



Substitution du dichlorométhane

Caroline Couture, M. Sc., UdeM

Maximilien Debia, Ph. D., UdeM

Laboratoire d'hygiène industrielle et de métrologie des polluants

Département de santé environnementale et santé au travail

École de Santé Publique de l'Université de Montréal

Centre de recherche en santé publique

24 mai 2024



Plan

1. Contexte
2. Objectifs de recherche
3. Méthodologie
4. Résultats
5. Discussion et conclusion

1.1 Qu'est-ce qu'un solvant?

- Substance chimique pour extraire, dissoudre ou suspendre d'autres substances¹
- Préparations telles que les colles, dégraissants, encres et peintures
- Solvants verts, écologiques, biologiques, biosourcés, biodégradables, naturels, durables²
- Ces différents termes se rapportent en partie aux préceptes de la **chimie verte** et visent à:
 - Préserver la santé humaine et l'environnement aussi bien lors de leur synthèse que de leur utilisation
 - Utiliser des matières renouvelables lors de leur synthèse et de leur formulation

1.2 Problématiques associées aux solvants

- Utilisés dans de nombreuses applications en circuit ouvert
 - Production annuelle de vingt millions de tonnes de solvants à l'échelle mondiale³
- 300 000 travailleurs québécois sont exposés régulièrement aux solvants organiques⁴
- Les solvants organiques:
 - Effets toxiques sur différents organes
 - Incendies et explosion
 - Effets délétères sur l'environnement

A forcé depuis plusieurs années les gouvernements à réglementer leur utilisation et les entreprises à travailler à leur remplacement.

1.3 Réglementation

- LSST⁵ (art. 2):
 - « a pour objet l'élimination à la source même des dangers pour la santé, la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs. »
- RSST⁶ :
 - Art. 39 : « Autant que possible, les matières dangereuses qui sont sources de gaz, de fumées, de vapeurs, de poussières ou de brouillards doivent être remplacées par des matières qui ne le sont pas ou, encore, qui le sont moins »
 - Annexe I: VEMP = 50 ppm
- RCSST⁷ (art.10.16):
 - « est interdit d'utiliser une substance dangereuse dans le lieu de travail lorsqu'il est en pratique possible de la remplacer par une substance non dangereuse »
 - « cette dernière doit, lorsque cela est en pratique possible, être substituée à la substance dangereuse »

1.3 Réglementation (suite)

- Environnement:
 - L'acétone, le dichlorométhane (DCM) et le perchloréthylène (PERC) sont exclus de la définition de COV selon la LCPE⁸ (annexe 1) et le RAA⁹ (art. 18), comme aux États-Unis (réactions photochimiques sont considérées comme faibles)
- Autres secteurs:
 - Pharmaceutique: Le DCM est dans la classe 2 (solvants à limiter) et l'exposition journalière admissible dans les médicaments est de 6 mg¹⁰
 - Alimentaire: Concentrations de résidus acceptables dans le café et le thé sont de 10 ppm¹¹ (vs 0,56 et 1,4 ppm en Europe)

1.4 Réalité 2024

- Europe:
 - 2007: Entrée en vigueur de REACH¹² (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) qui impose la substitution, par des options de remplacement moins dangereuses, des:
 - substances cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR)
 - substances persistantes, bioaccumulables ou toxiques (PBT)
 - substances très persistantes et très bioaccumulables (vPvB)
 - substances perturbatrices du système endocrinien
 - 2011: Règlement modifiant REACH¹³ indique que les décapants de peinture, contenant du DCM à une concentration $\geq 0,1$ % en poids:
 - ne doivent plus être sur le marché
 - ne pas être utilisés par les professionnels depuis le 6 juin 2012

1.4 Réalité 2024

- Amérique du Nord:
 - 2018: Retrait des produits contenant du DCM des tablettes de certains distributeurs (en prévision de l'interdiction dans les décapants pour les consommateurs en 2019)
 - 30 avril 2024, annonce du bannissement du DCM dans la plupart de ses utilisations par l'U.S. EPA¹⁴:
 - Utilisations toujours permises : fabrication de produits pharmaceutiques, séparateurs pour batteries aux ions de lithium pour véhicules électriques, synthèse d'un réfrigérant (difluorométhane ou HFC-32), produit chimique dans les laboratoires, fabrication du polycarbonate et collage au solvant (certaines applications militaires et aérospatiales)
 - Proposition d'une VEMP sévère: 2 ppm (8h)
 - Canada: Depuis 2003, un plan de prévention de la pollution a été exigé aux émetteurs de DCM¹⁵

1.4 Réalité 2024 (suite)

- Problématique des solvants toujours actuelle:
 - Explosion causée par des solvants inflammables en 2016 à Montréal, entraînant le décès d'un vernisseur de plancher et de graves brûlures à deux autres travailleurs¹⁶
 - Exemples de mauvaises substitutions : substances toxiques
- Preuves actuelles démontrant:
 - La cancérogénicité de certains solvants chlorés¹⁷
 - Divers types de toxicité des solvants aromatiques qui sont encore largement utilisés¹⁸

1.4 Réalité 2024 (suite)

- Le DCM est une substance prioritaire à remplacer :
 - CAREX Canada (2020)¹⁹, 22 000 travailleuses et travailleurs canadiens étaient exposés en 2016 au DCM dans le cadre de leur travail (5 600 au Québec)
 - Très volatile et facilement absorbé par inhalation (31% à 75% de la dose inhalée est absorbée)
 - L'exposition pourrait aussi se produire par absorption par la peau à de fortes concentrations de vapeurs

1.4 Réalité 2024 (suite)

- Le DCM est une substance prioritaire à remplacer (suite):
 - De 1980 à 2018, 74 décès liés à l'utilisation du DCM en milieu de travail ont été identifiés aux États-Unis²⁰
 - Les décapants pour peinture étaient les produits les plus fréquemment impliqués dans les décès liés au DCM²⁰
 - Lorsqu'absorbé, le métabolisme du DCM génère du monoxyde de carbone (CO) qui agit alors comme un asphyxiant chimique en déplaçant l'oxygène de l'hémoglobine, formant de la carboxyhémoglobine (COHb)
 - Entraîne une dépression du système nerveux central et, à fortes concentrations, une dépression respiratoire pouvant mener à la mort

1.4 Réalité 2024 (suite)

- Le DCM est une substance prioritaire à remplacer (suite):
 - Responsable d'étourdissements, nausées, vomissements, maux de tête et de confusion mentale²¹, mais aussi d'une irritation des yeux, du nez, de la gorge et de la peau (effets aigus)
 - Associé essentiellement à des effets hépatotoxiques, mais aussi à des effets rénaux
 - Classé comme probablement cancérigène chez l'humain (groupe 2A) par le CIRC²², et cancérigène soupçonné chez l'humain (C2) selon le RSST

2.Objectifs

- Présenter les connaissances sur les aspects de SST et d'environnement à considérer pour la substitution du DCM
- Identifier les principales applications industrielles utilisatrices de ce solvant
- Aborder les options de remplacement de manière à guider les spécialistes de l'hygiène du travail et de l'environnement dans leurs choix et décisions par rapport à la substitution de cette substance

3. Méthodologie

- Recension de la littérature scientifique, technique et commerciale traitant du DCM et des solvants de remplacement (contexte de l'Amérique du Nord et de l'Europe):
 - Différentes bases de données consultées (Embase, Pubmed)
 - La recherche de la littérature grise, de la réglementation, des normes de certification applicables aux produits industriels (étiquettes écologiques), des fabricants de solvants et de leur littérature technique dans le réseau Internet a été réalisée
 - Ex. de mots-clés: dichlorométhane, chlorure de méthylène, exposition professionnelle, milieu de travail, substitution, alternative, remplacement

3. Méthodologie (suite)

- Consultation de banques de données d'exposition professionnelle (BDEP):
 - LIMS (Laboratory Information Management System)
 - BDCET (Base de Données Canadienne des Expositions au Travail)
 - OSHA
 - INRS

3. Méthodologie (suite)

- Évaluation comparative des options de remplacement – Outils
 - P2Oasys (Pollution Prevention Option Analysis System - TURI)
 - Vise à évaluer le degré de vertitude des options de remplacement
 - Compare des substances chimiques pures ou des mélanges des points de vue environnemental et de SST
 - VHR (Vapour Hazard Ratio)
 - Mesure sans unité qui informe sur le potentiel d'une substance à s'évaporer et à dépasser sa VLEP
 - Utilisé dans le domaine de l'hygiène industrielle afin d'évaluer le potentiel de surexposition aux différents solvants en corrigeant les VLE pour la volatilité des solvants²³

3. Méthodologie (suite)

- P2Oasys
 - Plusieurs catégories d'effets (données quantitatives et qualitatives):
 - Effets aigus chez l'humain
 - Effets chroniques chez l'humain
 - Dangers écologiques
 - Persistance / bioaccumulation
 - Dangers atmosphériques
 - Propriétés physico-chimiques (Danger chimique)
 - Utilisation d'énergie et de ressources
 - Dangers liés au cycle de vie du produit
 - Les scores sont sur une échelle de 10, le score le plus bas étant le plus souhaitable

3. Méthodologie (suite)

- VHR

- $VHR = C_{sat} / VLE \quad (1)$

- Avec C_{sat} = concentration de vapeur saturante en parties par million (ppm)

- VLE = valeur limite d'exposition professionnelle (ppm)

- Et $C_{sat} = (P_{vap} / P_{atm}) \times 10^6 \quad (2)$

- Avec P_{vap} = pression de vapeur du solvant à une température donnée (p. ex. 25°C)

- P_{atm} = pression atmosphérique à la même température

- VLE utilisées: valeurs réglementaires ou sanitaires

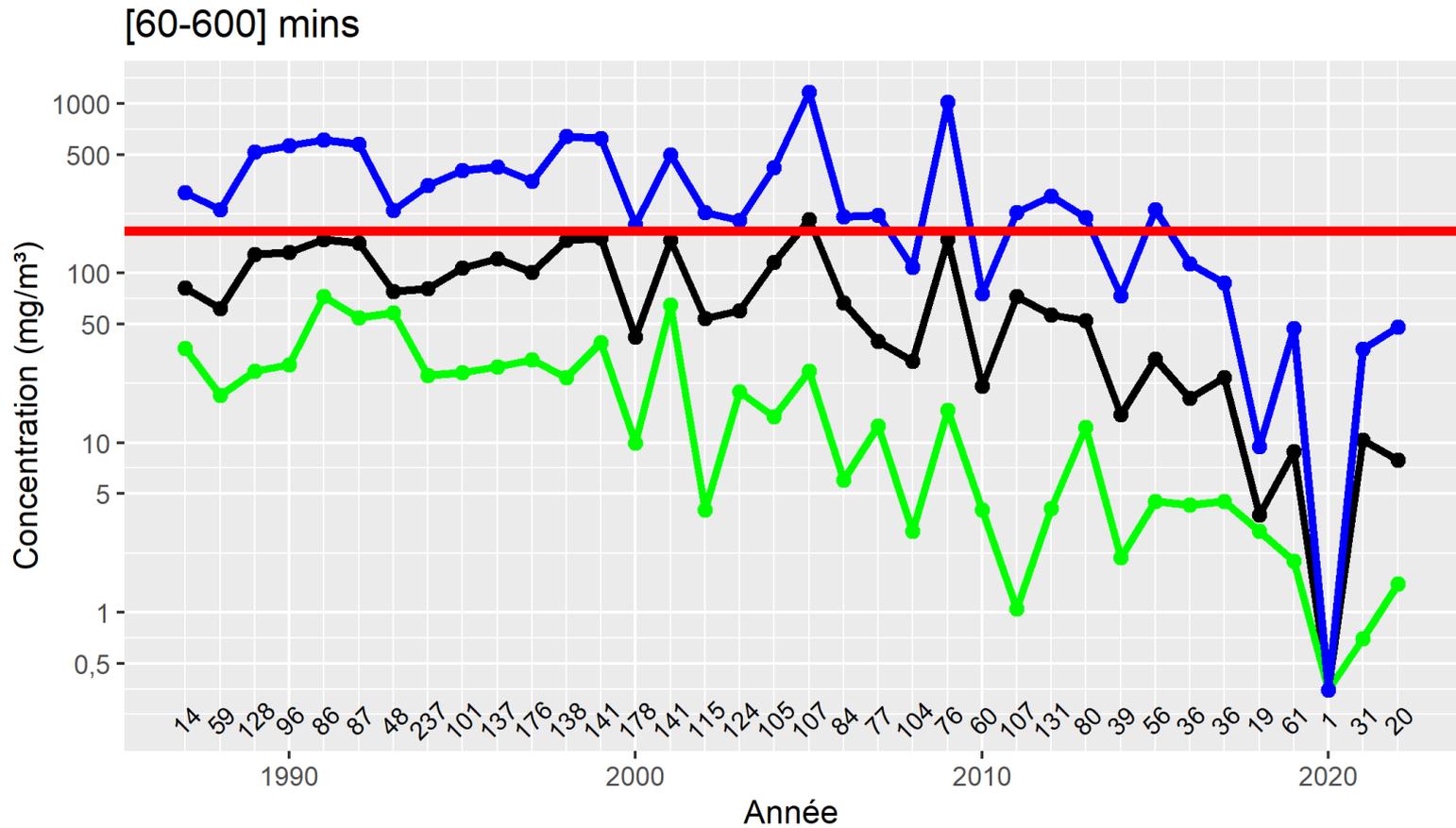
3. Méthodologie (suite)

- Évaluation des options de remplacement – Étiquettes et certifications
 - Concernent l'une ou plusieurs des catégories suivantes: SST, efficacité du produit, environnement
 - Pour un usage professionnel au Québec, les produits certifiés Green Seal®, Safer Choice et ECOLOGO ont été privilégiés²
 - Safer Choice:
 - Évalue des préparations (Safer Products) et des ingrédients purs (Safer Chemical)
 - Considère une liste de 105 solvants comme plus ou moins verts selon divers critères (classés selon un code de couleur)

4. Résultats

- Secteurs où les travailleurs (en nombre) sont les plus exposés:
 - réparation et entretien automobile
 - finition de bâtiments
 - industrie de fabrication de produits plastiques
 - industrie des peintures et vernis
- Niveaux d'exposition les plus élevés :
 - secteurs d'activités suivants :
 - préparations pharmaceutiques (2 528 ppm)
 - décapage et réparation de baignoires (524 ppm)
 - industrie de la métallurgie (468 ppm)
 - industrie de la peinture (452 ppm)
 - titres d'emploi :
 - 5 878 ppm pour opérateurs (industrie pharmaceutique)
 - 789 ppm pour opérateurs au décapage (manufacture de produits de plastiques)

4. Résultats (suite)



4. Résultats (suite)

Catégories d'utilisation du DCM	Solvants de remplacement
Décapants à peinture, vernis et encre et décapants pour adhésifs et joints	- N-méthyl-2-pyrrolidone (NMP) ; Alcool benzylique (AB); Esters d'acides dicarboxyliques (DBE) (adipate diméthylique, le glutarate diméthylique, ou succinate diméthylique), Acétate de méthyl, 1,3-dioxolane , diméthylsulfoxyde (DMSO), N,N-Diméthylformamide (DMF), éthers de glycol, Tétrahydrofurane (THF), carbonate de propylène
Nettoyants et dégraissants	Tétrachloroéthylène (PERC), n-Heptane , acétone, 1,3-dioxolane , diéthoxyméthane , diméthoxyméthane , diméthylsulfure, dipropylène glycol, lactate d'éthyle, NMP , d-limonène
Dégrippants	Naphta, heptane , tétrafluoro-1,1,1,2 éthane, alcool isopropylique
Colles, adhésifs et calfeutnants	N-hexane , adhésifs en phase aqueuse, hydrocarbure halogéné, polymère thermoplastique
Soudage et cimentation au solvant	Acétate d'éthyle , acide acétique glacial et 2-méthoxyéthanol
Revêtements et peintures	Distillat de pétrole, solvant Stoddard, CO₂ supercritique

4. Résultats (suite)

Catégories d'utilisation du DCM	Solvants de remplacement
Industries pharmaceutiques	1,3-dioxolane, diéthoxyméthane et 2,5,7,10-Tetraoxaundecane
Extraction arômes, parfums, huiles essentielles et composés organiques (alimentation, industrie pétrolière)	1,3-dioxolane, dipropoxyméthane, diéthoxyméthane, diméthoxyméthane, 2,5,7,10-Tetraoxaundecane, n-hexane, l'éthanol ou le cyclohexane, acétate d'éthyle, CO ₂ supercritique
Analyses environnementales	Méthanol, l'acétate d'éthyle, l'éthanol, l'isopropanol et l'heptane
Synthèse chimique	1,3-dioxolane, le diéthoxyméthane et le 2,5,7,10-Tetraoxaundecane, diméthoxyméthane, CO ₂ liquide sous haute pression
Dentisterie	1,3-pentadiene, cyclopentene, isoprene, 2-methyl-2-butene, 1,5-hexadiene), formate de méthyle et l'acétate de méthyle
Industrie de la fabrication et du recyclage des appareils électroniques	Acétate de propyle, carbonate de propylène, fluides supercritiques (eau et CO ₂)
Imprimerie, sérigraphie et photographie	Isopropanol, dipropylène glycol monométhyl éther (DPM) et le tripropylène glycol monométhyl éther (TPM), 1,3-dioxolane, acétone

5. Discussion et conclusion

- Certains solvants de remplacement ne sont pas sans risque :
 - Ceux à base de naphta ou coupes pétrolières (solvant Stoddard): « le pétrole contient des hydrocarbures aromatiques (benzène, toluène, éthylbenzène, naphtalène) et aliphatiques (n-hexane), qui peuvent entraîner de nombreux effets néfastes sur la santé, notamment le cancer, la formation de tumeurs, la perte auditive et la toxicité pour le système nerveux » tel que vu dans une FDS
 - NMP: toxicité pour le développement (femmes enceintes et pour celles en âge de procréer)
 - DMF: classé 2A (probablement cancérogène pour l'humain) par le CIRC

5. Discussion et conclusion (suite)

- Exemples de FDS (un lubrifiant):
 - 2018²⁴: 40 à 70% de DCM et 15 à 40% de PERC
 - 2020²⁵: composé de naphta (30-60%) et d'heptane (10-30%)
 - La nouvelle formulation de ce produit, largement disponible dans la plupart des quincailleries au Québec, a permis d'éliminer deux solvants chlorés (PERC et DCM) et cancérigènes

Substance	CAS	P2Oasys	VHR	Considérations particulières
DCM	75-09-2	7,9	11 447	Cancérogène
PERC	127-18-4	8,6	958	Cancérogène mais aussi très persistant dans l'environnement
Heptane et isomères	142-82-5	7,8	151	Très inflammable (point d'éclair inférieur à 0 °C)

5. Discussion et conclusion (suite)

- Exemples de FDS (nettoyants à freins)

- Avec DCM²⁶:

Chemical name	Common name and synonyms	CAS number	%
Perchloroethylene		127-18-4	80-100
Methylene Chloride		75-09-2	10-30
Carbon Dioxide		124-38-9	1-5

- Sans DCM²⁷:

Composants Dangereux	% wt.	N° CAS	Classification des dangers
Tetrachlorethylene	70 - 80	127-18-4	Eye Irrit. 2; H319 Skin Irrit. 2; H315 Skin Sens. 1B; H317 Carc. 2; H351 (oral; Foie) STOT SE 3; H336 Aquatic Acute 2; H401 Aquatic Chronic 2; H411

- Sans chlore²⁸

Nom	Identificateur de produit	%
n-Heptane	(n° CAS) 142-82-5	60-100
Alcool isopropylique	(n° CAS) 67-63-0	10-30

5. Discussion et conclusion (suite)

- Exemples de FDS (scellant à joint):
 - contenait du DCM jusqu'en 2021²⁹
 - Retrait du DCM et ajout de n-hexane (10-30%) et la quantité d'acétone dans le produit a été augmentée entre 2021 et 2023³⁰

Substance	CAS	P2Oasys	VHR	Considérations particulières
DCM	75-09-2	7,9	11 447	
n-hexane	110-54-3	6,9	4026	Neurotoxique (neuropathie périphérique)
Acétone	67-64-1	6,8	1216	Très inflammable et très persistant dans l'environnement

5. Discussion et conclusion (suite)

Substance	CAS	P2Oasys	VHR	Safer chemicals
Adipate diméthylique	627-93-0	3,5	53	Vert
Carbonate de propylène	108-32-7	3,5	10	Vert
Glutarate diméthylique	1119-40-0	3,6	219	Vert
Éther monoéthylique de diéthylène glycol (DEGEE)	111-90-0	4,1	29	-
Diéthylène glycol monométhyléther (2-(2-méthoxyéthoxy)éthanol) (DEGME)	111-77-3	4,3	33	-
Méthylal (diméthoxyméthane)	109-87-5	4,5	526	-
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol (DEGBE)	112-34-5	4,5	8	Jaune
Alcool benzylique (AB)	100-51-6	4,8	25	-
Gamma-butyrolactone	96-48-0	4,9	12	-
Succinate diméthylique	106-65-0	4,9	439	Vert
Acétate d'éthyle	141-78-6	5,1	307	-
Alcool isopropylique (isopropanol)	67-63-0	5,1	299	Vert
Acétate de propyle	109-60-4	5,9	472	Vert
Diméthylsulfoxyde (DMSO)	67-68-5	5,9	16	-
d-limonène	5989-27-5	6	521	Jaune

5. Discussion et conclusion (suite)

Substance	CAS	P2Oasys	VHR	Safer chemicals
Adipate diméthylique	627-93-0	3,5	53	Vert
Carbonate de propylène	108-32-7	3,5	10	Vert
Glutarate diméthylique	1119-40-0	3,6	219	Vert
Éther monoéthylique de diéthylène glycol (DEGEE)	111-90-0	4,1	29	-
Diéthylène glycol monométhyléther (2-(2-méthoxyéthoxy)éthanol) (DEGME)	111-77-3	4,3	33	-
Méthylal (diméthoxyméthane)	109-87-5	4,5	526	-
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol (DEGBE)	112-34-5	4,5	8	Jaune
Alcool benzylique (AB)	100-51-6	4,8	25	-
Gamma-butyrolactone	96-48-0	4,9	12	-
Succinate diméthylique	106-65-0	4,9	439	Vert
Acétate d'éthyle	141-78-6	5,1	307	-
Alcool isopropylique (isopropanol)	67-63-0	5,1	299	Vert
Acétate de propyle	109-60-4	5,9	472	Vert
Diméthylsulfoxyde (DMSO)	67-68-5	5,9	16	-
d-limonène	5989-27-5	6	521	Jaune

5. Discussion et conclusion (suite)

- À cela s'ajoutent:
 - Les solvants aqueux et les fluides supercritiques (eau et CO₂).
 - Certains procédés:
 - Décapage: méthodes mécaniques ou thermiques
 - Colles: adhésifs thermofusibles ou perçage et vissage
 - Imprimerie offset: presses numériques et nettoyage automatique

5. Discussion et conclusion (suite)

- La considération de plusieurs éléments dans un seul et même indice peut entraîner des substitutions inadéquates pouvant se traduire par des risques pour la santé des travailleurs
- Les facteurs considérés dans les outils rejoignent certains des principes de la chimie verte ou encore les critères utilisés dans les certifications comme Safer Choice

5. Discussion et conclusion (suite)

- Il n'existe pas d'outil infallible sous la forme de logiciel ou autre pour trouver la meilleure solution de rechange à l'utilisation d'un solvant problématique
- Un solvant de remplacement qui respecte tous les critères qu'un solvant doit satisfaire ou qui est complètement inoffensif est pratiquement impossible, tout est donc une question de compromis lors du choix du meilleur solvant
- Plusieurs des nouveaux solvants n'ont pas de VLE dans le RSST

5. Discussion et conclusion (suite)

- Tout solvant, qu'il soit ou non qualifié comme vert doit passer au crible d'une analyse rigoureuse telle que celle de la démarche de substitution en 9 étapes proposée par Gérin et Bégin (2002)³¹ - <https://www.irsst.qc.ca/solub/>



- Solub : 1 à 2 nouvelles par mois et possibilité de s'abonner

5. Discussion et conclusion (suite)

- Les solvants peuvent être classés différemment selon la réglementation en vigueur
 - Celle de l'Union européenne a pour conséquence de considérer un plus grand nombre de solvants classiques comme des COV, comparativement à la réglementation en vigueur au Canada et aux États-Unis
 - Peu d'éléments réglementaires favorisent l'utilisation de solvants verts au Québec contrairement à des règlements que l'on retrouve dans d'autres juridictions

5. Discussion et conclusion (suite)

Actions de prévention:

- **Primordiale** : actions qui visent la modification et l'élimination des facteurs de risques à une échelle globale (ex: interdiction de produits chimiques)
- **Primaire** : actions qui visent à éviter l'apparition de la maladie dans un milieu de travail (ex : surveillance des concentrations d'un produit chimique dans l'environnement)
- **Secondaire** : actions de contrôle, de dépistage à des stades précoces de la maladies (ex : surveillance d'indicateurs d'effets)
- **Tertiaire** : actions de détection de maladie, réduction de la gravité des maladies (ex : radiographie des poumons pour identifier une silicose)

5. Discussion et conclusion (suite)

- Ce projet permet de mettre en évidence 3 modifications réglementaires à envisager (prévention primordiale)
 - Modifier le règlement canadien qui exclut actuellement le DCM comme COV (alors qu'il est un COV par définition)
 - Modifier le RSST pour abaisser la norme de 50 ppm (forcerait les milieux de travail à faire de la substitution plutôt que d'utiliser un APR autonome)
 - Interdire les décapants contenant du DCM

6. Appel au milieu

- Rapport à déposer à la mi-juin
- Envoi de FDS d'ici le 1^{er} juin serait apprécié pour compléter notre base de données avec exemples concrets des milieux de travail québécois
- Envoyer par courriel à caroline.couture.5@umontreal.ca

7. Références

1-Anastas, P. T. (2002). Green Chemistry as Applied to Solvents. Dans M. A. Abraham et L. Moens (Édit.), Clean Solvents - Alternative Media for Chemical Reactions and Processing (p. 1-9). Washington, DC: American Chemical Society (ACS Symposium Series 819). Bégin, D. et Gérin, M. (2001). Substitution de solvants - Étude de cas d'implantation. Montréal, Qc: Tiré de <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-269.pdf?v=2019-01-09>

2-Bégin, D., Couture, C., Gérin, M. et Debia, M.. Solvants verts : fondements, santé, sécurité, environnement et substitution, Rapport R-1089. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail 2020, <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-1089.pdf>

3-Clark, J. H., Farmer, T. J., Hunt, A. J. et Sherwook, J. (2015). Opportunities for Bio-Based Solvents Created as Petrochemical and Fuel Products Transition towards Renewable Resources. International Journal of Molecular Sciences, 16(8), 17101-17159. Tiré de <http://www.mdpi.com/1422-0067/16/8/17101/htm>

4-Vézina, M., Cloutier, E., Stock, S., Lippel, K., Fortin, É., Delisle, A., . . . Prud'homme, P. (2011). Enquête québécoise sur des conditions de travail, d'emploi et de santé et de sécurité du travail (EQCOTESST): Rapport R-691. Québec et Montréal: Tiré de <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-691.pdf>

5-Gouvernement du Québec. (2023). Loi sur la santé et la sécurité du travail. Lois et Règlements du Québec, chapitre S-2.1. Éditeur officiel du Québec.

6-Gouvernement du Québec. (2017). Règlement sur la santé et la sécurité du travail. Québec. <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cr/S-2.1,%20r.%2013>: Lois et Règlements du Québec, chapitre S-2.1, r. 13. Éditeur officiel du Québec.

7-Gouvernement du Canada, Règlement canadien sur la santé et la sécurité au travail, DORS/86-304. Ministère de la Justice. 2023, <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/dors-86-304/>

8-Gouvernement du Canada. (2023). Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) (vol. ch 33).

9-Gouvernement du Québec. (2023). Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère. Q-2, r. 4.1. Éditeur officiel du Québec.

10-ICH. (2021). ICH Harmonised Guideline. Impurities: Guideline for Residual Solvents Q3C(R8). International Council for Harmonisation of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use.

7. Références (suite)

11-Gouvernement du Canada. (2022c). Liste des solvants de support ou d'extraction autorisés (Listes des additifs alimentaires autorisés).

12-Parlement européen et Conseil de l'Union européenne. (2006). Règlement (CE) no 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques, modifiant la directive 1999/45/CE et abrogeant le règlement (CEE) no 793/93 du Conseil et le règlement (CE) no 1488/94 de la Commission ainsi que la directive 76/769/CEE du Conseil et les directives 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE et 2000/21/CE de la Commission.

13-Parlement européen et Conseil de l'Union européenne. (2010). Règlement (UE) n° 276/2010 de la Commission modifiant le règlement REACH.

14-U.S. EPA (2024). Biden-Harris Administration Finalizes Ban on Most Uses of Methylene Chloride, Protecting Workers and Communities from Fatal Exposure. <https://www.epa.gov/newsreleases/biden-harris-administration-finalizes-ban-most-uses-methylene-chloride-protecting>

15-Gouvernement du Canada. (2003). Avis obligeant l'élaboration et l'exécution de plans de prévention de la pollution à l'égard du dichlorométhane. Gazette du Canada, Partie I, 137(48), 3718-3756. <http://gazette.gc.ca/rp-pr/p1/2003/2003-11-29/pdf/g1-13748.pdf>

16-Labelle, P.-L. et Cyrenne, P. (2016). Accident mortel survenu à un travailleur le 30 juin 2016 sur un chantier situé au 100, rue de Gaspé à Montréal, arrondissement Verdun. Montréal: Rapport d'enquête no RAP1153274, dossier d'intervention no 4239382. Direction régionale de Montréal-1, Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail.

17-IARC. (2014). Trichloroethylene, Tetrachloroethylene, and some other Chlorinated Agents. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 106. Lyon: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer. Tiré de <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol106/index.php>

18-Bruckner, J. V., Anand, S. S. et Warren, D. A. (2019). Toxic Effects of Solvents and Vapors. Dans C.D. Klaassen (Édit.), Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons (9e éd.). New York, NY: McGraw-Hill Éducation.

19-CAREX Canada. (2020). Dichloromethane Occupational Exposures. CAREX Canada, Faculty of Health Sciences, Simon Fraser University, Harbour Centre Campus.

20-CAREX Canada. (2020). Dichloromethane Occupational Exposures. CAREX Canada, Faculty of Health Sciences, Simon Fraser University, Harbour Centre Campus.

7. Références (suite)

- 21-Occupational Safety and Health Administration. (2013). Substance safety data sheet and technical guidelines for methylene chloride.
- 22-Benbrahim-Tallaa, L., Lauby-Secretan, B., Loomis, D., Guyton, K. Z., Grosse, Y., El Ghissassi, F., . . . Straif, K. (2014). Carcinogenicity of perfluorooctanoic acid, tetrafluoroethylene, dichloromethane, 1,2-dichloropropane, and 1,3-propane sultone. *The Lancet Oncology*, 15(9), 924-925. <http://www.thelancet.com/journals/lanonc/article/PIIS1470-2045%2814%2970316-X/fulltext>.
- 23-Debia, M., Bégin, D. et Gérin, M. (2009). Comparative evaluation of overexposure potential indices used in solvent substitution. *Annals of Occupational Hygiene*, 53(4), 391-401.
- 24-Jig-A-Loo. (2018). Safety Data Sheet: 400 G JIG1603 JIG-A-LOO LB 12PK. Product # 1000020094, Version # 01. Jig-A-Loo Inc.
- 25-Jig-A-Loo inc. (2020). Safety Data Sheet: JIG-A-LOO INVISIBLE ALL-AROUND LUBRICANT-JIG1601. Product #RE1000020094.
- 26-Safety Data Sheet Brake and electrical contact kleen, Product code: 325 K.-F. T. I. Limited. Publisher: Kleen-Flo Tumbler Ind Limited 2020. <https://www.kleenflo.com/msds/325.pdf>
- 27-Les Entreprises Kleen-Flo Tumbler Limitée. (2017). Fiche signalétique Super peinture aerosol aluminium Code de produit: 4009. Les Entreprises Kleen-Flo Tumbler Limitée.
- 28-Les Entreprises Kleen-Flo Tumbler Limitée. (2017b). Fiche signalétique Traitement pour courroies Code de produit: 762. Les Entreprises Kleen-Flo Tumbler Limitée.
- 29-Henkel Canada Corporation. (2021b). Fiche de données de sécurité LOCTITE MR 5009 HI-TACK GASKET SEALANT known as Loctite® Hi-Tack Gasket Seal. Numéro de la révision : 007.0. IDH 234910. Item 30526. Henkel Canada Corporation.
- 30-Henkel Canada Corporation. (2023). Fiche de données de sécurité : Loctite MR 5009 Hi-Tack Gasket Sealant known as Loctite® Hi-Tack Gasket Seal. Numéro de la révision : 008.0. IDH 234910. Item 30526. Henkel Canada Corporation.
- 31-Gérin, M. et Bégin, D. (2002). Substitution: Démarches et outils. Dans M. Gérin (Édit.), *Solvants industriels - santé, sécurité, substitution* (p. 39-56). Paris: Masson.
- 32-Fournier, P., Gauvin, L. et Chambaud, L. (2023). Santé publique et santé environnementale. Dans *Environnement et santé publique: Fondements et pratiques* (p. 39-68).

Remerciements



Laboratoire d'hygiène industrielle et de métrologie des polluants (LHIMP)

Elham Ahmadpour, Charles Beaudry, Denis Bégin,
Daniel Drolet, Maximilien Debia, Édith Giasson, Jérôme
Lavoué, Ross Thuot, Isabelle Valois

Partenaires : Philippe Sarazin (IRSST)

Questions?

