/npg/ (mars 2013).
<i>NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards</i>	NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards (mars 2013).
NTP	http://ntp.niehs.nih.gov/ (mars 2013).
Ontario	http://www.e-laws.gov.on.ca/html/regs/french/elaws_regs_900833_f.htm (mars 2013).
OSHA	http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=INTERPRETATIONS&p_id=23425&p_text_version=FALSE (mars 2013). http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992 (mars 2013).
Pictogrammes SGH	http://sti.ac-montpellier.fr/IMG/pdf/SGH.pdf (mars 2013).
Pompe à air	http://autoprevention.qc.ca/docs/FT_C07_pompe-air-2003.pdf (mars 2013).
Prévention des incendies	http://www.nationalcodes.ca/fra/cnpi/cnpi_2010_materies.shtml (mars 2013).
Produits contrôlés	http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/S_2_1/S2_1R8.HTM (mars 2013).
Pulvérisation	http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=TS721page16 (mars 2013). http://autoprevention.qc.ca/docs/FT_C09_Pulverisation-peinture-2003.pdf (mars 2013).
Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère	http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=%2F%2FQ_2%2FQ2R4_1.htm (mars 2013).
REPTOX	http://www.reptox.csst.qc.ca/ (mars 2013).
Royaume-Uni	http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/eh40.pdf (mars 2013).
RSST, Québec	http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/S_2_1/S2_1R13.HTM (mars 2013).
Saskatchewan	http://www.qp.gov.sk.ca/documents/English/Regulations/Regulations/O1-1R1.pdf (mars 2013).
SIMDUT	http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/occup-travail/whmis-simdut/index-fra.php (mars 2013).

LISTE DES HYPERLIENS

SGH	http://www.hc-sc.gc.ca/ahc-asc/intactiv/ghs-sgh/index-fra.php http://www.cchst.ca/oshanswers/chemicals/ghs.html (mars 2013).
Solub	http://www.irsst.qc.ca/solub/ (mars 2013).
Suède	http://www.av.se/dokument/inenglish/legislations/eng0517.pdf (mars 2013).
Suisse	http://www.suva.ch/fr/startseite-suva/praevention-suva/arbeit-suva/arbeitsmedizin-suva.htm#grenzwert (mars 2013).
Syndrome d'irritation bronchique	http://www.asthme.csst.qc.ca/Document/Info_Med/Formation/ApLatence/Latence08.html (mars 2013).
Tyvek®	http://www.dpp-europe.com/-Gamme-de-vetements-TYVEK-R-.html?lang=fr (mars 2013).