

Substances chimiques et agents biologiques

Études et recherches

RAPPORT R-269



Substitution des solvants
Études de cas d'implantation

Denis Bégin
Michel Gérin



Université 
de Montréal



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

NOS RECHERCHES *travaillent pour vous !*

Mission

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

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

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

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

Pour en savoir plus

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

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST. Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2001
ISBN : 2-551-21333-9
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
mai 2001



Substances chimiques et agents biologiques

Études et recherches

■ RAPPORT R-269

Substitution des solvants Études de cas d'implantation

Avis de non-responsabilité

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

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

Denis Bégin et Michel Gérin,

*Département de santé environnementale et santé au travail,
Université de Montréal*

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

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.

Sommaire

Introduction

Les solvants sont parmi les substances dangereuses les plus utilisées en milieu de travail. La substitution permet d’éliminer un solvant toxique ou inflammable en le remplaçant par un produit moins dangereux ou en changeant de procédé. Pour implanter la substitution en entreprise il faut également tenir compte des dimensions environnementales, de coût et de faisabilité technique ainsi que des facteurs humains et organisationnels. Le présent travail visait à étudier la démarche d’implantation de la substitution par des études de cas concrets dans des entreprises québécoises.

Méthode

Une démarche en neuf étapes inspirée de travaux précédents a été appliquée aux activités suivantes correspondant à sept entreprises : 1) nettoyage de taches dans la fabrication de textiles, 2) lavage de plancher dans la fabrication de peintures, 3) nettoyage de taches dans la fabrication de vêtements, 4) collage de mousse de polyuréthane dans la fabrication de ce type de mousse, 5) nettoyage de cuves dans la fabrication de peintures, 6) nettoyage des masques de brasage dans la fabrication de circuits imprimés, et 7) collage de divers éléments de finition dans la fabrication de bateaux de plaisance. Dans chaque entreprise, après identification du problème, un comité de substitution a été mis en place pour réaliser la démarche : collecte des informations détaillées, proposition d’options de rechange, évaluation des conséquences de chaque option, leur comparaison, essais sur le terrain et choix, implantation elle-même et évaluation.

Résultats

Il n’y a pas de solution recommandable de remplacement du trichloréthylène utilisé comme détachant dans les cas 1 et 3. D’autres solvants impliquant le 1-bromopropane ou un hydrochlorofluorocarbure bien que techniquement acceptables n’ont pas été retenus à cause de leur impact potentiel sur la santé ou l’environnement. La ventilation et l’élimination des taches à la source demeurent les avenues de prévention de choix.

Dans les cas 4 et 7 l’adhésif au dichlorométhane est substituable par un adhésif aqueux à base de polychloroprène, du type à un composant, et répondant à toutes les exigences.

Dans les entreprises de peinture (cas 2 et 5), utilisant présentement des solvants volatils, dont la méthyléthylcétone, une batterie d’essais en laboratoire a permis d’identifier des mélanges commerciaux prometteurs, comprenant des produits peu volatils et à bon pouvoir solvant notamment des hydrocarbures aromatiques lourds, des esters d’acides dicarboxyliques, du diméthylsulfoxyde, certains éthers de glycol et de la N-méthyl-2-pyrrolidone. La résolution complète de ces deux cas demandera des essais additionnels ainsi que l’acceptation par les entreprises d’avoir à modifier certaines méthodes de travail.

Dans le cas No 6 les divers essais ont permis la sélection d’un mélange d’un éther de glycol et d’hydrocarbures aromatiques lourds acceptable selon la majorité des critères, en remplacement des solvants volatils présentement utilisés. L’implantation ne sera effectuée cependant que suite à une analyse de coûts.

Discussion

Cette étude a permis d'aborder en détail la problématique d'exposition aux solvants dans sept entreprises québécoises et d'en arriver à des recommandations visant à protéger la santé des travailleurs, notamment par la substitution des solvants dans la majorité des cas. L'implication de la haute direction des entreprises et la pression exercée par les autorités publiques apparaissent critiques au succès de la démarche comme c'est souvent le cas en santé et sécurité du travail. L'étude a également permis de confirmer l'importance d'une utilisation approfondie des sources d'information, notamment celles disponibles dans Internet (p. ex. les groupes de discussion spécialisés), que ce soit pour la recherche des options possibles ou pour l'étude de leurs conséquences. Il n'en demeure pas moins que l'information sur certains solvants reste fragmentaire, notamment ceux récemment introduits ainsi que les mélanges complexes et variables d'hydrocarbures. La collaboration avec les formulateurs de solvants s'est avérée importante dans certains cas pour faire progresser le dossier. De plus il est apparu indispensable, lorsqu'il y a multiplicité d'options, de procéder à la réduction de leur nombre par des tests de laboratoire à petite échelle, avant l'étude approfondie de l'ensemble des conséquences.

Conclusion et recommandations

En plus d'une intervention dans sept entreprises québécoises résultant en des recommandations de prévention, ce travail a permis d'approfondir la démarche d'implantation de la substitution. Globalement il s'est révélé que la démarche initiale devait être légèrement modifiée. Ainsi il s'est avéré préférable d'effectuer d'abord des tests d'efficacité des produits de remplacement avant d'en évaluer les conséquences. De plus l'inspecteur de la CSST devrait être invité à participer au comité de substitution. Les neuf étapes recommandées sont maintenant les suivantes : 1) identification du problème (premiers contacts, visite de reconnaissance, motifs de substitution), 2) formation du comité de substitution (lettre d'entente, accord des diverses parties, appui de la haute direction), 3) étude du problème et définition des critères de sélection (visite détaillée, description des procédés, de l'exposition, des critères techniques et de santé, sécurité, environnement et coûts à respecter), 4) proposition d'options de rechange (remue-ménages, diverses sources d'information, tri préliminaire a priori sur la base des divers critères), 5) essais à petite échelle (laboratoire ou milieu de travail, réduction du nombre d'options), 6) évaluation des conséquences des options retenues (recherche des impacts potentiels sur la santé, la sécurité, l'environnement, les coûts, les méthodes de travail), 7) comparaison des options et choix (tableau synthèse, utilisation des critères), 8) implantation, et 9) évaluation.

De plus il est recommandé d'appuyer l'action des intervenants par une meilleure formation Internet, la production d'un inventaire des fournisseurs locaux de solvants de remplacement, un meilleur contact avec ces fournisseurs et la nomination d'un coordonnateur provincial sur la substitution. D'autre part il serait souhaitable que la recherche se poursuive dans ce domaine notamment par l'évaluation et le développement d'outils informatiques pour la formulation de mélanges de solvants répondant aux critères souhaitables de santé, de sécurité, d'environnement et de qualité technique.

Le comité consultatif

À l’instar de la recherche ayant mené au premier rapport sur la substitution des solvants en 1995 (91), un comité consultatif a été formé afin de suivre les progrès réalisés par l’équipe de l’Université de Montréal dans la résolution des cas de substitution et de faire des suggestions pour en améliorer son efficacité. Le comité consultatif s’est réuni à six occasions. Il était formé des personnes suivantes :

Denis Bégin, agent de recherche, Université de Montréal, Département de santé environnementale et santé au travail (SEST) (coordonnateur de l’étude)

Guy Comtois, hygiéniste industriel, Centre local de services communautaires Lac-Saint-Louis

France Desjardins, conseillère technique, Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, Secteur fabrication de produits en métal et de produits électriques (ASPME)

Paul Dubé, hygiéniste industriel, ASPME

Diane Dubois, conseillère en hygiène du travail, Hydro-Québec

Michel Gagné, chimiste, Répertoire toxicologique, Commission de la santé et de la sécurité du travail

Waguih Geadah, ingénieur / coordonnateur, Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, Secteur fabrication d’équipement de transport et de machines (ASFETM)

Michel Gérin, professeur titulaire, Université de Montréal, SEST (directeur de l’étude)

Michèle Lalonde, hygiéniste industrielle, Préventex - Association paritaire du textile

Martin Lecours, ingénieur, Ministère de l’Environnement du Québec

Christian Millet, directeur, Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, Secteur habillement (ASP-Habillement)

Claude Ostiguy, directeur du programme hygiène et toxicologie, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (président du comité consultatif)

Paule Pelletier, hygiéniste industrielle, ASFETM

Liette Sauvage, conseillère / hygiéniste industrielle, ASP-Habillement

Remerciements

Nous désirons remercier les diverses personnes et organismes qui nous ont aidés directement ou indirectement dans la réalisation de cette étude :

L’institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail qui a financé cette recherche, notamment M. Claude Ostiguy, directeur du programme hygiène et toxicologie, qui a présidé le comité consultatif.

Les membres du comité consultatif nommés ci-dessus.

Les diverses entreprises, organismes, associations, équipes de santé au travail du réseau public et leurs représentants qui ont participé aux études de cas et dont les noms apparaissent dans les annexes II à VIII.

Table des matières

Sommaire	i
Le comité consultatif	iii
Remerciements	iii
Table des matières	iv
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	viii
Liste des sigles et acronymes	ix
1.0 Introduction	1
1.1 Origine et contexte de l'étude	1
2.0 Problématique et état des connaissances sur la substitution des solvants	1
2.1 Définition de la substitution	1
2.2 Les connaissances acquises dans les secteurs prioritaires	1
2.3 L'analyse de substitution	2
2.4 Ressources informatiques sur la substitution	4
2.5 L'implantation de la substitution	5
3.0 Objectif de l'étude	5
4.0 Méthodologie	5
4.1 Approche générale	5
4.2 Les cas étudiés	6
4.3 Description des étapes	6
4.3.1 Identification du problème	6
4.3.2 Rédaction d'un plan d'action	7
4.3.3 Collecte des informations sur le procédé	7
4.3.4 Proposition d'options de rechange	7
4.3.5 Évaluation des conséquences de chaque option	8
4.3.6 Comparaison des options	8
4.3.7 Essais sur le terrain et choix	8
4.3.8 Implantation	9
4.3.9 Évaluation	9
5.0 Résultats	9
5.1 Résultats globaux	9
5.2 Résultats pour chacune des neuf étapes	12
5.2.1 Identification du problème	12
5.2.2 Rédaction d'un plan d'action	12
5.2.3 Collecte des informations sur le procédé	12
5.2.4 Proposition d'options de rechange	12
5.2.5 Évaluation des conséquences de chaque option	14
5.2.6 Comparaison des options	15
5.2.7 Essais sur le terrain et choix	17
5.2.8 Implantation	17
5.2.9 Évaluation	17
6.0 Discussion	17
6.1 Importance d'une bonne démarche de substitution	17
6.2 Discussion des étapes	18
6.2.1 Première étape : identification du problème	18

6.2.2 Deuxième étape : rédaction d’un plan d’action.....	18
6.2.3 Troisième étape : collecte des informations sur le procédé	19
6.2.4 Quatrième étape : proposition d’options de rechange.....	19
6.2.5 Cinquième étape : évaluation des conséquences de chaque option	21
6.2.6 Sixième étape : comparaison des options.....	23
6.2.7 Septième étape : essais sur le terrain et choix	23
6.2.8 Huitième étape : implantation	23
6.2.9 Neuvième étape : évaluation	23
6.3 Évaluation globale de la démarche.....	24
6.4 Aspect environnemental.....	25
6.5 Coûts.....	25
6.6 Divers	26
7.0 Conclusion.....	26
8.0 Recommandations	27
9.0 Axes potentiels de recherche.....	28
Bibliographie.....	29
Annexe I : Fiche de collecte des informations	41
Annexe II : Cleyn & Tinker	43
Annexe III : Sico	63
Annexe IV : Fabricant de pantalons.....	79
Annexe V : Domfoam International.....	87
Annexe VI : Les revêtements Polyval - Robar.....	110
Annexe VII : Fabricant de circuits imprimés	131
Annexe VIII : Doral International.....	147
Annexe IX : Explication détaillée de la démarche corrigée de substitution des solvants.....	161
Annexe X : Sources d'information pour réaliser une substitution de solvant	164

Liste des tableaux

Tableau I.....	6
Entreprises participantes	
Tableau II.....	11
Résumé des sept cas de substitution de solvant	
Tableau III.....	16
Facteurs considérés pour la substitution des solvants dans les sept entreprises étudiées	
Tableau IV.....	26
Démarche corrigée de substitution des solvants	
Tableau V.....	44
Chronologie des principaux événements de la recherche d'une option de rechange chez Cleyn & Tinker	
Tableau VI.....	52
Liste des options préliminaires pour remplacer le trichloréthylène	
Tableau VII.....	56
Composition des solvants à base de HCFC-141b	
Tableau VIII.....	59
Comparaison des options de rechange (C & T)	
Tableau IX.....	60
Résultats de l'échantillonnage des solvants dans la zone respiratoire des contrôleurs	
Tableau X.....	64
Chronologie des principaux événements de la recherche d'une solution de rechange chez Sico	
Tableau XI.....	66
Composition du solvant recyclé Thinrec-Sico (97/07/11)	
Tableau XII.....	67
Niveaux d'exposition des travailleurs de Sico lors du lavage de plancher le 2 avril 1998	
Tableau XIII.....	70
Solvants commerciaux potentiellement substitutifs (Sico)	
Tableau XIV.....	73
Solvants supplémentaires potentiellement substitutifs, testés directement sur le plancher	
Tableau XV.....	75
Niveaux d'exposition des mélangeurs de peinture qui lavent le plancher au Deanco 792 (00/03/14) ou au Thinrec-Sico (00/03/15)	
Tableau XVI.....	78
Comparaison Thinrec-Sico et Deanco 792	
Tableau XVII.....	80
Chronologie des principaux événements de la recherche d'une option de rechange chez FP	
Tableau XVIII.....	83
Résultats des essais du VOL comme détachant sur 3 tissus	
Tableau XIX.....	88
Chronologie des principaux événements de la recherche d'une solution de rechange chez Domfoam	
Tableau XX.....	94
Liste des options préliminaires pour remplacer l'adhésif à base de DCM chez Domfoam	

Tableau XXI.....	100
Valeurs limites réglementaires québécoises et recommandations de l’ACGIH pour les quatre solvants contenus dans l’adhésif A-8408 de Zytek	
Tableau XXII.....	106
Comparaison des options de rechange (Domfoam)	
Tableau XXIII.....	111
Chronologie des principaux événements de la recherche d’une solution de rechange chez Polyval	
Tableau XXIV.....	114
Composition de deux lots de Thinrec-00V	
Tableau XXV.....	116
Niveaux d’exposition moyens des nettoyeurs de matériel aux solvants constituant le Thinrec-00V	
Tableau XXVI.....	119
Solvants commerciaux potentiellement substitutifs (Polyval)	
Tableau XXVII.....	128
Comparaison des solvants de substitution potentiels	
Tableau XXVIII.....	132
Chronologie des principaux événements de la recherche d’une solution de rechange chez FCI	
Tableau XXIX.....	137
Échantillonnage du 16 mars 1999 - Service du LPISM chez FCI	
Tableau XXX.....	138
Échantillonnage de l’opérateur SMT-200, le 19 mai 1999 - Service du LPISM chez FCI	
Tableau XXXI.....	141
Solvants commerciaux potentiellement substitutifs (FCI)	
Tableau XXXII.....	143
Essais de nettoyage de masque aux solvants avec la machine DP-10	
Tableau XXXIII.....	145
Comparaison Vanblend 918-8 et Deanco 956	
Tableau XXXIV.....	148
Chronologie des principaux événements de la recherche d’une solution de rechange chez Doral	
Tableau XXXV.....	151
Niveaux d’exposition des travailleurs au DCM lors de l’utilisation de l’adhésif Adbond 8706-1	
Tableau XXXVI.....	156
Liste des principales options préliminaires pour remplacer l’adhésif à base de DCM chez Doral	

Liste des figures

Figure 1	47
Plan de l'usine n ^o 6 de Cleyn & Tinker	
Figure 2:	113
Schéma du procédé de fabrication des revêtements	
Figure 3	115
Plan du local de nettoyage des cuves et accessoires chez Polyval (novembre1998)	
Figure 4	136
Plan du local de travail au LPISM chez FCI	
Figure 5	160
Plan de l'usine de Doral	

Liste des sigles et acronymes

1-BP : 1-bromopropane
ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists
AIHA : American Industrial Hygiene Association
AIHAIH-List : American Industrial Hygiene Association Industrial Hygiene List
ANSI : American National Standards Institute
ASFETM : Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, Secteur fabrication d'équipement de transport et de machines
ASP : Association sectorielle paritaire
ASP-H : Association sectorielle paritaire - Habillement
ASPME : Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, Secteur fabrication de produits en métal et de produits électriques
ASTM : American Society for Testing and Materials
BCF : Bioconcentration factor
C&T : Cleyn & Tinker
CAEQ : Classification des activités économiques du Québec
CAGE : Coating Alternatives Guide (maintenant nommé « Coatings Guide »)
CAS : Chemical Abstracts Service
CCDP : Classification canadienne descriptive des professions
CCHST : Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail
CE₅₀ : Concentration effective cinquante
CIRC : Centre international de recherche sur le cancer
CL₅₀ : Concentration létale cinquante
CLSC : Centre local de services communautaires
CO₂ : Dioxyde de carbone
COV : Composé organique volatil
CRIQ : Centre de recherche industrielle du Québec
CSST : Commission de la santé et de la sécurité du travail
CUM : Communauté urbaine de Montréal
DBE : Dibasic Esters
DBO₅ : Demande biochimique en oxygène, 5 jours
DCM : Dichlorométhane
DCO : Demande chimique en oxygène
DMSO : Diméthylsulfoxyde
DT_hO : Demande théorique en oxygène
ECD : Electronic Controls Design, Inc.
EVA : Copolymère éthylène/acétate de vinyle
FCI : Fabricant de circuits imprimés
FP : Fabricant de pantalons
FTSS : Fiches techniques sur la sécurité des substances
GC-MS : Gas chromatography – Mass Spectrometry
H.A.S.L. : Hot Air Solder Levelling
H₂O : Eau
HCFC-141b : Hydrochlorofluorocarbure-141b ou 1,1-dichloro-1-fluoroéthane
HFAN : High Flash Aromatic Naphtha
HS-CANADA : Groupe de discussion par Internet Health and Safety Canada

HSDB : Hazardous Substances Data Base
HSELINE : Base de données bibliographiques Health and Safety Executive On Line
HTML : HyperText Markup Language
HVLP : High Volume Low Pressure
IPC : Institute of Interconnecting and Packaging Electronic Circuits
IRSST : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail
IRTA : Institute for Research and Technical Assistance
ISO : International Organization for Standardization
ISST : Information en santé et sécurité du travail (base de données bibliographiques de la CSST)
 K_b : Indice Kauri-butanol
LCPE : Loi canadienne sur la protection de l'environnement
LD : Limite de détection
 LD_0 : Lethal Dose Zero
LOAEL : Lowest Observed Adverse Effect Level
LPISM : Liquid Photo-Imageable Solder Mask
MDI : Diisocyanate-4,4' de diphénylméthane
MEK : Méthyléthylcétone
MENV : Ministère de l'environnement du Québec
MSDS : Material Safety Data Sheet
NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health
NIOSHTIC : National Institute for Occupational Safety and Health Technical Information Center
NMP : N-Méthyl-2-pyrrolidone
NPE : New Premium Everblum
OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques
OEM-L : Groupe de discussion par Internet Occupational and Environmental Medicine List
OSHA : Occupational Safety and Health Administration
OSH-ROM : Occupational Safety and Health Read Only Memory (base de données bib.)
P2-TECH : Groupe de discussion par Internet Pollution Prevention Technology
P2-Tex : Groupe de discussion par Internet Pollution Prevention - Textile
PARIS : Program for Assisting the Replacement of Industrial Solvents
PATME : Pointe-aux-Trembles Montréal-Est
PDO : Potentiel de déplétion de la couche d'ozone stratosphérique
PFO : Potentiel de formation d'ozone urbain
pH : Potentiel d'hydrogène
PSA : Pressure sensitive adhesive
R.&D. : Recherche et développement
RMD : Règlement sur les matières dangereuses
RPC : Règlement sur les produits contrôlés
RQA : Règlement sur la qualité de l'atmosphère
RQMT : Règlement sur la qualité du milieu de travail
RTECS : Registry of Toxic Effects of Chemical Substances
SACO : Substance appauvrissant la couche d'ozone
SAFETY : Groupe de discussion par Internet SAFETY
SAGE : Solvent Alternatives Guide
SBS : Copolymères styrène-butadiène-styrène
SCIAN : Système de classification des industries de l'Amérique du Nord
SEST : Département de santé environnementale et santé au travail, Université de Montréal

SIMDUT : Système d’information sur les matières dangereuses utilisées au travail
SIS : Copolymère styrène-isoprène-styrène
SNAP : Significant New Alternatives Policy (USEPA)
SNC : Système nerveux central
SOLVDB : Base de données factuelles SOLVDB
SST : Santé et sécurité du travail
SUBTEC : Substitution Technique; logiciel d’aide à la substitution des substances toxiques
TCA : 1,1,1-Trichloroéthane
TCE : Trichloréthylène
TDI : Diisocyanate de toluène
TLV-STEL : Threshold Limit Value/ Short-Term Exposure Level
TLV-TWA : Threshold Limit Value/Time-Weighted Average
TMB : 1,2,4-triméthylbenzène
TURI : Toxics Use Reduction Institute
UdeM : Université de Montréal
USEPA : United States Environmental Protection Agency
VEMP : Valeur d’exposition moyenne pondérée
VHR : Vapor Hazard Ratio
VLE : Valeur limite d’exposition
VM&P : Vanish Makers’ and Painters’ Naphtha
VOL : VOL Volatile Spotter
W3 : World Wide Web
WEEL : Workplace Environmental Exposure Level

1.0 Introduction

1.1 Origine et contexte de l’étude

Des hygiénistes industriels œuvrant dans de grandes entreprises de la région de Montréal ont contacté les auteurs de ce rapport en 1992 pour solliciter leur aide concernant le remplacement des solvants, notamment ceux bannis en vertu du Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d’ozone stratosphérique. Sous octroi de subvention de l’Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST), un bilan de connaissance sur la question de la substitution des solvants en milieu de travail a été effectué en 1993 et 1994. Le rapport de cette étude a été publié en 1995 (91). Cette recherche constituait la phase I d’un programme de recherche en substitution des solvants. Le présent rapport constitue la phase II du programme visant à étudier l’implantation de la substitution des solvants par des études de cas dans les milieux de travail québécois. Le programme comprend également la publication d’une série de monographies concernant des solvants substitutifs dont certaines ont été publiées récemment (31; 32; 33).

2.0 Problématique et état des connaissances sur la substitution des solvants

Cette section fait le point sur la substitution des solvants en milieu de travail.

2.1 Définition de la substitution

La définition de la substitution adoptée par les auteurs de ce rapport repose sur la notion d’élimination à la source. Elle s’énonce ainsi : la substitution est une méthode de prévention consistant à éliminer l’utilisation d’une substance dangereuse par son remplacement avec une substance moins dangereuse ou par un changement de procédé. Cette définition est englobante dans le sens où l’on ne limite pas la substitution au seul remplacement d’une substance par une autre. Elle implique que soient également prise en considération la possibilité de changements au niveau des méthodes de production rendant inutile l’utilisation de solvants.

2.2 Les connaissances acquises dans les secteurs prioritaires

Suite à une enquête dans le milieu de travail québécois, les secteurs prioritaires suivants ont été identifiés pour cibler les recherches en substitution des solvants : peinture, imprimerie, dégraissage et nettoyage métallique, électronique, décapage, adhésifs et polyesters stratifiés (styrène). Les grands axes de substitution identifiés sont présentés en détail dans le rapport de 1995 (91) et dans un article scientifique (92). Quelques grandes tendances se dessinent. L’eau et les produits aqueux prennent une importance considérable que ce soit pour le nettoyage et le dégraissage ou comme revêtements, adhésifs et même décapants. Le nettoyage, le dégraissage et le décapage font de plus en plus appel à l’action mécanique : projection, abrasion, ultrasons. Plusieurs produits d’origine naturelle ou dépendant de ressources renouvelables font ou refont leur apparition : huiles végétales et dérivés, terpènes, eau, glace, bioxyde de carbone. Finalement apparaissent également sur le marché et dans le milieu de travail un certain nombre de molécules auparavant peu utilisées comme solvants, comme le d-limonène et la N-méthyl-2-pyrrolidone. Certaines de ces nouvelles formulations sont introduites pour répondre à des besoins très ciblés,

comme par exemple les esters d'acide gras d'huiles végétales pour le nettoyage dans l'imprimerie offset. Du côté des techniques d'utilisation des solvants le principal changement réside dans la disparition progressive, en même temps que celle des solvants chlorés, des techniques de dégraissage en phase vapeur. Dans leur revue de la littérature, Sherman et coll. rapportent essentiellement les mêmes tendances dans les secteurs du nettoyage et des revêtements industriels (180).

2.3 L'analyse de substitution

Les facteurs critiques que l'on doit considérer lorsque l'on veut procéder à une substitution sont : la faisabilité et l'efficacité technique, la santé et la sécurité du travail (SST), la protection de l'environnement, les facteurs économiques ainsi que les facteurs humains et organisationnels.

Ce sont des scandinaves qui ont été les premiers en 1987 à intégrer l'ensemble de ces facteurs dans une approche en sept étapes résumée ci-dessous et dérivée de l'expérience des services publics de santé au travail danois (88), d'un article plus théorique de Goldschmidt (95) et de synthèses effectuées par le Health and Safety Executive britannique (107; 170). Dans la *première étape*, il s'agit de formuler de façon très précise le problème à résoudre, nommément les raisons pour lesquelles l'on veut éliminer une substance particulière et pourquoi la substance que l'on veut éliminer est utilisée. Pour cela il faut d'abord rassembler l'information sur la substance ou le produit en termes de dangers et d'effets potentiels observés, puis analyser les besoins satisfaits par l'utilisation de la substance. Pour ce dernier point, il faut remonter le plus loin possible la filière des exigences. Par exemple il ne suffit pas de dire qu'un solvant donné est utilisé pour nettoyer une pièce en cours de production, il faut aussi se poser la question de l'utilité de la propreté de cette pièce dans le processus de production. L'analyse des besoins (le pourquoi) amène logiquement à identifier et élaborer une série d'options, c'est-à-dire de solutions permettant de répondre à ces besoins (le comment). Cette *deuxième étape* se lie logiquement à la première étape dans un aller-retour caractéristique des méthodes utilisées dans le domaine de la mise au point de produits (analyse fonctionnelle). C'est la phase des idées faisant appel à un remue-méninges et une remise en question approfondis. La série d'options, que ce soit des produits de remplacement ou des procédés de substitution, doit être la plus large possible. En plus des solutions suggérées par diverses sources documentaires ou autres, il est possible de faire appel à ce stade-ci à des outils permettant de proposer des options techniquement viables, par exemple des solvants ayant le pouvoir de solubilisation souhaité. Au cours de la *troisième étape* il s'agit d'évaluer les conséquences de l'implantation des différentes options, lesquelles sont ensuite comparées entre elles et avec la solution originale dans la *quatrième étape*. Ce qui importe à ce stade c'est de rassembler l'information la plus complète possible sur les propriétés pertinentes des substances et procédés possibles, en termes de santé et sécurité du travail, d'environnement, d'efficacité technique et de coûts sans oublier l'aspect réglementaire. Le choix potentiellement complexe d'une solution particulière (*étape cinq*) parmi une série d'options va dépendre de la qualité et du caractère exhaustif de cette information et des critères que l'on a pu choisir à l'avance pour classer par ordre d'importance les divers facteurs cités. L'implantation (*sixième étape*) peut être effectuée de façon progressive suite à des essais et projets-pilotes. L'implication des travailleurs est essentielle à la réussite de la substitution. L'évaluation, constituant la *dernière étape*, doit porter sur l'ensemble des facteurs cités au départ et assurer qu'une amélioration sensible a été obtenue pour les paramètres recherchés (santé au travail, environnement).

Sørensen et Styhr Petersen de l'Université Technique du Danemark proposent une méthode qu'ils présentent comme étant axée sur le procédé (184; 185; 186). La procédure implique d'abord d'établir, au niveau de la compagnie, une liste des substances et produits utilisés, y incluant les noms de commerce, les fournisseurs, l'étiquetage, la composition (obtenue auprès des fournisseurs), les précautions et dangers associés. Souvent l'établissement d'une telle liste permet déjà de « purger » un certain nombre de produits inutiles ou faisant double emploi. Il faut ensuite obtenir, sinon élaborer, des feuilles de données détaillées comprenant de l'information physico-chimique et sur les effets à court et long terme des substances et produits. Les procédés sont ensuite décrits après une étude approfondie au niveau de plusieurs compagnies et de la littérature, permettant de mettre en évidence les variantes et différentes solutions de rechange possibles. En plus des éléments techniques, les descriptions comprennent les dangers professionnels. Le risque à la santé des travailleurs est ensuite évalué. Il est jugé comme faible si les substances n'ont probablement pas d'effets à long terme, si les niveaux d'exposition sont inférieurs à la valeur limite d'exposition (VLE) et s'il n'y a pas d'indice de maladie chez les travailleurs. Si le risque n'est pas faible la substitution doit être envisagée, qu'elle soit au niveau du produit seulement, de l'équipement et du produit, ou du procédé au complet. D'après ses auteurs, cette procédure est particulièrement adaptée aux procédés complexes ou mal documentés en terme de santé et sécurité du travail, à cause de son aspect systématique.

Callahan et Green suggèrent une approche issue de leur expérience pratique d'aide aux entreprises manufacturières aux États-Unis visant l'élimination ou la réduction de l'utilisation des solvants dans le nettoyage des pièces métalliques et autres matériaux (40). La *première étape* consiste à bien définir le problème. Elle correspond plus ou moins à la première étape de Goldschmidt présentée plus haut. La *deuxième étape* consiste à écrire un plan dans lequel on fixe des objectifs de nature qualitative (p. ex. éliminer l'utilisation des substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO)) ou quantitative (p. ex. réduire de 10 % par année l'utilisation des solvants organiques). C'est également à cette étape qu'il faut obtenir l'engagement ferme de la haute direction de l'entreprise pour la substitution des solvants et constituer une équipe de travail comprenant des représentants de tous les secteurs de l'entreprise susceptibles d'être impliqués dans le projet. Callahan et Green recommandent d'utiliser une série de feuilles de route élaborées par le United States Environmental Protection Agency (USEPA) pour aider à la constitution du plan de travail (209). Ces documents auraient été utilisés par de nombreuses entreprises aux États-Unis pour évaluer les avenues de prévention de la pollution et notamment pour la substitution des solvants (40). La *troisième étape* consiste à recueillir l'information sur le procédé impliquant le solvant à remplacer : le design du procédé, l'information de nature environnementale (p. ex. l'inventaire des émissions), l'information sur les matières premières et la production (p. ex. composition des matières et matériaux utilisés, fiches signalétiques, horaires de travail). L'étape suivante (*quatrième*) consiste à proposer des options de remplacement qui ont une bonne chance de fonctionner. Les auteurs suggèrent notamment de faire appel à la littérature technique, aux agences gouvernementales spécialisées en prévention de la pollution aux États-Unis, aux vendeurs de matériel de nettoyage et dégraissage industriel ainsi qu'aux utilisateurs incluant les ingénieurs d'usine et les travailleurs eux-mêmes. La *cinquième étape* consiste à passer au crible les différentes solutions de rechange proposées en vue de choisir celles qui seront mises à l'essai. Cela peut se faire de trois façons : l'évaluation informelle applicable surtout dans les petites entreprises, le système dit « acceptation/refus » qui fonctionne à partir d'une liste de questions soumises aux membres de l'équipe de travail qui doivent y répondre par

un oui ou par un non, et enfin le système de pointage qui assigne des cotes aux différents critères classés par ordre d'importance (p. ex. efficacité technique, santé et sécurité, environnement). La *sixième étape* constitue celle où des tests seront effectués pour déterminer quelle sera la recommandation finale. La *septième étape* consiste à implanter la solution choisie alors que la *huitième* et dernière étape sera l'occasion d'évaluer l'efficacité et le bien-fondé de la solution mise en oeuvre.

De façon générale, l'approche de Callahan et Green semble plus opérationnelle que celles présentées précédemment. Par contre la notion de toxicité des solvants pour les travailleurs prend un peu plus d'importance chez les danois, probablement en raison du fait que leur approche (Filskov et Goldschmidt) est issue de l'expérience des équipes de santé au travail du réseau public alors que celle des étasuniens en est une d'ingénieur de procédé.

2.4 Ressources informatiques sur la substitution

Il existe plusieurs outils et sources d'information pour réaliser un projet de substitution en milieu de travail. Certains organismes gouvernementaux ont élaboré des banques de données dont certains cas se rapportent à la substitution de produits toxiques (p. ex. OHS Solutions¹). Des fabricants de solvants ont développé des logiciels, notamment BPSolve (36), pour aider leurs clients à élaborer des mélanges de solvants techniquement aussi performants que les solvants à remplacer pour des raisons environnementales. L'Institut danois de la santé au travail a développé le logiciel SUBTEC qui permet de comparer les mélanges de solvants entre eux pour des fins de substitution en tenant compte des valeurs limites d'exposition dans le milieu de travail et dans l'environnement (157). Les logiciels SAGE² et CAGE³, développés par le Research Triangle Institute (Research Triangle Park, NC), sont des outils pour aider l'utilisateur à trouver des substituts dans les domaines des solvants de nettoyage et des peintures (57; 147). Le logiciel PARIS⁴, développé par le USEPA, permet de proposer des mélanges de solvants qui tiennent compte des propriétés toxiques des produits de remplacement (196).

L'annexe 1 du rapport de 1995 sur la substitution des solvants contient un certain nombre de références à des ressources informatiques sur la substitution. Le réseau Internet est devenu une ressource incontournable pour les scientifiques et ingénieurs en général (195) et pour les spécialistes de la santé et la sécurité du travail en particulier (189). Le développement d'Internet étant fulgurant, de nouvelles ressources s'ajoutent sans cesse. À titre d'exemple, le USEPA possède maintenant un site Web⁵ consacré aux ressources concernées par la substitution des

¹ <http://www.nohsc.gov.au/work/natsol/ohssolutions.htm>

² Solvent Alternatives Guide : <http://clean.rti.org/>

³ Coating Alternatives Guide : <http://cage.rti.org/>

⁴ Program for Assisting the Replacement of Industrial Solvents : <http://www.tds-tds.com/parfact.htm>

⁵ <http://es.epa.gov/issds/>

solvants. Par ailleurs les groupes de discussion accessibles par Internet et spécialisés en hygiène industrielle se multiplient (189) de sorte qu'il devient de plus en plus facile de demander un avis à la « communauté » internationale des hygiénistes sur les différents problèmes pratiques liés à la substitution des solvants. Les ressources dans Internet sont donc de trois types: factuelles et bibliographiques; logiciels; discussion avec des experts ou collègues. Toute démarche d'implantation gagnera en crédibilité à faire appel à ce type de ressources.

2.5 L'implantation de la substitution

Le rapport de 1995 était essentiellement un bilan de connaissances portant sur les aspects fondamentaux et appliqués de la substitution (analyse de substitution, outils disponibles) ainsi que sur les diverses solutions proposées dans la littérature scientifique et technique internationale dans un certain nombre d'utilisations de solvants jugées prioritaires au Québec. L'implantation peut cependant s'avérer complexe dans la mesure où interviennent des considérations multiples telles que la faisabilité et l'efficacité technique, la SST, la protection de l'environnement, les coûts ainsi que les facteurs humains et organisationnels. Ces divers facteurs avaient été listés en détail dans le premier rapport (91). Cet aspect est repris par de nombreux intervenants québécois qui soulignent les besoins de formation ainsi que la nécessité d'élaborer des moyens d'intervention (169). Bien que le rapport de 1995 passe en revue les divers aspects de la substitution des solvants et présente un certain nombre d'outils d'information et d'aide à la décision, les intervenants éventuellement impliqués dans l'implantation de la substitution dans les milieux de travail n'ont pas de méthodologie détaillée de mise en œuvre, appuyée sur l'utilisation optimale des connaissances, méthodes et outils inventoriés dans le rapport de 1995 et ailleurs depuis cette date.

3.0 Objectif de l'étude

L'objectif de cette recherche était l'élaboration d'une méthodologie détaillée d'implantation de la substitution des solvants en milieu de travail qui puisse être utilisée par les hygiénistes industriels et autres intervenants spécialisés. De plus cette recherche visait plus spécifiquement à résoudre plusieurs cas concrets de substitution de solvant dans des entreprises québécoises.

4.0 Méthodologie

4.1 Approche générale

Nous avons élaboré à partir de la littérature une démarche préliminaire qui a été appliquées à des cas concrets de substitution des solvants en entreprise. La démarche utilisée était inspirée en grande partie de la revue de littérature effectuée dans le premier travail (91) et de l'expérience de Callahan et Green (40). Elle comprend les neuf étapes suivantes : 1) identification du problème, 2) rédaction d'un plan d'action, 3) collecte des informations sur le procédé, 4) proposition d'options de rechange, 5) évaluation des conséquences de chaque option, 6) comparaison des options, 7) essais sur le terrain et choix, 8) implantation, 9) évaluation (voir ci-dessous § 4.3). Cette démarche a été testée dans une variété de situations, pour permettre une certaine généralisation des conclusions. Les cas ont été choisis dans les secteurs prioritaires identifiés lors

du bilan de connaissance de 1995. Un outil de collecte des informations a été produit au début du projet de recherche (annexe I). La démarche a été raffinée et bonifiée au fur et à mesure de l’étude des divers cas, lesquels sont rapportés dans les annexes II à VIII. Une démarche corrigée est présentée en conclusion de ce travail (voir aussi les annexes IX et X). Les diverses sources d’information et outils ont été évalués au fur et à mesure de la résolution des cas dans les entreprises.

4.2 Les cas étudiés

La collaboration de quatre associations sectorielles paritaires de santé et de sécurité du travail (ASP) et de cinq équipes de santé au travail de Centres locaux de services communautaires (CLSC) a été acquise afin de fournir aux chercheurs sept cas de substitution à résoudre. Cela devait fournir aux chercheurs un nombre optimal de cas à résoudre en fonction des objectifs, de la méthodologie et de la durée du projet. Le choix des sept cas retenus a été validé par le Comité consultatif où l’ensemble des parties était représenté. Chaque étude de cas s’est ainsi déroulée dans une entreprise différente. Le tableau I présente la liste des sept entreprises participantes accompagnée de la date du début des travaux et des organismes publics ayant collaboré aux travaux.

Tableau I
Entreprises participantes

Entreprise (nature des activités)	Date de la 1 ^{ère} visite	ASP/CLSC impliqué(es)
Cleyn & Tinker (textile)	8 juillet 1997	Préventex (ASP textile)
Sico (peinture)	12 février 1998	CLSC des Seigneuries
Fabricant de pantalons	16 avril 1998	ASP Habillement
Domfoam (mousse)	28 avril 1998	CLSC Pointe-aux-Tremble/Montréal-Est
Polyval (peinture)	27 août 1998	CLSC Jean-Olivier-Chénier
Fabricant de circuits imprimés (FCI)	6 octobre 1998	ASP fabrication de produits en métal et de produits électriques + CLSC Lac Saint-Louis
Doral (bateaux de plaisance)	15 octobre 1998	ASP Fabrication d’équipement de transport et de machines + CLSC du Centre-de-la-Mauricie

4.3 Description des étapes

4.3.1 Identification du problème

L’objectif de cette étape est d’établir les priorités des parties prenantes. Le premier contact avec l’entreprise permet de définir en termes généraux le problème à résoudre. Une personne responsable au sein de l’entreprise explique aux membres de l’équipe de l’Université de Montréal (UdeM) et au collaborateur de l’ASP ou du CLSC concerné la nature générale du problème de substitution. Les raisons pour lesquelles l’entreprise désire remplacer le(s) solvant(s) sont ainsi clairement présentées : santé, sécurité, environnement, réglementation, coûts, autres. Un membre de l’équipe de l’UdeM explique la démarche en neuf étapes et la suite des travaux. Une première

visite de reconnaissance des locaux de travail est effectuée afin de rencontrer les personnes intéressées comme les ingénieurs, contremaîtres et les travailleurs qui effectuent le travail impliquant le(s) solvant(s) à l’origine du problème à résoudre.

4.3.2 Rédaction d’un plan d’action

L’objectif de cette étape est d’assurer une assise solide au projet de substitution. Il s’agit de constituer un comité de substitution et d’élaborer un plan d’action. Le comité de substitution est composé au minimum d’un responsable technique de la compagnie, de l’hygiéniste de l’ASP ou du CLSC et d’une personne de l’équipe de l’UdeM. De plus l’équipe comprend diverses personnes appelées à s’impliquer de façon ponctuelle comme un représentant du service de l’assurance-qualité, une personne du service des achats ou un spécialiste du service des finances de l’entreprise. Les objectifs du projet de substitution y sont clairement présentés. L’obtention de l’appui ferme de la direction de l’entreprise pour la réalisation du projet de substitution est essentielle.

4.3.3 Collecte des informations sur le procédé

L’objectif de cette étape est de formuler de façon précise le problème à résoudre. Les informations suivantes peuvent être demandées par le comité de substitution : plan de l’usine, diagrammes du procédé de fabrication et des étapes de travail, bilan de masse des matières premières et de l’énergie, cahier des charges, manuel des procédures, liste des équipements et de leurs spécifications, inventaires des matières premières et des produits finis. Les documents suivants sont également recherchés selon les cas : inventaire des émissions dans l’environnement, rapports d’audits environnementaux, rapports d’hygiène industrielle pertinents, composition des produits chimiques commerciaux utilisés, fiches signalétiques des produits utilisés, rapports dépersonnalisés de problèmes de santé au travail. Au niveau organisationnel, il faut s’enquérir des horaires de production et du nombre d’employés affectés aux travaux impliquant les solvants étudiés. Il est essentiel d’obtenir toutes les informations pertinentes pour bien comprendre le procédé et le rôle du solvant, p. ex. dans le cas du dégraissage, la nature de la salissure que le solvant doit enlever ainsi que celle du substrat sur lequel il est appliqué. Toutes ces informations sont rassemblées à l’aide de la fiche de collecte des informations (annexe I). Ces renseignements sont complétés de visites des lieux de travail et d’observations des employés effectuant le travail. Les travailleurs eux-mêmes sont questionnés sur l’accomplissement de leurs tâches car les utilisateurs sont souvent ceux qui connaissent le mieux les produits et procédés en cause et les problèmes qui y sont associés.

4.3.4 Proposition d’options de rechange

L’objectif de cette étape est de faire un inventaire aussi large que possible des solutions techniquement envisageables. À cet effet le rapport de 1995, première source d’information mais disponible uniquement sur support papier, a été transformé en format WinHelp⁶ et HTML⁷ afin de le rendre plus facile à consulter, particulièrement pour les intervenants des ASP et des CLSC. Pour la résolution des cas, de nombreuses personnes-ressources ont été mises à contribution,

⁶ L’aide en ligne du logiciel Windows de Microsoft

⁷ HyperText Markup Language = langage informatique dans lequel les pages Web sont écrites

notamment le personnel technique des entreprises en question, les travailleurs utilisant les solvants à remplacer, les compétiteurs, les membres d'associations industrielles et les spécialistes chez les fournisseurs de solvants. Des recherches documentaires ont été effectuées dans des bases de données bibliographiques et factuelles, générales et spécialisées. Des recherches dans Internet sur des sites Web spécialisés en SST et en prévention de la pollution ont aussi été menées. Des groupes de discussion par Internet dans les mêmes domaines ont également été mis à contribution. Les logiciels SAGE et CAGE ont aussi été compulsés pour trouver des pistes de solution. Le logiciel SUBTEC (157) n'a cependant pas été évalué parce que l'Institut danois de la santé au travail a finalement décidé de ne pas le mettre sur le marché de l'Amérique du Nord (Courriel de Erik Olsen à D. Bégin, 98/11/30). Le logiciel PARIS n'a pas été utilisé parce qu'il n'était pas disponible sur le marché au moment des études de cas. Les annexes II à VIII donnent le détail des diverses sources d'information utilisées dans la résolution de chaque cas de substitution.

4.3.5 Évaluation des conséquences de chaque option

L'objectif de cette étape est de documenter les impacts potentiels des diverses solutions. Les options retenues sont évaluées quant à leurs conséquences sur les divers facteurs suivants : SST, environnement, qualité technique, coûts, méthode de travail, formation des employés. Une recherche dans les bases de données bibliographiques et les banques de données factuelles est effectuée pour chacune des solutions envisagées dans chaque cas. Par ailleurs, les fiches signalétiques et techniques et autre documentation sont obtenues des fournisseurs des solvants et autres produits substitutifs. L'expérience collective d'hygiénistes industriels étrangers est mise à contribution par l'intermédiaire des groupes de discussions spécialisés en SST dans Internet pour s'enquérir des problèmes potentiels avec les « nouveaux » solvants ou procédés. Des visites peuvent être organisées dans des entreprises où le solvant ou le procédé a déjà été mis en œuvre avec succès. Les fournisseurs de solvants peuvent servir de personnes-ressources pour établir ces contacts. Il peut aussi être nécessaire de communiquer avec les clients de l'entreprise afin de discuter de leurs exigences quant au produit fini.

4.3.6 Comparaison des options

L'objectif de cette étape est de comparer les diverses solutions entre elles et avec la situation originale en fonction de critères définis et choisir une ou quelques solutions qui feront l'objet de tests. Les critères de comparaison sont principalement de natures sanitaire et technique sans toutefois négliger les aspects environnementaux, pécuniaires, organisationnels et de formation. Ces critères sont nécessairement différents d'un cas à l'autre. L'information est synthétisée de façon à faire ressortir les principaux avantages et inconvénients, par exemple sous la forme de tableaux. Cet exercice conduit au choix d'une série réduite d'options de rechange qui seront ensuite testées dans l'étape suivante.

4.3.7 Essais sur le terrain et choix

L'objectif de cette étape est de s'assurer de l'acceptabilité des solutions et de faire un choix final. Il faut tester à petite échelle les performances techniques de la ou des solutions retenues, recueillir les commentaires des diverses parties (p. ex. service de l'assurance-qualité, travailleurs) et procéder à un choix final en fonction de l'ensemble des critères. Le choix ultime d'un solvant

substitutif ou d’un changement de procédé revient aux représentants de l’entreprise au sein du comité de substitution en consultation avec la direction. Il faut notamment évaluer le coût total du remplacement incluant la formation des employés et la période d’amortissement s’il faut acheter un nouvel équipement. Lors du choix, la responsabilité des autres membres du comité est principalement de nature sanitaire. Le choix final est discuté au comité de substitution afin que tous en saisissent la teneur pour l’étape suivante.

4.3.8 Implantation

L’objectif de cette étape est de mettre en œuvre la solution retenue. Cette étape, incluant la formation des travailleurs, est sous la responsabilité de l’entreprise. La collecte des commentaires techniques sur l’utilisation d’un nouveau produit ou technique et éventuellement des effets délétères observables d’un solvant substitutif doit être faites systématiquement par les contremaîtres.

4.3.9 Évaluation

L’objectif de cette dernière étape est de mesurer l’atteinte des objectifs de départ et d’apporter possiblement des correctifs. Un bilan des divers aspects reliés à la nouvelle procédure est rassemblé et comprend notamment la qualité technique, les résultats de mesurage de contaminants nouveaux et le bilan de masse des solvants, en comparaison avec la situation originale.

5.0 Résultats

Cette section présente les principaux résultats de cette recherche. La première partie expose les résultats globaux du travail accompli alors que la deuxième partie présente un sommaire des résultats pour chacune des neuf étapes de la démarche de substitution.

5.1 Résultats globaux

Les annexes II à VIII présentent en détails les résultats de l’application de la démarche en neuf étapes pour chacun des sept cas à résoudre. Ainsi l’annexe II présente le cas de Cleyn & Tinker, une usine de textile où l’on pulvérise du trichloréthylène (TCE) pour détacher les tissus. L’annexe III expose le cas de Sico, un fabricant de peintures industrielles où les travailleurs lavent aux solvants le plancher de l’usine. L’annexe IV explique le cas du fabricant de pantalons, où l’on pulvérise du TCE pour détacher les vêtements. L’annexe V présente le cas de Domfoam, un fabricant de mousse de polyuréthane où l’on utilise un adhésif contenant du dichlorométhane (DCM) pour l’assemblage de pièces de mousse. L’annexe VI expose le cas de Polyval, un fabricant de peintures industrielles où les travailleurs utilisent des solvants pour le lavage des cuves de mélange de peinture. L’annexe VII explique le cas du fabricant de circuits imprimés où l’on utilise des solvants pour le nettoyage de certaines machines et instruments qui servent à la fabrications des circuits. Enfin l’annexe VIII présente le cas de Doral, un fabricant de bateaux de plaisance où l’on utilise un adhésif contenant du DCM pour le collage de diverses pièces dans les embarcations.

Le tableau II présente un résumé de la problématique de l'ensemble de ces cas de substitution de solvants. Les cas se répartissent en trois grandes catégories : 1) le remplacement du TCE; 2) le remplacement d'adhésifs contenant du DCM et 3) le remplacement de mélanges aromatiques/méthyléthylcétone (MEK). Les entreprises exigeaient des solvants substitutifs ininflammables, possédant un taux d'évaporation et un pouvoir solvant⁸ élevés ainsi que des adhésifs substitutifs à séchage rapide fonctionnant sur plusieurs substrats. Aucune solution acceptable n'a été identifiée pour la première catégorie. Les options envisagées étaient soit des solvants combustibles à évaporation trop lente ou d'autres hydrocarbures halogénés dont la toxicité humaine ou environnementale était inacceptable. Moyennant quelques changements de procédé, les adhésifs à base de solvants sont généralement remplaçables par de nouveaux adhésifs en phase aqueuse. Le remplacement des mélanges aromatiques/MEK pour le nettoyage des revêtements organiques (peintures et masques de soudure) est envisageable mais laborieux particulièrement pour les usines de fabrication de peintures industrielles, les méthodes de travail devant être modifiées considérablement. La démarche présentée au § 4.3 a permis de trouver des produits substitutifs acceptables dans cinq cas sur sept. Parmi ces derniers, seul le cas de Domfoam a franchi les neuf étapes. Le cas du fabricant de circuits imprimés est cependant pratiquement terminé alors que les cas de Sico, Polyval et Doral nécessitent encore des efforts plus ou moins importants pour les résoudre.

⁸ aptitude d'une substance (le solvant) à dissoudre un liant, une résine, un polymère (le soluté)

Tableau II
Résumé des sept cas de substitution de solvant

Raison sociale	Solvant problématique et utilisation	Exigences et contraintes	Options de rechange (non exhaustif)	Issue
Cleyn & Tinker	Trichloréthylène Détachage de tissu laineux	Solvant ininflammable (électricité statique) Séchage rapide	a) 1-bromopropane (1-BP) b) hydrocarbures c) HCFC 141b et autres solvants d) vapeur sèche	Aucune des options n'est acceptable pour des raisons toxicologiques, environnementales ou techniques; ventilation recommandée
Sico	Mélange (toluène + xylènes + MEK + ...) Lavage du plancher de l'usine	Séchage rapide Pas de résidu glissant Pouvoir solvant élevé (peintures et résines industrielles)	a) nettoyage mécanique b) mélange maison c) Mélange commercial (aromatiques lourds + al. benzylique +...)	a) et b) sont impraticables c) est prometteur mais besoin de modification
FP	Trichloréthylène Détachage de pantalons	Idem à C & T	Idem à C & T	Idem à C & T
Domfoam	Adhésif pour mousse de polyuréthane dégageant du dichlorométhane	Temps de gommage court; film de colle flexible; possibilité de pinçage; emballage après 1 heure	a) Adhésif aqueux à base de caoutchouc naturel b) Adhésif aqueux à base de polychloroprène c) Autre adhésif semblable à b)	a) est techniquement inacceptable b) est acceptable et plus performant que c) b) est utilisé actuellement avec succès
Polyval	Mélange (toluène + xylènes + MEK + ...) Nettoyage des cuves de mélange des peintures industrielles	Aussi efficace et peu dépensier que le mélange original	a) ultrasons b) soude caustique et nettoyants alcalins c) Mélanges commerciaux (p. ex. NMP + éther de glycol)	a) et b) sont impraticables Le mélange commercial le plus prometteur n'a pas été testé en usine. Un éther de glycol et la NMP sont utilisés actuellement
FCI	Mélange (toluène + MEK + ...) Nettoyage des appareils et instruments d'application des masques de soudure sur les circuits imprimés	Remplacement du masque impossible; efficacité de nettoyage, séchage rapide, pas de résidu	a) DBE + éther de glycol b) Aromatiques lourds + tétraline + éther de glycol c) Un éther de glycol d) Chiffons pré- imprégnés (hydrocarbures paraffiniques + éther de glycol) e) Éther de glycol + aromatiques lourds	a) à d) sont inacceptables pour des raisons techniques ou sanitaires Le mélange commercial e) a été choisi pour l'étape d'évaluation des coûts
Doral	Adhésif dégageant du dichlorométhane, utilisé pour le collage de tapis, mousse, cuirette, etc.	Temps de séchage et d'adhérence rapides; film d'adhésif flexible et translucide; plusieurs types de substrats	Plusieurs adhésifs en phase aqueuse, certains comportant des % de solvant non négligeables	Un adhésif à l'eau est acceptable pour la plupart des pièces à assembler; recherche en cours d'une autre solution pour les substrats problématiques

5.2 Résultats pour chacune des neuf étapes

5.2.1 Identification du problème

Dans six cas sur sept, ce sont les intervenants du réseau public de santé et de sécurité du travail (CLSC, ASP) qui ont approché les entreprises pour leur faire savoir qu'elles avaient un problème d'exposition aux solvants. Dans un seul cas, c'est l'entreprise qui a manifesté d'emblée un intérêt à investiguer un problème potentiel de surexposition aux solvants. Les contacts avec les entreprises ont tous été facilités par la participation des intervenants du réseau public. Dans cinq cas sur sept, il y avait surexposition selon le RQMT et dans quatre cas sur sept il y avait présence d'un cancérogène. Dans un seul cas il n'y avait ni surexposition ni cancérogène mais l'entreprise désirait quand même améliorer la situation.

5.2.2 Rédaction d'un plan d'action

Six entreprises sur sept ont accepté de signer un plan d'action comportant la formation d'un comité de substitution. Chaque entreprise sauf une a délégué un collaborateur principal pour mener le projet de substitution à terme. Les compétences techniques de ces responsables variaient grandement d'une entreprise à l'autre : directeur technique, contremaître, directeur de l'assurance de la qualité, ingénieure en environnement, technicien en assainissement et responsable de la recherche et du développement (R. & D.). Les comités de substitution bénéficiaient également de l'expertise d'un hygiéniste industriel d'une ASP (4 cas) ou d'un technicien en hygiène industrielle ou d'un hygiéniste industriel d'un CLSC (4 cas). Les plans d'action des projets de substitution ont été signés par le directeur d'usine (4 cas), un chef de service environnement (1 cas), la responsable des ressources humaines (1 cas) et par personne (1 cas). En pratique le plan d'action consistait en une lettre identifiant les étapes de la démarche de substitution, les membres du comité de substitution et comportait un engagement de l'entreprise à appuyer le projet.

5.2.3 Collecte des informations sur le procédé

L'ensemble de la recherche a nécessité entre 3 et 13 visites par usine sans compter les visites indépendantes des intervenants des CLSC ou des ASP. Les premières visites ont permis de comprendre et de colliger les informations d'ensemble sur les procédés. De nouvelles informations, parfois importantes, ont toutefois été recueillies tout au long de l'étude dans chaque entreprise. Il est même arrivé dans un cas qu'une information essentielle n'ait été portée à l'attention des membres du comité de substitution qu'à la dernière réunion où le rapport final de l'étude de cas était présentée en comité paritaire! De nombreux courriels et/ou conversations téléphoniques ont également été nécessaires pour compléter les informations réunies lors des visites. Des recherches bibliographiques ont finalement été requises pour identifier des monographies et articles nécessaires à la compréhension fine de certains procédés.

5.2.4 Proposition d'options de rechange

Cette sous-section résume les sources d'information et les options proposées ou utilisées par les divers comités de substitution. En pratique les critères de sélection d'un produit ou procédé substitutif, résultant naturellement de l'étape précédente, ont dû être définis de façon préalable.

5.2.4.1 Critères de sélection

Le tableau II présente le résumé des critères de sélection que l’on retrouve énumérés plus longuement dans les annexes II à VIII. La plupart des entreprises ont donné peu de détails techniques ou objectifs concernant les critères que devaient respecter les solvants, produits ou précédés substitutifs. Ainsi, le degré de propreté exigé pour les opérations de nettoyage dans cinq cas devait être évalué subjectivement (observation visuelle). Les adhésifs devaient cependant être testés au laboratoire des entreprises étudiées. Dans le cas du TCE (2 entreprises), le comité de substitution a développé des critères spécifiques pour tenir compte du taux d’évaporation, du point d’éclair et du pouvoir de solubilisation des solvants substitutifs. La toxicité d’un nouveau solvant ou produit de remplacement devait enfin être jugée inférieure à celle du solvant original. À titre d’exemple, le solvant qui devait remplacer le TCE ne devait pas être classé cancérigène par les grands organismes de référence comme le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC). À toxicité semblable, un nouveau solvant devait présenter un risque sanitaire inférieur, notamment en possédant une tension de vapeur plus faible que le solvant à remplacer.

5.2.4.2 Sources d’information

Les sources d’information se divisent en trois catégories : littérature traditionnelle, Internet et personnes-ressources incluant les fournisseurs. Les recherches bibliographiques dans les bases de données générales (p. ex. NIOSHTIC) ou spécialisées (p. ex. World Textiles) n’ont rapporté que peu de solutions aux problèmes étudiés. L’utilisation d’Internet a cependant été une source importante d’options de rechange. En effet, plusieurs fournisseurs de solvants ont ainsi été identifiés (p. ex. Ecolink Inc, Stone Mountain, GA⁹, pour les cas des fabricants de peinture) et certains groupes de discussion industriels spécialisés se sont révélés très utiles (p. ex. TechNet de IPC¹⁰, pour le cas du fabricant de circuits imprimés). Dans la majorité des cas, des associations industrielles ou professionnelles ainsi que des fabricants ou distributeurs spécialisés ont été contactés. Les coordonnées de ces organismes ont été identifiées à l’aide de répertoires industriels généraux ou spécialisés sur support papier ou dans Internet. Des hygiénistes industriels dans des industries spécifiques ont été identifiés et contactés à partir du répertoire des 12 000 membres de l’American Industrial Hygiene Association (AIHA)¹¹. On retrouve en Annexe X une synthèse des sources d’information les plus utiles pour la substitution des solvants.

5.2.4.3 Options de rechange

Les recherches des comités de substitution ont permis d’identifier de 7 à 23 options de rechange en fonction des cas étudiés. Les propositions d’options de rechange sont issues de sources diverses, principalement des fabricants ou distributeurs de solvants, d’adhésifs ou d’appareils substitutifs mais également de groupes de discussion dans Internet et de la publicité dans des magazines spécialisés. Le tableau II présente un résumé des principales options par cas étudiés.

⁹ <http://www.ecolink.com>

¹⁰ Institute of Interconnecting and Packaging Electronic Circuits : <http://www.ipc.org/html/forum.htm>

¹¹ <http://aiha.ags.com/>

5.2.5 Évaluation des conséquences de chaque option

Cette étape a été menée de façon variable en fonction des cas étudiés. Dans la majorité des cas, il a été nécessaire d'effectuer un tri afin de réduire le nombre de solutions envisagées en procédant à des tests d'efficacité technique avant de penser étudier en détails les conséquences de l'utilisation éventuelle des produits. Un sommaire des résultats de ces essais est présenté au § 5.2.7. Les conséquences toxicologiques et environnementales ont été étudiées à partir de la liste des ingrédients obtenue des fiches signalétiques. L'un des résultats de cette recherche est de constater que la plupart des informations pertinentes peuvent être extraites de sources facilement accessibles telles que les documents critères de l'AIHA (15) ou de l'ACGIH (4) et de banques de données disponibles sur le Web comme HSDB¹². Toutefois cela ne s'applique pas à certains mélanges pétrolier complexes ainsi qu'aux « nouveaux » solvants comme le 1-bromopropane (1-BP) pour lesquels peu d'informations sont disponibles comparativement aux solvants traditionnels. Des sources documentaires dites « grises » telles que les actes de colloques spécialisés sont alors indispensables. Des bases de données sur l'écotoxicologie comme « Aquatic Sciences & Fisheries Abstracts Part 3: Aquatic Pollution & Environmental Quality¹³ » ont été utiles pour identifier des articles concernant la toxicologie environnementale de certaines substances.

Certains solvants substitutifs contiennent des mélanges complexes à composition variable (naphtes aliphatiques ou aromatiques) dont la toxicité a été peu étudiée en comparaison des produits purs. L'étude des propriétés toxicologiques de ces mélanges a exigé l'étude de leur composition pour analyser à leur tour les propriétés toxiques des ingrédients ultimes.

Une analyse sommaire du risque cancérigène concernant des traces de β -chloroprène dans les adhésifs en phase aqueuse a été menée au vu des inquiétudes de certains intervenants et travailleurs.

Parce que certains ingrédients n'étaient pas divulgués sur les fiches signalétiques, les fabricants ou formulateurs ont été contactés et la composition chimique a parfois été ainsi complétée.

Les données environnementales se rapportant aux SACO ont parfois été difficile d'interprétation. C'est la cas pour le potentiel de déplétion de la couche d'ozone stratosphérique (PDO) du 1-BP, une substance dont la demi-vie est courte dans l'atmosphère.

Les nouveaux solvants proposés sont généralement moins volatils et donc plus facilement maîtrisables. Leur séchage plus lent entraîne cependant des modifications des méthodes de travail. La même remarque s'applique aux adhésifs en phase aqueuse.

Les nouveaux produits sont plus onéreux que les solvants ou adhésifs traditionnels. La diminution des pertes par évaporation pour les solvants de nettoyage et l'extrait sec plus élevé pour les adhésifs compense toutefois ce désavantage majeur.

¹² Hazardous Substances Data Bank : <http://toxnet.nlm.nih.gov/>

¹³ Cambridge Scientific Abstracts, Bethesda, MD <http://www.csa.com>

5.2.6 Comparaison des options

Le tableau III présente les facteurs pris en considération lors de la comparaison des options pour les sept cas étudiés.

Les exigences d’inflammabilité des solvants substitutifs dans les cas de remplacement du TCE ont entraîné la proposition d’options soit techniquement inacceptables (hydrocarbures lents à sécher), soit inadmissibles pour la santé ou l’environnement (1-BP et HCFC-141b). Ainsi les facteurs sanitaires (toxicité des solvants de remplacement), de sécurité (électricité statique), environnementaux (couche d’ozone) et techniques (pouvoir détachant) ont donc tous joué un rôle important dans le rejet des options envisagées.

Le pouvoir solvant important et la toxicité des solvants substitutifs ont été les facteurs déterminants pour le choix des options de remplacement dans les cas de nettoyage de revêtements organiques. Ainsi les facteurs techniques, incluant les caractéristiques physico-chimiques des solvants substitutifs, et sanitaires ont été primordiaux.

L’utilisation des adhésifs en phase aqueuse est surtout une question technique de mise en œuvre (nouveaux équipements) car cette option règle à la fois les questions sanitaire, environnementale et sécuritaire. Le facteur pécuniaire est toujours présent mais à des degrés divers selon le cas et l’implication de l’entreprise dans l’analyse des coûts.

Tableau III : Facteurs considérés pour la substitution des solvants dans les sept entreprises étudiées

Raison sociale	Santé	Sécurité	Environnement	Technique	Coûts	Formation
<i>Cleyn & Tinker</i>	Non surexposé au TCE selon RQMT TCE non cancérigène selon CSST mais cancérigène selon CIRC	C&T ne veut pas de solvant inflammable à cause de l'électricité statique	HCFC 141b = SACO 1-BP = SACO ?	Même technique de détachage avec les nouveaux solvants	Toute dépense importante doit être approuvée par le siège social au Royaume Uni. La ventilation à la source est jugée trop dispendieuse par C&T	Minimale
<i>Sico</i>	1-BP ? - Sico est préoccupé par la surexposition des laveurs de plancher - Pas d'avis de correction	Solvant inflammable OK (environnement antidéflagrant)	Émissions diffuses	Balayeuses industrielles antidéflagrantes disponibles commercialement	Sico prêt à certains investissements	Efforts louables pour modifier les méthodes de travail
<i>FP</i>	- Surexposé au TCE selon RQMT - Pas d'avis de correction	Pas d'exigence de FP	Pas d'exigence de FP	Tables de détachage ventilées disponibles commercialement	FP ne veut pas dépenser (problème considéré non prioritaire)	Minimale
<i>Domfoam</i>	- Surexposé au CH ₂ Cl ₂ - Avis de correction	Domfoam ne veut pas de solvant inflammable	Dérogation de la ville de St-Léonard	Domfoam ne veut pas d'adhésif à deux composants	Étude des coûts confidentielle	Plusieurs semaines de formation
<i>Polyval</i>	- Surexposition au MEK selon RQMT - Pas d'avis de correction	Solvant inflammable OK (environnement antidéflagrant)	Émissions diffuses	Système automatique de nettoyage disponible commercialement	Polyval ne veut pas dépenser	La modification des méthodes de travail est laborieuse
<i>FCI</i>	- Surexposition au MEK selon RQMT - Pas d'avis de correction	Système électrique non antidéflagrant	Émissions diffuses actuellement mais l'entreprise veut les éviter	Impossible de modifier le procédé à cause des contrats avec les clients	D'accord pour payer un peu plus	Minimale
<i>Doral</i>	- Surexposition au CH ₂ Cl ₂ selon RQMT - Pas d'avis de correction	Pas d'exigence spécifique de Doral	Problématique majeure : styrène	Adhésif multifonctionnel	Doral a identifié des pistolets de pulvérisation peu dispendieux	Plusieurs semaines de formation

5.2.7 Essais sur le terrain et choix

Sauf pour le cas du fabricant de bateaux les essais en laboratoire et/ou sur le terrain ont été élaborés et planifiés en étroite collaboration avec les comités de substitution. Les tests de détachage de tissu (textile et pantalon) ont été réalisés directement aux postes de travail sauf pour un test au laboratoire de l’UdeM à l’aide de l’appareil utilisant la vapeur d’eau. Un protocole d’essai a été élaboré par les comités de substitution respectifs pour les essais en laboratoire dans les deux usines de peinture. Les tests pour les adhésifs exigeaient d’abord la présence d’un représentant technique du fabricant qui apportait un équipement de pulvérisation spécial pour l’application des adhésifs en phase aqueuse. Enfin, le chimiste d’un formateur local de solvant s’est joint au comité de substitution pour la planification des tests préliminaires et en situation réelle chez le fabricant de circuits imprimés.

Le tableau II présente l’issue finale pour chaque cas étudié.

5.2.8 Implantation

Cette étape n’a été réalisée que chez le fabricant de mousse de polyuréthane. Le passage complet à l’utilisation de l’adhésif en phase aqueuse a été réalisé après deux mois. La formation des colleur(euse)s a été relativement aisée.

5.2.9 Évaluation

Cette étape n’a également été réalisée que chez le fabricant de mousse. L’ensemble des membres du comité de substitution considère le remplacement de l’adhésif à base de DCM par un adhésif en phase aqueuse comme un succès des points de vue SST, environnemental et technique.

6.0 Discussion

6.1 Importance d’une bonne démarche de substitution

Une des raisons importantes pour travailler à l’élaboration d’une méthodologie rigoureuse de remplacement des solvants est certainement la prévention d’intoxications professionnelles liées aux effets pervers de la substitution. D’ailleurs, dans leur revue de la littérature sur la question, Testud et coll. rapportent plusieurs cas d’intoxication liés à la substitution des hydrocarbures halogénés, incluant le remplacement couramment observé du 1,1,1-trichloroéthane (TCA) par le TCE (194). Malgré l’absence apparente d’intoxication, quatre des sept cas étudiés dans la présente étude visaient à « réparer » de telles substitutions. En effet, le TCE utilisé pour le détachage dans le textile et le vêtement était la « solution » implantée par ces entreprises face au bannissement du TCA de 1996. Les adhésifs contenant du DCM étaient également la « solution » implantée par deux autres entreprises pour remplacer les adhésifs contenant du TCA désormais non disponible. Ces quatre entreprises se sont fiés à leur fournisseur respectif, des distributeurs de solvants ou des fabricants d’adhésifs, pour leur livrer des produits jugés techniquement équivalents, sans tenir compte de la composition plus toxique de ces nouvelles préparations. Auparavant, en utilisant le TCA, les niveaux d’exposition

professionnelle pouvaient atteindre plusieurs centaines de mg/m³ sans dépasser la VLE de ce solvant relativement peu toxique. Or l'introduction du TCE ou du DCM avait considérablement modifié le portait de l'exposition : dans trois cas sur quatre, les concentrations dans la zone respiratoire des travailleurs dépassaient les normes en vigueur.

6.2 Discussion des étapes

6.2.1 Première étape : identification du problème

Rappelons que l'objectif de cette étape est de circonscrire le problème à résoudre en clarifiant lors des premiers contacts avec l'entreprise les raisons motivant l'intérêt à la substitution. Cette étape implique une discussion franche et l'établissement d'un climat de confiance. Les éléments prévus au protocole se sont révélés adéquats au succès de cette étape : participation des intervenants externes du réseau public, rencontres avec divers responsables dans l'entreprise et visite préliminaire des lieux. On peut cependant remarquer que l'implication du service d'inspection de la CSST dans quelques dossiers semble constituer une motivation importante pour l'entreprise. On peut présumer que cette implication ne peut que faciliter l'implantation des recommandations de substitution.

6.2.2 Deuxième étape : rédaction d'un plan d'action

La rédaction d'un « plan d'action » approuvé par l'entreprise participante devait être une condition importante pour assurer une assise solide au projet de substitution. Cette étape a toutefois été souvent insuffisante pour assurer la bonne marche des projets en question. Il n'est pas inutile de mentionner à cet effet les fluctuations importantes observées dans l'intérêt manifesté aux projets de substitution par certaines entreprises en dépit de la signature de lettres d'entente par les directions de ces sociétés (annexe IV, § 9; annexe VI, § 7; annexe VIII, § 3.1). Il aurait peut-être été préférable de faire signer les documents d'entente par la haute direction de chaque entreprise au lieu de cadres intermédiaires ou supérieurs. Le succès obtenu dans la résolution du cas de Domfoam provient en bonne partie de l'implication active du technicien en hygiène industrielle du CLSC concerné et de l'inspecteur de la CSST, ce dernier n'ayant pas hésité à déposer des avis de correction et à invoquer l'article 5.2 du RQMT sur les substances cancérigènes pour « convaincre » l'entreprise de réaliser la substitution (130). L'implication initiale du directeur de l'usine John Howard a également été déterminante pour la suite du projet.

Dans une démarche corrigée de substitution des solvants, la deuxième étape serait légèrement modifiée de la façon suivante : la rédaction d'un « plan d'action » serait remplacée par la constitution du comité de substitution incluant la signature d'une lettre d'entente. En effet, dans l'ensemble des cas étudiés, il n'a pas été possible de proposer de véritables « plans d'action » avant d'étudier le procédé où le solvant est utilisé. Il demeure cependant primordial que les parties prenantes signent une entente pour officialiser leur accord à travailler au remplacement du solvant.

Dans six cas sur sept, les deux premières étapes se sont déroulées simultanément. Ce n'est que dans le cas du fabricant de circuit imprimé, une multinationale, que ces deux étapes se sont menées séparément. Dans ce dernier cas le délai entre la première et la deuxième étape

s’explique en partie par le besoin de bâtir la confiance entre l’entreprise en question et les chercheurs en raison des caractéristiques de confidentialité des procédés employés dans l’usine.

6.2.3 Troisième étape : collecte des informations sur le procédé

La collecte des informations sur les procédés a été particulièrement laborieuse dans le cas de l’usine de textile. En effet l’identification de la source des taches sur les tissus exigeait l’observation de différents procédés dans l’usine de finition et même du procédé de tissage en amont dans une autre usine de la même société. Le cas du fabricant de pantalon était similaire mais en raison des réticences de l’entreprise à régler le problème à la source, peu d’efforts ont été consentis dans cette voie. La source des salissures pour les autres cas de nettoyage (les deux fabricants de peinture et le fabricant de circuits imprimés) était relativement facile à identifier : le mélange des ingrédients dans la fabrication des revêtements d’une part et l’application des masques de soudure d’autre part. Enfin les deux autres cas (bateau et mousse), représentant une problématique de collage, ont nécessité un inventaire des divers substrats à assembler. La fiche de collecte des informations s’est avérée utile pour rassembler les données sur les procédés et ne nécessite pas de modifications. Cependant elle n’a pas remplacé le travail de « détective » indispensable pour dénicher les informations. En effet il a parfois été nécessaire d’organiser de véritables interviews avec les travailleurs pour obtenir les renseignements recherchés. L’étape de collecte des informations inclut également la compréhension détaillée du procédé sans laquelle l’étape suivante ne saurait être réalisée. Les mêmes questions techniques posées à différentes personnes dans l’entreprise ont souvent donné des réponses contradictoires (p. ex. le volume de solvant utilisé pour une tâche). La résolution de ces contradictions assurait par la suite une meilleure compréhension des procédures de travail tout en faisant prendre conscience aux employés de l’ampleur de l’utilisation des solvants.

6.2.4 Quatrième étape : proposition d’options de rechange

La quatrième étape était déjà mise en marche à la fin de l’étape précédente parce que les idées de remplacement de solvant ou de procédé sont générées naturellement lors de l’étude du procédé. Ainsi, il est facile de penser à l’utilisation d’un détergent industriel pour le nettoyage du plancher d’une usine de peinture.

Les critères de sélection sont généralement dictés par l’entreprise au début du projet de substitution. Ils ont été présentés à cette étape-ci seulement par souci de commodité. Toutes les entreprises exigent naturellement que le solvant ou le procédé substitutif soit aussi performant que le solvant traditionnel (p. ex. pouvoir solvant élevé, taux d’évaporation très rapide) tout en étant peu coûteux. De prime abord on peut comprendre cette exigence de continuité. Le comité de substitution doit cependant remettre cette exigence en question car elle est parfois liée à la résistance au changement. Le cas de Domfoam illustre bien cette problématique. En raison d’expériences passées décevantes, l’entreprise était d’abord très réticente à examiner les adhésifs en phase aqueuse, considérés peu performants et trop coûteux.

Les recherches dans la littérature ont surtout permis de comprendre les procédés. Peu de solutions ont été extraites de cette source d’information. Il y a deux explications à cela. D’une part le nettoyage est peu discuté dans la littérature technique car le solvant utilisé est considéré comme un produit chimique auxiliaire qui n’entre pas comme tel dans le produit fini. En effet les

quelques cas classiques traités abondamment dans la littérature se rapportent surtout à l'élimination des SACO (p. ex. nettoyage des flux de soudure des circuits imprimés ou la préparation de surface dans la fabrication de pièces métalliques). D'autre part les adhésifs en phase aqueuse à un composant sont de fabrication très récente, donc peu recensés dans la littérature. Les fabricants d'adhésifs sont aussi très réticents à publier des articles techniques décrivant la composition de leurs produits récemment développés. Des articles à caractère publicitaire apparaissent cependant dans des magazines techniques spécialisés mais ces derniers ne sont pas toujours indexés dans les bases de données, même spécialisées (p. ex. le magazine Parts Cleaning, Witter Publishing Corporation, Flemington, NJ). Les bases de données bibliographiques en hygiène et toxicologie industrielles traitent amplement des problèmes sanitaires et sécuritaires liés à l'emploi des solvants mais peu des solutions pour les remplacer.

Plusieurs ressources disponibles dans Internet ont été mises à jour et répertoriées dans l'étude des sept cas de substitution : sites Web de fabricants et formulateurs de solvants, groupes de discussion spécialisés, sites Web d'organismes voués à la prévention de la pollution. À noter qu'il existe des groupes de discussion spécialisés en SST (p. ex. HS-Canada, SAFETY). Or les solutions identifiées ne provenaient pas de tels groupes de discussion mais plutôt de groupes de discussion spécialisés en prévention de la pollution (p. ex. P2Tech) ou spécifiques à des industries (p. ex. TechNet). Ceci peut s'expliquer par le fait que les groupes de discussion sur la prévention de la pollution se spécialisent justement dans la recherche de solutions pour régler des problèmes techniques à la source. Les groupes de discussion industriels spécialisés regroupent nécessairement des techniciens au fait des procédés couramment utilisés dans leur industrie. Les intervenants du réseau public québécois de SST mais également le personnel technique des entreprises étudiées ont semblé peu renseignés sur ces ressources. La barrière de la langue est peut-être l'une des explications du manque de pénétration de ces outils chez les intervenants des organismes publics.

En ce qui concerne les logiciels d'aide à la décision (voir § 2.4), SAGE et CAGE n'ont pu être exploités dans le cadre de cette recherche, leur domaine d'application étant le nettoyage de pièces métalliques et l'application de peintures respectivement, opérations ne se retrouvant pas dans les cas étudiés.

L'une des constatations de cette recherche est l'absence d'un répertoire de fournisseurs locaux de solvants. Les sources disponibles sont utiles mais incomplètes (p. ex. iCRIQ¹⁴, Environnement Canada¹⁵, Zipcom¹⁶, Frasers¹⁷). Il existe par contre beaucoup d'informations sur les fournisseurs étasuniens¹⁸ (198). Au courant de la recherche sur l'implantation de la substitution des solvants dans les milieux de travail, plusieurs intervenants du secteur public en SST ont d'ailleurs contacté l'équipe de recherche de l'UdeM pour identifier des fournisseurs de solvants de rechange (incluant adhésifs, peintures).

¹⁴ <http://www.icriq.com/>

¹⁵ <http://www.ec.gc.ca/ozone/altlistf.htm>

¹⁶ <http://www.tamec.com/1/f/index.html>

¹⁷ <http://www.frasers.com/>

¹⁸ <http://es.epa.gov/new/contacts/vendor/vendor.html>

Dans le cas du fabricant de circuits imprimés, le comité de substitution a travaillé avec succès avec un formateur local de solvants industriels. Les contacts avec de tels formateurs n’ont d’ailleurs pas toujours été faciles, certains préférant travailler directement avec l’utilisateur ultime. L’idéal était de collaborer directement avec le chimiste du formateur afin d’être mis au courant de la nature des ingrédients incorporés dans les recettes substitutives. Dans trois cas de substitution, il a ainsi été possible d’influencer la formulation des solvants substitutifs en fonction de la toxicité des mélanges, sans compromettre l’efficacité technique du produit.

6.2.5 Cinquième étape : évaluation des conséquences de chaque option

En raison du grand nombre de solutions envisagées dans certains cas, la cinquième étape a été menée après avoir jugé d’abord de leur acceptabilité technique. L’expérience française est d’ailleurs semblable à la nôtre en cette matière (48). Dans certains cas, en plus de la performance technique, l’odeur des solvants a été évaluée subjectivement (annexe VI, § 5.1). L’acceptabilité olfactive des solvants par les travailleurs est primordiale. Greenley et Burgess citent en effet une étude où un éther de glycol a été remplacé par un congénère moins toxique mais sans évaluation de l’odeur chez un fabricant de semi-conducteurs. Après l’implantation du nouveau solvant les ingénieurs et hygiénistes industriels ont été surpris d’apprendre que la proportion de maladies rapportées à OSHA avaient augmenté de 30 %. L’augmentation des céphalées et troubles auxiliaires pouvait être due au seuil olfactif plus faible du nouveau solvant et à la perception des travailleurs que les risques étaient plus élevés avec la nouvelle substance (102).

L’absence de données toxicologiques suffisantes pour évaluer le risque sanitaire a été déplorée pour les mélanges pétroliers complexes (p. ex. naphtes aromatiques) et pour les « nouveaux » solvants. Les naphtes ont généralement été considérés « acceptables » par les comités de substitution, en l’absence de données contraires dans la littérature, étant donné qu’ils ont été utilisés depuis longtemps en industrie sans problème apparent. À noter également que ces mélanges pétroliers sont depuis longtemps exempts de benzène (171). Dans le cas d’un solvant d’introduction récente comme le 1-BP, le manque de données toxicologiques nous a amené à évaluer sa toxicité à partir de celle de ses congénères et à recommander la prudence.

Une discussion est apparue au sein d’un comité de substitution face à la présence de traces de β -chloroprène dans un adhésif en phase aqueuse (voir l’annexe VIII). Cet adhésif devait remplacer un produit contenant près de 70 % de DCM. Les deux substances sont classées dans la catégorie 2B (cancérogène soupçonné) par le CIRC¹⁹. Il s’agit ici d’un cas classique de confusion entre le danger et le risque. Les deux substances sont dangereuses en vertu de leur potentiel oncogène mais le risque est nettement plus faible pour le produit contenant le β -chloroprène que pour celui contenant le DCM vu les quantités mises en jeu. Il a donc été nécessaire de bien informer les travailleurs afin de dissiper les craintes face au β -chloroprène et ainsi justifier le choix d’un nouvel adhésif en phase aqueuse.

Un problème important relevé dans cette recherche concerne la non conformité au Système d’information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT) des fiches signalétiques fournies par les fabricants ou formateurs de solvants ou autres produits de

¹⁹ <http://193.51.164.11/monoeval/crthall.html>

substitution. La section sur la composition du produit est d'une importance capitale pour toute action préventive incluant un projet de substitution. Il a parfois été nécessaire de « deviner » la composition à partir des propriétés physico-chimiques notamment dans le cas de petits fournisseurs étasuniens de 1-BP. Ce problème de non conformité est très bien connu des intervenants du réseau public de SST et des professionnels du Service du répertoire toxicologique de la CSST. Des informations supplémentaires sur la composition des produits ont parfois été obtenues des fournisseurs (p. ex. Alfa Adhesives, North Haledon, NJ). Il est arrivé que la composition de certains solvants soit erronée (p. ex. mauvais libellé de la substance et numéro CAS). Welsh et coll. ont analysé chimiquement divers produits utilisés dans des milieux de travail canadiens (p. ex. un nettoyant industriel utilisé pour le lavage de carlingues d'avion et un diluant d'époxy) et ont rapporté des omissions ou erreurs graves dans les ingrédients divulgués sur les fiches signalétiques correspondantes en vertu du SIMDUT (219).

Les fiches signalétiques canadiennes conformes au SIMDUT sont malheureusement peu informatives sur l'écotoxicologie²⁰. Ceci limite la facilité avec laquelle un intervenant peut juger du danger environnemental potentiel que peut représenter l'utilisation d'un solvant proposé. Les fiches recommandées par l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) des États-Unis ne sont pas plus informatives²¹. Par contre les fiches signalétiques étasuniennes conformes à la norme ANSI Z400.1 de l'American National Standards Institute comportent des renseignements précieux en cette matière (p. ex. biodégradabilité, facteur de bioconcentration, concentrations létales chez les espèces sensibles) (22). Comme les fiches européennes, ces dernières rapportent les résultats des tests effectués en vertu des Lignes directrices de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) pour les essais de produits chimiques et particulièrement leurs effets sur les écosystèmes (156).

Le PDO est l'un des paramètres environnementaux étudié pour chaque solvant. Il est en effet essentiel de ne pas remplacer un SACO par un autre. Or il existe actuellement une controverse scientifique quant au PDO du 1-BP. Ce dernier est un solvant halogéné dont la durée atmosphérique est de l'ordre de quelques semaines. Les modèles pour évaluer le PDO des autres SACO comme les chlorofluorocarbures (CFC) sont basés sur des durées de vie atmosphérique de plusieurs années d'où l'impropriété de tels modèles pour le 1-BP. En l'absence de prises de position d'organismes comme le USEPA, le comité de substitution du fabricant de textile a décidé de considérer le 1-BP comme un SACO. Il s'agit ici de l'application du principe de précaution. Ce principe affirme en effet « qu'il ne faut pas attendre qu'un risque soit scientifiquement prouvé pour prendre des mesures à son encontre » (103).

En conclusion, dans une démarche de substitution corrigée, la cinquième étape ne serait plus l'évaluation des conséquences des diverses options envisagées mais le tri préliminaire des options proposées suivi d'essais à petite échelle. Ce changement est particulièrement justifié dans le cas où une grande quantité de solutions de rechange est envisagée. L'étude de toutes les conséquences de chacune des options serait irréalisable dans le cadre d'un projet de substitution. Le tri se ferait sur la base de critères sanitaires ou sécuritaires évidents pour les membres du comité de substitution comme le caractère extrêmement inflammable (p. ex. MEK) ou toxique (p. ex. cancérogénicité du perchloroéthylène) de certains solvants ainsi que sur la base de

²⁰ <http://canada.justice.gc.ca/FTP/FR/Regs/Chap/H/H-3/DORS88-66.txt>

²¹ <http://www.osha-slc.gov/Publications/MSDS/msdsform.html>

caractéristiques techniques disponibles facilement telles que celles indiquées dans les fiches techniques des produits proposés (p. ex. temps de gommage d’un adhésif). Les essais doivent cependant pouvoir se faire à petite échelle (p. ex. en laboratoire) afin de ne pas exposer indûment les travailleurs à un solvant dont on n’a pas encore étudié toutes les facettes ayant une incidence sur la SST.

6.2.6 Sixième étape : comparaison des options

La sixième étape constituait le cœur du processus de prise de décision pour arriver à choisir des solutions acceptables à tous points de vue. Des défis se sont alors imposés aux comités de substitution au niveau de la comparaison de données difficilement comparables (p. ex. entre le TCE et le 1-BP, respectivement soupçonné cancérigène et possédant un faible potentiel de destruction de la couche d’ozone) chez le fabricant de textile (et pour FP) ainsi que dans la comparaison des solvants de nettoyage des revêtements (mélange d’hydrocarbures aromatiques lourds additionnés de « nouveaux » solvants vs mélanges d’hydrocarbures légers et de solvants oxygénés). Le manque de connaissance concernant la toxicité humaine et environnementale a fait pencher la balance du côté du TCE dans le premier cas alors que c’est surtout en raison de leur faible volatilité et de leur ininflammabilité que les mélanges d’hydrocarbures aromatiques lourds ont été sélectionnés par rapport aux hydrocarbures légers et solvants oxygénés. Cependant l’utilisation de systèmes de cotes, tels qu’envisagés à l’origine dans ce projet, n’est pas apparu utile en raison du nombre restreint d’options à comparer, étant donné les choix préliminaires déjà effectués sur une base technique.

6.2.7 Septième étape : essais sur le terrain et choix

Des délais parfois très longs (plusieurs mois) ont été encourus dans la septième étape pour la majorité des cas étudiés. Les raisons de ces délais n’ont pas toujours été clarifiées à la satisfaction de tous les membres des comités de substitution. Des contraintes de production ont pu jouer un rôle important dans ces retards. Aucun retard notable n’a cependant été encouru dans la seule entreprise où l’inspecteur avait signifié des avis de correction pour forcer le changement. La contrainte a donc eu un effet bénéfique sur la bonne marche du projet de substitution dans le cas de cette entreprise hors norme. De façon générale, il serait donc souhaitable d’inviter l’inspecteur de la CSST à faire partie du comité de substitution dès le début d’un projet de substitution des solvants.

6.2.8 Huitième étape : implantation

La huitième étape peut être l’occasion de noter des problèmes de SST non prévus. C’est à cette occasion que le comité de substitution a noté le risque de chute lors de l’installation en hauteur des contenants d’adhésifs chez le fabricant de mousse de polyuréthane (voir l’annexe V, § 9.2.1).

6.2.9 Neuvième étape : évaluation

La neuvième étape peut enfin être l’occasion de noter d’autres problèmes potentiels non prévus à l’origine. C’est à cette occasion que l’UdeM a noté la possibilité que les filtres souillés d’adhésif soient considérés comme une matière dangereuse en vertu du Règlement sur les matières dangereuses (voir l’annexe V, § 5.2.2). Comme le rapporte Antonsson dans ses conclusions

d'une revue de 17 cas de remplacement de substances toxiques, certains effets d'une substitution ne peuvent être anticipés, particulièrement à cause du manque de connaissance sur la toxicité des produits de remplacement (23). Il importe donc de poursuivre l'évaluation en étant à l'affût de nouveaux agresseurs potentiels générés par l'utilisation du solvant ou produit substitutif.

6.3 Évaluation globale de la démarche

La méthodologie en neuf étapes utilisée dans cette recherche a été élaborée à partir de celle de Goldschmidt et celle de Callahan et Green (voir le § 2.3). D'autres processus de substitution semblables ont toutefois été proposés (101; 176). Il s'agit en fait de divers modèles conceptuels où l'ensemble des facteurs à prendre en compte, notamment SST, environnement et coûts, sont considérés plus ou moins importants selon les auteurs. Un auteur mentionne qu'il faudrait utiliser une approche d'« analyse du cycle de vie » des substances à remplacer et des nouvelles substances pour s'assurer de prendre en considération tous les aspects de l'utilisation d'un produit substitutif (23). L'utilisation de l'analyse du cycle de vie est possible dans le domaine de la substitution des solvants (62) mais elle est trop lourde pour être largement utilisée (176). Même de grandes entreprises comme IBM, Bristol-Myers-Squibb et Armstrong World Industries éprouvent des difficultés à mettre en application de tels systèmes dans le développement de leurs produits (177). Kennedy met l'accent sur une analyse des coûts en profondeur afin d'estimer les gains financiers à long terme d'un remplacement de substance toxique (129). Il existe même un logiciel²² pour estimer de tels coûts dans des projets de prévention de la pollution qui pourrait également être utilisé dans un projet de substitution de solvant (193). Dans le cadre de la présente recherche l'analyse des coûts n'a pas été aussi détaillée que le propose Kennedy. L'étude la plus approfondie a été réalisée chez Domfoam et se résumait essentiellement à la comparaison des coûts d'application par unité de surface de divers adhésifs en prenant en compte les coûts de chauffage de l'air évacué à l'extérieur de l'usine. Cette étude a suffi à convaincre la direction de l'entreprise d'approuver la substitution.

Il est difficile de porter un jugement final sur la méthodologie en neuf étapes car un seul cas a franchi toutes les étapes. L'entreprise pour laquelle la démarche a été complétée (Domfoam) a réalisé le remplacement d'un produit toxique par un produit qui a été jugé, sans équivoque, non toxique. En effet le nouvel adhésif ne contient plus aucun solvant. Il est probable que Doral puisse aussi arriver éventuellement à une solution semblable. Par contre dans les cinq autres cas de substitution, la situation était moins claire car l'élimination complète des solvants était difficilement envisageable, des solvants moins dangereux ayant été proposés dans trois cas et aucun remplacement de solvant n'ayant été réalisé dans deux cas. Malgré le succès partiel de la recherche de solutions concrètes de substitution, il est néanmoins possible d'affirmer que la démarche en neuf étapes a permis de poser un jugement éclairé et documenté sur les possibilités actuelles de remplacement de solvants dans chaque cas. Ainsi, s'il n'y a pas eu de substitution de solvant chez Cleyn & Tinker, c'est que la substitution n'est pas une solution envisageable à l'heure actuelle pour le procédé en question dans cette industrie. Il ne s'agit donc pas d'un échec de la démarche. Il faut bien réaliser que la substitution des solvants n'est pas la panacée à tous les problèmes de surexposition aux solvants organiques. C'est une avenue que les hygiénistes industriels doivent d'abord privilégier dans la hiérarchie des moyens de prévention avant même

²² <http://www.env.gov.bc.ca/epd/epdpa/embi/tcabc/introduction.html>

d'appliquer les méthodes traditionnelles de maîtrise du risque chimique (p. ex. procédé en circuit fermé, ventilation).

La réalisation d'un nombre forcément restreint de cas concrets ne permet pas de conclure de façon absolue sur l'applicabilité de la méthode à l'ensemble des procédés et des entreprises, notamment dans le dégraissage de pièces métalliques qui est une application importante des solvants, non couverte dans les cas étudiés. Cependant les procédés couverts représentent une variété de situations très diverses (peintures, adhésifs, dégraissage de tissus, nettoyage de circuits imprimés) ce qui autorise raisonnablement une généralisation de l'approche à un plus grand nombre de secteurs. N'oublions pas également que la démarche reste proche de celles employées par Goldschmidt et par Callahan et Green.

6.4 Aspect environnemental

Une autre question à discuter concerne la réglementation environnementale et son impact sur la substitution des solvants. Quatre des sept cas étudiés concernaient des usines situées à l'extérieur du territoire de la Communauté urbaine de Montréal. Ces entreprises tombent sous la juridiction du Gouvernement du Québec et son Règlement sur la qualité de l'atmosphère (RQA) (97). La définition de « solvant photochimiquement réactif » dans le RQA se limite aux alcènes, composés aromatiques, cétones et trichloréthylène. Elle exclut les autres solvants à potentiel photochimique tels que les alcools. Il est donc légalement possible d'émettre dans l'air atmosphérique jusqu'à 1400 kg par jour ou 200 kg par heure de ces derniers. En ce sens le RQA ne favorise que partiellement la substitution des solvants à l'intérieur de l'usine. Par contre aux États-Unis les législations environnementales encouragent davantage l'utilisation de procédés plus propres et conséquemment les projets de substitution (102). La situation pourrait cependant être modifiée prochainement au Québec où un projet de règlement modifiant le RQA devrait être publié dans la Gazette officielle du Québec en 2001 (Martin Lecours, MENV, communication personnelle, 00/09/29).

6.5 Coûts

Il y a deux facteurs principaux pour qu'une entreprise s'engage fermement dans un projet de substitution des solvants : un avis de correction signifié par une agence gouvernementale (p. ex. CSST, MENV, CUM) et la perspective de réduction des coûts de production. Si le solvant substitutif est moins dispendieux que le solvant à remplacer, tout en étant techniquement aussi performant, la décision de procéder à la substitution sera grandement facilitée. Dans les cas étudiés, le problème venait justement du fait que tous les solvants ou adhésifs de remplacement envisagés étaient plus dispendieux que ceux originalement utilisés. Les représentants des entreprises étaient dès lors réticents à envisager la suite de la démarche même en leur expliquant que moins de solvant ou d'adhésif était nécessaire à l'utilisation. Dans le cas de Domfoam, une analyse rigoureuse des coûts d'application du nouvel adhésif a heureusement permis de prouver que son coût d'utilisation était comparable à celui de l'ancien adhésif si l'on tenait compte des coûts de chauffage. Cette analyse a été effectuée par l'ingénieur responsable de l'assurance de la qualité du produit fini. Ce genre d'étude de coûts exige donc une implication importante de l'entreprise. Dans les cas de Domfoam et Doral, les adhésifs entrent dans la composition du produit fini. Le personnel du service de l'assurance de la qualité est ainsi plus habilité à effectuer de telles études. Dans les cas de nettoyage (cinq cas sur sept) le solvant n'entrent pas

directement dans les produits finis mais constitue une substance auxiliaire. Le personnel de l’assurance de la qualité des produits finis n’étaient pas normalement impliqués dans le choix du solvant de nettoyage. Ce personnel technique est donc plus difficile à convaincre de mener une étude de coûts pour un produit qui n’entre pas dans la composition du produit fini pour lequel il est responsable (p. ex. peinture).

6.6 Divers

Un point essentiel à rappeler concerne l’importance du responsable du comité de substitution. Particulièrement dans le cas des entreprises faiblement motivées par la substitution, cette personne doit constamment mobiliser le comité vers son objectif ultime : la substitution du solvant incriminé. Son rôle s’apparente en partie à celle de rassembleur et de motivateur tel que présenté par Brun et Loiselle pour le métier de préventionniste (38).

La démarche de substitution n’est pas un processus linéaire. Il est souvent arrivé que deux étapes se sont chevauchées notamment les étapes de collecte d’information sur le procédé et d’identification d’options de rechange. Des retours en arrière ont également été nécessaires, par exemple lorsque les essais à petite échelle ont démontré l’inefficacité des options proposées. Ceci avait été noté par Goldschmidt (95).

Originellement chaque cas de substitution devait durer entre 6 et 8 mois. Force est de constater que dans la majorité des cas cette période était nettement insuffisante pour toutes sortes de raisons liées aux impératifs de la production ou carrément au manque de motivation des entreprises. Dans le cas le plus rapide il aura fallu 10 mois avant la mise en œuvre d’une solution de rechange acceptable.

7.0 Conclusion

Une démarche corrigée est présentée succinctement au tableau IV : elle tient compte des quelques points discutés dans la dernière section. Cette démarche comporte, comme auparavant, neuf étapes. Une explication plus détaillée de la démarche est présentée à l’annexe IX.

Tableau IV
Démarche corrigée de substitution des solvants

N ^o	Libellé de l’étape	Méthode
1	Identification du problème	Réunion avec la direction de l’entreprise, visite préliminaire d’usine
2	Formation du comité de substitution	Constitution d’un comité de substitution et signature d’une lettre d’entente
3	Étude du problème et définition des critères de sélection	Visites d’usine, étude du procédé (annexe I), méthodes de travail, analyse fonctionnelle, interview d’employés, rapports d’hygiène industrielle, échantillonnage des solvants, définition des critères de sélection d’un solvant substitutif ou d’un changement de procédé

N ^o	Libellé de l'étape	Méthode
4	Proposition d'options de rechange	Remue-ménages, enquête, consultations. Sources d'information : employés de l'usine, maison mère, compétiteurs, associations industrielles et professionnelles, Internet, littérature, fournisseurs (voir annexe IX). Tri à partir de critères évidents ou facilement connus
5	Essais à petite échelle	Rédaction d'un protocole d'essai, mise à l'essai à petite échelle
6	Évaluation des conséquences des options retenues	Revue de la littérature (toxicologie, SST, écotoxicologie, formation, ergonomie, coûts, aspect organisationnel) (voir annexe IX)
7	Comparaison des options et choix	Tableau comparatif des options et du solvant à remplacer en fonction des critères techniques, sanitaires et autres définis à la troisième étape
8	Implantation	Mise en œuvre graduelle, formation, observation et écoute des commentaires des travailleurs et des clients
9	Évaluation	Collecte des commentaires; ajustements et corrections

Même s'il est difficile de formellement généraliser à l'ensemble des secteurs industriels utilisant des solvants organiques dangereux le succès relatif obtenu dans les sept cas étudiés, la démarche corrigée représente un modèle assez général pour être appliqué, au moins dans un premier temps, à la plupart des industries où des travailleurs sont surexposés à ces contaminants ubiquistes.

Au delà de ces conclusions de nature méthodologique, cette recherche a permis d'approfondir des problématiques d'exposition professionnelle aux solvants dans des activités industrielles courantes dans les entreprises québécoises. Dans la majorité des cas étudiés la substitution s'est avérée réalisable. Il reste à compléter les étapes finales dans quatre entreprises. Ce travail est en voie de réalisation par les entreprises, notamment avec la collaboration des intervenants du réseau public de SST.

8.0 Recommandations

Cette section présente quelques recommandations visant surtout à aider les intervenants du réseau public de SST à mieux être outillés pour réaliser des projets de substitution de solvant.

8.1 Faire connaître les ressources d'Internet aux intervenants du réseau public à l'exemple des cours de recherche d'information dans Internet sur la production propre et la réduction de l'utilisation des substances toxiques²³.

8.2 Produire un inventaire des fournisseurs locaux de solvants de remplacement.

8.3 Ajouter une section « Effets sur l'environnement » dans les fiches du SIMDUT.

²³ <http://www.epa.gov/oia/itc/cpnote/index.htm> <http://www.turi.org/HTMLSrc/net/>

8.4 Des contacts entre les intervenants du réseau public de SST et les formulateurs locaux de solvants devraient être développés. D'autre part l'expérience acquise par l'équipe de l'UdeM avec ces derniers fait ressortir qu'ils élaborent souvent leurs « mélanges » de façon empirique sans tenir compte, par manque de connaissance, de leurs propriétés toxiques. L'éducation sanitaire de ces chimistes ferait avancer le travail de prévention dans les entreprises utilisatrices des nombreux solvants élaborés et distribués localement.

8.5 Renforcer la réglementation environnementale sur la qualité de l'atmosphère concernant l'émission des composés organiques volatils.

8.6 Finalement, tel que suggéré par le Comité consultatif du projet lors de sa dernière réunion, la nomination d'un coordonnateur provincial du secteur public chargé de favoriser l'implantation de la substitution permettrait de généraliser l'utilisation de cette technique de prévention. Cette personne, en charge d'une veille technologique, diffuserait les acquis et offrirait aux intervenants un appui technique de formation et d'information sur le sujet.

9.0 Axes potentiels de recherche

Il serait souhaitable d'initier des études toxicologiques et épidémiologiques sur les mélanges pétroliers complexes et les « nouveaux » solvants. Les exigences de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement concernant les substances nouvelles pourraient à cet effet être augmentées (81). La production de monographies sur ces substances permettrait de synthétiser et de rendre accessible une information souvent difficile d'accès.

Des outils informatiques pour la formulation des solvants (p. ex. Shell BlendPro (178), BPSolve (36)) ont été développés par de grandes entreprises pour aider leurs clients à produire notamment des mélanges respectueux de l'environnement. À notre connaissance ces logiciels demeurent cependant inutilisés au Québec. D'autres logiciels de formulation des solvants prennent en compte la toxicité des substances (p. ex. PARIS²⁴). Ces divers outils auraient avantage à être formellement évalués en fonction de critères de SST et leur pénétration favorisée s'ils sont jugés intéressants.

²⁴ <http://www.tds-tds.com/parfact.htm>

Bibliographie

- [1] 3M (1998) **Fastbond Foam Adhesive 100 Neutral and Lavender - Technical Data**. 3M Adhesives Division, St. Paul, MN
- [2] 3M Canada (2000) **CCINFOWEB - FTSS no. 2165269 : Adhésif en mousse FASTBOND (MC) 100, Neutre**. Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail, Hamilton, ON
- [3] ACGIH (1991) *Ammonia*. In: **Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices**, pp. 58-59. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH
- [4] ACGIH (1991) **Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices**. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH
- [5] ACGIH (1991) *o-Chlorotoluene*. In: **Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices - Volume 1**, pp. 308-309. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH
- [6] ACGIH (1991) *β -Chloroprene*. In: **Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices - Volume 1**, pp. 301-304. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH
- [7] ACGIH (1992) *Propylene Glycol Monomethyl Ether*. In: **Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices**, pp. 1310-1313. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH
- [8] ACGIH (1996) *Diethanolamine*. In: **Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices**, pp. Supplement: Diethanolamine - 1-5. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH
- [9] ACGIH (1996) *Triethanolamine*. In: **Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices**, pp. Supplement: Triethanolamine - 1-3. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH
- [10] ACGIH (1999) **TLVs[®] and BEIs[®] Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents - Biological Exposure Indices**. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH
- [11] Adams, S.E. (1997) **Material Safety Data Sheet: Water Base Adhesive Fabond 472**. UPACO Adhesives Division of Worthen Industries, Inc., Richmond, VA
- [12] AIHA (1992) **Workplace Environmental Exposure Level Guide: Propylene Glycol Monomethyl Ether Acetate (1991)**. American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA
- [13] AIHA (1992) **Workplace Environmental Exposure Level Guide (WEEL): 1,1-dichloro-1-fluoroethane**. American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA
- [14] AIHA (1994) **Workplace Environmental Exposure Level Guide: Benzyl Alcohol**. American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA
- [15] AIHA (1999) **Workplace Environmental Exposure Level Guides**. American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA
- [16] Albemarle (1999) **ABZOL[®] Cleaners**. Albemarle Corporation, Baton Rouge, LA
- [17] Alfa (2000) **Simalfa Water-borne Adhesives Material Safety Data Sheet**. Alfa Adhesives, Inc., North Haledon, NJ
- [18] Alfa (2000) **Simalfa Water-borne Adhesives Technical Data**. Alfa Adhesives, Inc., North Haledon, NJ
- [19] Alfa (2000) **Spray Gun - Setup & Techniques**. Alfa Adhesives, Inc., North Haledon, NJ
- [20] Anonymous (1992) Cadorette: A Piece of History. **Power Boating Canada** 7(1):20
- [21] Anonymous (1997) Carbon Dioxide Cleaning. **Precision Cleaning** 5(12):34-35

- [22] ANSI (1998) **American National Standard for Hazardous Industrial Chemicals - Material Safety Data Sheets - Preparation (ANSI Z400.1-1998)**. American National Standards Institute, Inc., New York, NY
- [23] Antonsson, A.B. (1995) Substitution of Dangerous Chemicals - The Solution to Problems with Chemical Health Hazards in the Work Environment? **American Industrial Hygiene Association Journal** 56(4):394-397
- [24] Ashland (1999) **Fiche signalétique : Hi Sol 10**. Ashland Canada Inc., Mississauga, ON
- [25] ASTM (1996) **Standard Test Methods for Evaporation Rates of Volatile Liquids by Shell Thin-Film Evaporometer (D3539-87)**. American Society For Testing and Materials, West Conshohocken, PA
- [26] ASTM (1997) **Standard Test Method for Kauri-Butanol Value of Hydrocarbon Solvents (D1133-97)**. American Society For Testing and Materials, West Conshohocken, PA
- [27] ASTM (1998) **Standard Test Method for Flash Point by Tag Closed Tester (D56-98a)**. American Society For Testing and Materials, West Conshohocken, PA
- [28] ATSDR (1997) **Toxicological Profile for Trichloroethylene**. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA
- [29] Baruffini, A.; Cirila, A.M. (1989) Allergic Contact Dermatitis from 1,2-Dichloropropane. **Contact Dermatitis** 20(5):379-380
- [30] Beaudet, M.; Lazure, L.; Ménard, L. (1998) **Qualité de l'air en milieu industriel - Guide de ventilation**. Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, Montréal
- [31] Bégin, D.; Gérin, M. (1999) **La substitution des solvants par la N-méthyl-2-pyrrolidone**. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (Rapport B-058), Montréal
- [32] Bégin, D.; Gérin, M. (1999) **La substitution des solvants par le d-limonène**. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (Rapport B-057), Montréal
- [33] Bégin, D.; Gérin, M. (1999) **La substitution des solvants par les esters d'acides dicarboxyliques (DBE) : Adipate diméthylque, glutarate diméthylque, succinate diméthylque**. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (Rapport B-056), Montréal
- [34] Berniqué, G. (1996) **Rapport d'échantillonnage - Trichloroéthylène**. CLSC Vallée des Forts, Santé au travail, St-Jean-sur-Richelieu
- [35] Bost, J. (1985) **Matières plastiques I. Chimie - Applications**. Technique et Documentation (Lavoisier), Paris
- [36] BP Chemicals (1996) **BP Solve Version 3 for Windows**. BP Chemicals Limited, London, UK
- [37] Brodeur, J.; Vyskõcil, A.; Viau, C. (1996) **Développement d'une approche basée sur l'analyse du risque toxicologique pour déterminer un niveau acceptable d'exposition aux solvants pour la travailleuse enceinte - Projet pilote portant sur le toluène**. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (Rapport R-142), Montréal
- [38] Brun, J.P.; Loiselle, C.D. (2000) Les habiletés préventives - Un métier de préventionniste en transformation. **Travail et santé** 16(1):10-12, 14-15
- [39] Bureau de la statistique du Québec (1984) **Classification des activités économiques du Québec**. Les Publications du Québec, Québec
- [40] Callahan, M.S.; Green, B. (1995) **Hazardous Solvent Source Reduction**. McGraw-Hill, New York

- [41] Cambridge Scientific Abstracts / International Food Information Service / U.S. National Library of Medicine (Trimestriel) **POLTOX I: Pollution and Toxicology (cédérom)**. SilverPlatter Information, Norwood, MA
- [42] CAS (1998) **CA Search®**. American Chemical Society, Chemical Abstracts Service, Columbus, OH
- [43] CCOHS (1999) **CHEMINFO Issue 99-2: Benzyl Alcohol**. Canadian Centre for Occupational Health and Safety, Hamilton, ON
- [44] CCOHS (1999) **CHEMINFO Issue 99-2: Dimethyl Sulfoxide**. Canadian Centre for Occupational Health and Safety (Base de données en ligne dans Internet), Hamilton, ON
- [45] CCOHS (2000) **CHEMINFO Issue 2000-1: Abietic acid**. Canadian Centre for Occupational Health and Safety, Hamilton, ON
- [46] CCOHS (2000) **CHEMINFO Issue 2000-1: Propylene glycol monomethyl ether acetate**. Canadian Centre for Occupational Health and Safety (Base de données en ligne dans Internet), Hamilton, ON
- [47] CCOSH (1998) **CHEMINFO Issue 98-4 : Propylene Glycol Monomethyl Ether**. Canadian Centre for Occupational Health and Safety, Hamilton, ON
- [48] Certin, J.F. (1998) Solvants : la démarche de substitution. **Archives des maladies professionnelles** 59(4):270-271
- [49] CHEMinfo Services Inc. (1997) **Dichloromethane (DCM) Uses in Canada: Review of Control Options and Regulatory Requirements**. Environment Canada, Environmental Protection Branch, Commercial Chemicals Division, North Vancouver, BC
- [50] Cicolella, A. (1992) Les éthers de glycol - État actuel des connaissances - Perspectives de recherche. **Cahiers de notes documentaires** 148:359-378
- [51] CIS **CISILO**. International Labour Organization, International Occupational Safety and Health Information Centre, Geneva
- [52] Cloutier, C. (21 mai 1998) **Rapport de l'évaluation des concentrations de solvants - Sico Inc.** CLSC des Seigneuries, Santé au travail, Boucherville, QC
- [53] Cloutier, C. (avril 2000) **Rapport de l'évaluation des concentrations de solvants - Lavage des planchers à l'entreprise Sico Inc.** CLSC des Seigneuries, Santé au travail, Boucherville, QC
- [54] Cognard, P.; Pardos, F. (1982) **Le collage industriel**. Les Éditions de l'Usine Nouvelle, Paris
- [55] Cohen, J. (1998) *N-Propyl Bromide from the Regulator's Perspective*. In: **Ninth Annual International Workshop on Solvent Substitution**, Scottsdale, AZ, December 1-4, 1998, Exchange/Monitor Publications and Forums, Lake Bluff, IL,
- [56] Coombs, C.F. (1996) **Printed Circuits Handbook**. McGraw-Hill, New York, NY.
- [57] Cornstubble, D.R. (1996) **CAGE 1.0 - Coating Alternatives Guide - User's Guide**. Research Triangle Institute and United States Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory, Air Pollution Prevention and Control Division, Research Triangle Parc, NC
- [58] Cowell, L. (1996) **Canadian Textile Manual**. Canadian Textile Journal, Inc., Sainte-Anne-de-Bellevue, QC.
- [59] CRIQ (1997) **Répertoire des produits disponibles au Québec**. Centre de recherche industrielle du Québec, Sainte-Foy, QC
- [60] CSST **Information en santé et sécurité du travail (ISST) (En ligne)**. Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, Centre de documentation, Montréal, QC

- [61] CUM (1987) **Règlement relatif à l'assainissement de l'air et remplaçant les règlements 44 et 44-1 de la Communauté (Règlement 90)**. Communauté urbaine de Montréal, Montréal
- [62] Curran, M.A. (1995) Using LCA-Based Approaches to Evaluate Pollution Prevention. **Environmental Progress** 14(4):247-253
- [63] Davis, J.W.; Carpenter, C.L. (1997) Environmental Assessment of the Alkanolamines. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology** 149:87-137
- [64] Dekant, W. (1996) Toxicology of Chlorofluorocarbon Replacements. **Environmental Health Perspectives** 104(Supplement 1):75-83
- [65] Douglas, J.F.; McKee, R.H.; Cagen, S.Z.; Schmitt, S.L.; Beatty, P.W.; Swanson, M.S.; Schreiner, C.A.; Ulrich, C.E.; Cockrell, B.Y. (1993) A Neurotoxicity Assessment of High Flash Aromatic Naphtha. **Toxicology and Industrial Health** 9(6):1047-1058
- [66] Dow (1997) **Ecological and Toxicological Data of DOW DOWANOL Glycol Ethers and PROGLYDE DMM**. The Dow Chemical Company, Midland, MI
- [67] Dow (1997) **Material Safety Data Sheet: Proglyde DMM Glycol Diether**. The Dow Chemical Company, Midland, MI
- [68] Dow (1998) **Ethanolamines: Storage and Handling Considerations**. The Dow Chemical Company, Midland, MI
- [69] Dow (1999) **Material Safety Data Sheet: Dowanol PMA Glycol Ether Acetate**. The Dow Chemical Company, Midland, MI
- [70] Dow (1999) **Material Safety Data Sheet: Dowanol TPM Glycol Ether**. The Dow Chemical Company, Midland, MI
- [71] DuPont Dow Elastomers (1996) **Safe Handling Guide for AquaStik Latexes**. DuPont Dow Elastomers L. L. C., Wilmington, DE
- [72] Earnest, G.S.; Ewers, L.; Ruder, A.; Goldenhar, L.; Watkins, D.S.; Hagedorn, R.T.; Flesch, J.P. (1997) **Control of Spotting Chemical Hazards In Commercial Drycleaning**. National Institute for Occupational Safety and Health. DHHS (NIOSH) Publication No. 97-158, Cincinnati, OH
- [73] Ecolink (1997) **HyperSolve NPB**. Ecolink, Inc. (Rev. 97/10/03), Stone Mountain, GA
- [74] Ecolink (1999) **Material Safety Data Sheet: SPOT-FREE, Environmentally Perfered Spot Remover**. Ecolink, Inc. (Rev. 99/03/12), Stone Mountain, GA
- [75] Ellis, W.E. (1986) **Solvents**. Ed. D. Brezinski; T.J. Miranda, Federation of Societies for Coatings Technology, Philadelphia
- [76] Elsevier (Mensuel) **World Textiles (en ligne)**. Elsevier Science, Secondary Publishing Division, New York, NY
- [77] Emploi et Immigration Canada (1985) **Classification canadienne descriptive des professions 1971 - Professions des grands groupes 11, 21, 33, 37, 41, 51, 81/82, 83, 85**. Ministre des Approvisionnements et Services Canada, Ottawa, ON
- [78] Environnement Canada (1998) **Liste des produits de substitution des substances appauvrissant la couche d'ozone et de leurs fournisseurs - Document provisoire**. Section des programmes de protection de l'ozone, Direction de l'évaluation des produits chimiques commerciaux, Environnement Canada (<http://www.ec.gc.ca/ozone/altlist/download/altlistf.pdf>), Ottawa
- [79] Environnement Canada (1999) **Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone (1998)**. **Gazette du Canada** 133(1):101-138
- [80] Environnement Canada / Santé Canada (1993) **Dichlorométhane**. Environnement Canada et Santé Canada. Liste des substances d'intérêt prioritaire. Rapport d'évaluation no. 29, Ottawa

- [81] Environnement Canada / Santé Canada (1993) **Directives pour la déclaration et les essais de substances nouvelles : substances chimiques et polymères**. Gouvernement du Canada, Environnement Canada et Santé et Bien-être social Canada (No. de catalogue MAS En49-29/2-1993F), Ottawa
- [82] Environnement Canada/Santé Canada (1993) **Liste des substances d'intérêt prioritaire - Rapport d'évaluation : Trichloroéthylène**. Gouvernement du Canada, Environnement Canada et Santé Canada, Loi canadienne sur la protection de l'environnement, Ottawa, ON
- [83] Esso (1999) **Fiche signalétique numéro 03962 : Solvant Exxsol D 60**. Pétrolière Impériale (5 novembre 1999), Toronto, ON
- [84] Esso (1999) **Fiche signalétique numéro 09061 : Solvant Varsol DX 3641**. Pétrolière Impériale (26 août 1999), Toronto, ON
- [85] Esso (1999) **Fiche signalétique numéro 13334 : Solvant DF-2000**. Pétrolière Impériale (27 février 1999), Toronto, ON
- [86] Fabritec (1998) **Material Safety Data Sheet No. 6748 VOL- Volatile Spotter**. Fabritec International, Cold Spring, KY
- [87] Fauvarque, J. (1998) Solvants chlorés : changer les pratiques. **Info Chimie Magazine** (401):65-80
- [88] Filskov, P.; Goldschmidt, G.; Hansen, M.K.; Höglund, L.; Johansen, T.; Pedersen, C.L.; Wibroe, L. (1996) **Substitutes for Hazardous Chemicals in the Workplace**. CRC Press, Inc. - Lewis Publishers, Boca Raton, FL
- [89] Flick, E.W. (1984) **Adhesive and Sealant Compound Formulations**. Noyes Publications, Park Ridge, NJ
- [90] Gaylord (1998) **Material Safety Data Sheet: DMSO (Dimethyl Sulfoxide)**. Gaylord Chemical Corporation, Slidell, LA
- [91] Gérin, M.; Bégin, D.; Goupil, J.; Garneau, R.; Sacks, S. (1995) **Substitution des solvants en milieu de travail : élaboration d'un outil pour l'intervention**. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (rapport no. R-098), Montréal
- [92] Gérin, M.; Bégin, D.; Goupil, J.; Garneau, R.; Sacks, S. (1996) Substitution des solvants : bases théoriques, analyse de substitution et grands axes des solutions. **Archives des maladies professionnelles** 57(7):519-527
- [93] Gérin, M.; Huneault, C.; Villemure, L.; Binette, L.; Mirza, T.; Bégin, D. (1998) *Substitution des solvants : L'exemple du collage de la mousse de polyuréthane*. In: **20^{ième} Congrès de l'AQHSST : Maillage...Une solution à tes problèmes**, Laval, QC, 13-15 mai 1998, pp. 96-101. Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail, Anjou, QC,
- [94] Giroux, D.; Malo, S. (1997) **SIMDUT - Classification de certaines substances chimiques**. Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, Service du répertoire toxicologique (Document No. : RT-12), Montréal
- [95] Goldschmidt, G. (1993) An Analytical Approach for Reducing Workplace Health Hazards through Substitution. **American Industrial Hygiene Association Journal** 54(1):36-43
- [96] Gouvernement du Canada (1988) Règlement sur les produits contrôlés (DORS/88-66). **Gazette du Canada Partie II** 122(2):551-589
- [97] Gouvernement du Québec (1993) **Règlement sur la qualité de l'atmosphère (c. Q-2, r.20)**. Éditeur officiel, Québec
- [98] Gouvernement du Québec (1994) Règlement modifiant le Règlement sur la qualité du milieu de travail (R.R.Q., c. S-2.1, r. 15). **Gazette officielle du Québec** 126(37):5453-5491
- [99] Gouvernement du Québec (1997) Règlement sur les matières dangereuses et modifiant diverses dispositions réglementaires. **Gazette officielle du Québec** 129(45):6681-6714

- [100] Gouvernement du Québec (1998) Projet de règlement : Qualité du milieu de travail. **Gazette officielle du Québec** 130(38):5103-5209
- [101] Gray, G.M.; Kassalow Hartwell, J. (1994) **The Role of Risk in Chemical Substitution Decisions**. Toxics Use Reduction Institute, University of Massachusetts (Methods and Policy Report No. 8), Lowell, MA
- [102] Greenley, P.; Burgess, W.A. (1999) *Philosophy and Management of Engineering Control*. In: **Handbook of Occupational Safety and Health**, pp. 539-590. L.J. DiBerardinis, Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY
- [103] Guillemot, H. (1999) Comment réagir face aux risques technologiques. **Science & Vie** (979):92-97
- [104] Hoffman, D.J. (1990) **Solvent Substitution to Reduce Air Emissions for the FRP Industry**. Waste Reduction Resource Center, North Carolina Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance, Raleigh, NC
- [105] Howard, P.H. (1997) **Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals. Volume V, Solvents 3**. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. p. 491.
- [106] HSE **HSELINE**. United Kingdom Health and Safety Executive, HSE Information Services, London, UK
- [107] HSE (1994) **7 Steps to Successful Substitution of Hazardous Substances**. United Kingdom Health and Safety Executive, HSE Books, Sudbury, Suffolk, UK
- [108] Huneault, C.; Gérin, M.; Bégin, D. (1997) **Substitution des solvants - Projet pilote de formation et d'implantation**. Régie régionale de la santé et des services sociaux de Montréal-Centre, Direction de la santé publique, Santé au travail et environnementale, Montréal
- [109] Huntsman (1995) **JEFFSOL™ Carbonates Comparative Solvents Data**. Huntsman Corporation, Houston, TX
- [110] IAC (1998) **IAC Trade & Industry**. Information Access Company, Foster, CA
- [111] IAC (1998) **PROMT™**. Information Access Company, Foster, CA
- [112] IARC (1995) **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 63 : Dry Cleaning, some Chlorinated Solvents and other Industrial Chemicals**. International Agency for Research on Cancer, Lyon
- [113] IARC (1999) *Chloroprene*. In: **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans - Re-evaluation of Some Organic Chemicals, Hydrazine and Hydrogen Peroxide - Volume 71 Part One**, pp. 227-250. World Health Organization, International Agency for Research on cancer, Lyon
- [114] IARC (2000) *Diethanolamine*. In: **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans - Some Industrial Chemicals - Volume 77 (sous presse)**, pp. World Health Organization, International Agency for Research on cancer, Lyon
- [115] IARC (2000) *Triethanolamine*. In: **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans - Some Industrial Chemicals - Volume 77 (sous presse)**, pp. World Health Organization, International Agency for Research on cancer, Lyon
- [116] IEH (1995) **IEH Assessment on Environmental Oestrogens: Consequences to Human Health and Wildlife**. Medical Research Council, Institute for Environment and Health, University of Leicester, Leicester, UK
- [117] Imperial Oil (2000) **MSDS Number 09022 : Solvesso 100**. Canadian Centre for Occupational Health and Safety, Hamilton, ON
- [118] INRS (1989) **Les adhésifs**. Institut national de recherche et de sécurité (ED 721), Paris

- [119] International Labour Organization / US National Institute for Occupational Safety and Health / US National Library of Medicine et al. (Trimestriel) **OSH-ROM (cédérom)**. SilverPlatter Information, Norwood, MA
- [120] IRTA (1997) Adhesives Conference Airs Issues. **The Alternative (Institute for Research and Technical Assistance, Santa Monica, CA) 6(1):2, 4**
- [121] ISI **Current Contents (en ligne)**. Institute for Scientific Information, Philadelphia, PA
- [122] ISP (1995) **Material Safety Data Sheet : M-Pyrol**. ISP (Canada) Inc. (MSDS No. 1 1 72755 5), Mississauga
- [123] ITT (Mensuel) **Textile Technology Digest (en ligne)**. Institute of Textile Technology, Charlottesville, VA
- [124] Jacob, M. (30 mars 1998) **Rapport sur la qualité du milieu de travail par l'équipe de santé au travail : Doral International Inc., Grand-Mère (Québec)**. CLSC du Centre-de-la-Mauricie, Shawinigan, QC
- [125] Jankovic, J.; Drake, F. (1996) A Screening Method for Occupational Reproductive Health Risk. **American Industrial Hygiene Association Journal 57(7):641-649**
- [126] Jawitz, M.W. (1997) **Printed Circuit Board Materials Handbook**. McGraw-Hill, New York, NY
- [127] Johansson, G. (1991) **NEG and NIOSH Basis for an Occupational Health Standard: Propylene Glycol Ethers and Their Acetates**. United States National Institute for Occupational Safety and Health (DHHS (NIOSH) Publication No. 91-103), Cincinnati, OH
- [128] Johnson, S.M. (1996) Waterborne Resist and Solder Mask. **Printed Circuit Fabrication 19(11)**
- [129] Kennedy, M.L. (1994) Getting to the Bottom Line: How TCA Shows the Real Cost of Solvent Substitution. **Pollution Prevention Review 4(2):155-164**
- [130] Lamarre, F. (2000) L'élimination de l'exposition au chlorure de méthylène lors de collage : c'est possible. **Travail et santé 16(1):24-27**
- [131] Lamarre, F.; Bégin, D.; Gérin, M. (1999) *La réduction de l'exposition au chlorure de méthylène chez "Domfoam International Inc" : mission accomplie*. In: **21ième congrès de l'Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail**, Montréal, 28-30 avril 1999, pp. 209-214. Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail, Anjou, QC,
- [132] Landolt, R. (1996) Solder Mask Selection for Surface Mount Technology. **CircuiTree** (February)
- [133] Landrock, A.H. (1985) **Adhesives technology handbook**. Noyes Publications, Park Ridge, NJ
- [134] Larose, C. (2000) **Rapport d'étude environnementale sur l'exposition au bêta-chloroprène pour Domfoam International Inc**. CLSC Pointe-aux-Trembles/Montréal-Est, Programme de santé au travail, Montréal, QC
- [135] Lauwerys, R.R. (1999) **Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles**. Masson, Paris
- [136] Lorton, G.A. (1988) Waste Minimization in the Paint and Allied Products Industry. **International Journal of Air Pollution Control and Waste Management 38(4):422-427**
- [137] Main-d'oeuvre et Immigration (1971) **Classification canadienne descriptive des professions 1971. Tome 1: Classification et définitions**. Information Canada, Ottawa
- [138] Mathias, C.G.T. (1994) *Occupational Dermatoses*. In: **Occupational Medicine**, pp. 93-131. C. Zenz, Ed. Mosby - Year Book, Inc., St. Louis, MO

- [139] McIlrath, D.H. (1993) A New Approach To Formulating Waterborne Contact Adhesives. **Adhesives Age** 36(4):38, 40-41
- [140] McKee, R.H.; Wong, Z.A.; Schmitt, S.; Beatty, P.; Swanson, M.; Schreiner, C.A.; Schardein, J.L. (1990) The Reproductive and Development Toxicity of High Flash Aromatic Naphtha. **Toxicology and Industrial health** 6(3/4):441-460
- [141] McMinn, B.W.; Snow, W.S.; Bowman, D.T. (1996) **Solvent-Based to Waterbased Adhesive-Coated Substrate Retrofit, Volume I: Comparative Analysis**. United States Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory (EPA/600/R-95/011A), Research Triangle Park, NC
- [142] Métro, A. (1975) **Terminologie forestière : sciences forestières, technologie, pratiques et produits forestiers**. Association française des eaux et forêts, Paris
- [143] Ministère de l'Environnement (1997) **Liste des méthodes d'analyse relatives à l'application des règlements découlant de la Loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q., c.Q-2) : Règlement sur les matières dangereuses (Q-2, r. 3.01)**. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Québec
- [144] Miron, R. (1998) **Rapport d'hygiène industrielle - Évaluation des solvants - Les Revêtements Polyval**. CLSC Jean-Olivier-Chénier, Santé au travail (10 juillet 1998), Saint-Eustache, QC
- [145] Miron, R. (1998) **Réévaluation de l'exposition aux solvants au poste de lavage des cuves - Les Revêtements Polyval**. CLSC Thérèse-de-Blainville (27 janvier 1998), Ste-Thérèse, QC
- [146] Mirza, T.; Gérin, M.; Bégin, D.; Drolet, D. (2000) A Study on the Substitution of Trichloroethylene as a Spot Remover in the Textile Industry. **American Industrial Hygiene Association Journal** 61(3):431-438
- [147] Monroe, K.R.; Hill, E.A. (1993) *SAGE (Solvent Alternatives Guide) Computer Assisted Guidance for Solvent Replacement*. In: **The 1993 International CFC and Halon Alternatives Conference - Stratospheric Ozone Protection for the 90's**, Washington, DC, 20-22 October 1993, pp. 431-439. The Alliance for Responsible CFC Policy, Frederick, MD,
- [148] Morris, A.G. (1979) A Tank Cleaning System for the Small Paint Plant. **Journal of Coatings Technology** 51(656):81-84
- [149] Murphy, I.P. (1999) Alternative Technologies Special Report - Blue Skies Ahead ? **American Drycleaner** 66(3):March
- [150] NCMS (1997) **SOLV-DB**. National Center for Manufacturing Sciences (<http://solvdb.ncms.org/index.html>), Ann Arbor, MI
- [151] NFPA (1995) **NFPA 33 : Norme sur la pulvérisation de matières inflammables et combustibles**. National Fire Protection Association (traduction commanditée par la Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec), Quincy, MA
- [152] NIOSH NIOSHTIC. United States Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH
- [153] NIOSH (1977) **Criteria for a recommended standard.... occupational exposure to Chloroprene**. United States Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health (DHEW (NIOSH) Publication No. 77-210), Cincinnati, OH
- [154] Norbäck, D.; Wieslander, G.; Edling, C. (1995) Occupational exposure to volatile organic compounds (VOC), and other pollutants from the indoor application of water-based paints. **Annals of Occupational Hygiene** 39(6):783-794

- [155] NPCA Occupational Safety Task Force (1979) **Paint Plant Floor Cleaning - Safety & Health Bulletin No. 38**. National Paint & Coatings Association, Inc., Washington, DC
- [156] OCDE (1993) **Lignes directrices de l'OCDE pour les essais de produits chimiques**. Organisation de coopération et de développement économiques, Paris
- [157] Olsen, E.; Olsen, I.; Wallstrøm, E.; Rasmussen, D. (1998) The SUBTEC Software Package: A Tool for Risk Assessment and Risk Reduction by Substitution. **Occupational Hygiene** 4(3-6):333-353
- [158] Pengelly, I.; Groves, J.; Northage, C. (1998) An investigation into the composition of products evolved during heating of hot melt adhesives. **Annals of Occupational Hygiene** 42(1):37-44
- [159] PNPPRC (1998) **Hot Melt Adhesives Technology Review**. Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center, Seattle, WA
- [160] PNUE (1987) **Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone - Acte final**. Programme des Nations unies pour l'environnement, Nairobi
- [161] Polti (2000) **Vaporetto**. Polti Canada Inc., Dorval, QC
- [162] Pependorf, W. (1984) Vapor Pressure and Solvent Vapor Hazards. **American Industrial Hygiene Association Journal** 45(10):719-726
- [163] Portier, M. (1997) **Rapport d'évaluation environnementale : Cleyn & Tinker**. Association paritaire du textile et de la bonneterie - Préventex (16 septembre 1997), Saint-Lambert, QC
- [164] Préventex (1993) Le détachant à l'inspection des tissus - Avez-vous trouvé un produit de remplacement ? **Bulletin d'information** 10(2):1
- [165] Proctor, N.H.; Hughes, J.P. (1988) **Chemical Hazards of the Workplace**. J.B. Lippincott Co., Philadelphia, PA
- [166] Protonique (1999) **Bromocarbon Solvents**. Protonique SA, Romanel-sur-Lausanne, Switzerland
- [167] Rapra (1998) **Rapra Abstracts**. Rapra Technology Limited, Shrewsbury, UK
- [168] Rouhi, M. (1995) Ultrasonic cleaning cuts waste, energy use. **Chemical & Engineering News** 73(27):22-23
- [169] Roy, J.A. (1995) La substitution des solvants en milieu de travail : Un grand pas vient d'être fait! **Santé Sécurité +** 12(2):8
- [170] Russell, J. (1992) Substitution under COSHH. **Industrial relations review and report** (517):5-7
- [171] Sandmeyer, E.E. (1981) *Aromatic Hydrocarbons*. In: **Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Volume 2B: Toxicology**, pp. 3253-3431. G.D. Clayton; F.E. Clayton, Ed. John Wiley & Sons, New York, NY
- [172] Sandmeyer, E.E. (1981) *Organic Sulfur Compounds*. In: **Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Volume 2A: Toxicology**, pp. 2061-2119. G.D. Clayton; F.E. Clayton, Ed. John Wiley & Sons, New York, NY
- [173] Sauvage, L. (1998) **Rapport d'étude environnementale - XXX Inc.** Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur de l'habillement (Novembre 1998), Montréal
- [174] Sauvage, L. (1999) **Renseignements concernant la ventilation - XXX Inc.** Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur de l'habillement (Janvier 1999), Montréal
- [175] Schock, A.V. (1995) **Material Safety Data Sheet: A-8408 Foam Adhesive**. Zytek Inc., Whitby, ON

- [176] Shapiro, K.; Little, R.; White, A. (1993-1994) To Switch or Not to Switch: A Decision Framework for Chemical Substitution. **Pollution Prevention Review** 4(1):3-13
- [177] Shapiro, K.; White, A. (1997) **Pathway to Product Stewardship: Life-Cycle Design as a Business Decision-Support Tool**. United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics (Report of the Tellus Institute, Boston, MA, to the US EPA) (EPA742-R-97-008), Washington, DC
- [178] Shell (1996) **Shell BlendPro™ Computer Blend Program**. Shell Chemical Company, Houston, TX
- [179] Shell (2000) **Material Safety Data Sheet No. 7565: Shellsol A100**. Shell Chemical Company, Houston, TX
- [180] Sherman, J.; Chin, B.; Huibers, P.D.T.; Garcia-Valls, R.; Hatton, T.A. (1998) Solvent Replacement for Green Processing. **Environmental Health Perspectives** 106(Supplement 1):253-271
- [181] Shubkin, R.L.; Liimatta, E.W. (1997) *An Environmentally Acceptable Solvent Based On normal-Propyl Bromide*. In: **Eighth Annual International Workshop On Solvent Substitution**, Scottsdale, AZ, 2-5 December 1997, Exchange/Monitor Publications & Forums, Lake Bluff, Illinois,
- [182] Skeist, I. (1990) **Handbook of Adhesives**. Van Nostrand Reinhold, New York.
- [183] SNBOSH (1997) **Occupational Exposure Limit Values - Ordinance of the Swedish National Board of Occupational Safety and Health containing Provisions on Occupational Exposure Limit Values, together with General Recommendations on the implementation of the Provisions**. Swedish National Board of Occupational Safety and Health, Solna
- [184] Sørensen, F.; Styhr Petersen, H.J. (1988) Substitution of dangerous chemicals by a process-based method. **Staub - Reinhaltung der Luft** 48(12):469-472
- [185] Sørensen, F.; Styhr Petersen, H.J. (1991) A Process-Based Method for Substitution of Hazardous Chemicals and its Application to Metal Degreasing. **Hazardous Waste & Hazardous Materials** 8(1):69-84
- [186] Sørensen, F.; Styhr Petersen, H.J. (1995) Substitution of Hazardous Chemicals and the Danish Experience. **Occupational Hygiene** 1(4):261-278
- [187] Statistique Canada (1998) **Système de classification des industries de l'Amérique du Nord : Canada 1997**. Statistique Canada, Division des normes (Catalogue n^o 12-501-XPf), Ottawa, ON
- [188] Stringer, D.A. (1995) **The Toxicology of Glycol Ethers and its Relevance to Man. Technical Report No. 64**. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals, Brussels. p. 350.
- [189] Stuart III, R.B.; Moore, C. (1999) **Safety & Health on the Internet**. Government Institutes Division ABS Group Inc., Rockville, MD
- [190] Swedish Criteria Group for Occupational Standards (1992) Consensus report for Dimethylsulfoxide (DMSO). **Arbete och Hälsa** (47):26-31
- [191] Swedish Work Environment Fund (1987) **Paints, varnishes, adhesives**. Swedish Work Environment Fund, Stockholm
- [192] Talmage, S.S. (1994) **Environmental and Human Safety of Major Surfactants : Alcohol Ethoxylates and Alkylphenol Ethoxylates**. Ed. The Soap and Detergent Association, Lewis Publishers, Boca Raton, FL
- [193] Tellus (1997) **P2/FINANCE for Canadian Operations**. Tellus Institute, Boston, MA

- [194] Testud, F.; Martin, J.C.; Descotes, J.; Conso, F. (2000) Intoxications liées à la substitution des hydrocarbures halogénés - Revue de la littérature. **Archives des maladies professionnelles** 61(4):278-281
- [195] Thomas, B.J. (1996) **The Internet for Scientists and Engineers : Online Tools and Resources**. SPIE Optical Engineering Press and IEEE Press, Bellingham / Piscataway
- [196] Timberlake, D.L.; Govind, R. (1994) *Expert System for Solvent Substitution*. In: **DfE : The Environmental Paradigm for the 21st Century**, Washington, D.C., 21-24 August 1994, pp. 215-217. American Chemical Society; Division of Environmental Chemistry,
- [197] Truchon, G.; Tardif, R.; Brodeur, J. (Avril 1997) **Validation de la mesure de l'o-crésol urinaire comme indicateur de l'exposition professionnelle au toluène. Rapport soumis au comité de santé et sécurité de l'usine de Longueuil de la compagnie Sico**. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, Montréal, QC
- [198] TURI (1999) **Industrial Cleaning Survey: Directory of Vendors**. Toxics Use Reduction Institute, University of Massachusetts (Technical Report No. 15, Fourth Edition), Lowell, MA
- [199] Turner, S.L.; Cornstubble, D.R.; Northeim, C.M. (1998) **Evaluation and Performance Assessment of Innovative Low-VOC Contact Adhesives in Wood Laminating Operations**. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development (EPA Cooperative Agreement No. CR-8241 52) (EPA/600/R-98/055), Washington, DC
- [200] U.S. NLM **MEDLINE (en ligne)**. United States Department of Health & Human Services, National Institutes of Health, National Library of Medicine, Bethesda, MD
- [201] U.S. NLM **TOXLINE (en ligne)**. United States Department of Health & Human Services, National Institutes of Health, National Library of Medicine, Bethesda, MD
- [202] U.S. NLM (1999) **Benzyl Alcohol**. United States National Library of Medicine, Hazardous Substances Data Bank, Bethesda, MD
- [203] U.S. NLM (2000) **1,2,4-Trimethylbenzene**. United States National Library of Medicine, Hazardous Substances Data Bank, Bethesda, MD
- [204] U.S. NLM (2000) **Hazardous Substances Data Bank: 2-Chlorotoluene**. United States National Library of Medicine, Bethesda, MD
- [205] U.S. NLM (2000) **Hazardous Substances Data Bank: Dimethyl Sulfoxide**. United States Department of Health & Human Services, National Institutes of Health, National Library of Medicine, Bethesda, MD
- [206] UNEP (1991) **Montreal Protocol 1991 Assessment. Report of the Solvents, Coatings and Adhesives Technical Options Committee**. United Nations Environment Programme, Nairobi
- [207] UPACO (sans date) **Alternatives to Methylene Chloride Adhesives in the Foam Industry**. UPACO Adhesives Div. Worthen Industries, Inc., Richmond, VA
- [208] UPACO (sans date) **Technical Data Sheet: Fabond 472**. UPACO Adhesives Div. Worthen Industries, Inc., Richmond, VA
- [209] USEPA (1988) **Waste Minimization Opportunity Assessment Manual**. Government Institutes Inc., Rockville, MD
- [210] USEPA (1991) **Guides to Pollution Prevention: The Fiberglass-Reinforced and Composite Plastics Industry**. U.S. Environmental Protection Agency; Risk Reduction Engineering Laboratory and Center for Environmental Research Information; Office of Research and Development (EPA/625/7-91/014), Cincinnati, OH
- [211] USEPA (1993) Protection of Stratospheric Ozone. **Federal Register** 58(236):65018-
- [212] USEPA (1994) Protection of Stratospheric Ozone: Significant New Alternatives Policy Notice of Final Rule Making. **Federal Register (18 March 1994)** 59(53):13044

- [213] USEPA (1996) **Best Management Practices for Pollution Prevention in the Slabstock and Molded Flexible Polyurethane Foam Industry**. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory (EPA/625/R-96/005), Cincinnati, OH
- [214] USEPA (1996) **Screen Printing Project Case Study 2: Changing Equipment and Reducing Solvent Use In Screen Reclamation**. United States Environmental Protection Agency, Design for the Environment (EPA 744-F-96-011), Washington, DC
- [215] USEPA (1997) **Resource Guide for Garment and Textile Care Professionals**. United States Environmental Protection Agency, Pollution Prevention And Toxics (EPA 744-K-98-005), Washington, DC
- [216] USEPA (1999) Protection of Stratospheric Ozone; Listing of Substitutes for Ozone-Depleting Substances. **Federal Register** 64(32):8043-8048
- [217] Vendette, A. (1992) **L'industrie des adhésifs et des scelleurs polymériques au Québec: Monographie Répertoire**. Ministère de l'industrie, du commerce et de la technologie; Gouvernement du Québec, Montréal
- [218] Verschueren, K. (1996) **Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals**. Van Nostrand Reinhold, New York, NY
- [219] Welsh, M.S.; Lamesse, M.; Karpinski, E. (2000) The Verification of Hazardous Ingredients Disclosures in Selected Material Safety Data Sheets. **Applied Occupational and Environmental Hygiene** 15(5):409-420

Annexe I Fiche de collecte des informations

A- Renseignements généraux sur l’entreprise

Raison sociale

Code d’activité économique de l’entreprise (CAEQ²⁵) (39)

code principal

code secondaire

Titre de l’activité économique (CAEQ)

activité principale

activité secondaire

Produits fabriqués (CRIQ²⁶) (59)

Type de client de l’entreprise

B- Description complète et détaillée du procédé général de fabrication

⇒ plan de l’usine (indiquer où le solvant à remplacer est utilisé)

⇒ organigramme du procédé (indiquer où le solvant à remplacer est utilisé)

⇒ liste des équipements (nom et modèle) (si pertinent)

⇒ conditions d’opération (p. ex. température de l’étape de séchage)

⇒ liste des matières premières (si pertinent)

⇒ liste des produits finis (si pertinent)

⇒ formes d’énergie utilisée dans le procédé à chaque étape (p. ex. four au gaz naturel pour le séchage de la peinture)

C- Description spécifique de l’étape du procédé où le solvant à remplacer est mis en œuvre

⇒ nom commercial du solvant

⇒ nom générique

⇒ composition (fiche signalétique)

⇒ fabricant (adresse, téléphone)

⇒ historique de l’utilisation du solvant

²⁵ Classification des activités économiques du Québec

²⁶ Centre de recherche industrielle du Québec

- ⇒ autres solvants utilisés auparavant
- ⇒ solvants déjà essayés
- ⇒ coût du solvant à substituer quantité totale utilisée par unité de temps
- ⇒ quantité utilisée pour effectuer la tâche par travailleur
- ⇒ bilan de masse (quantité achetée, quantité évaporée, déchet dangereux)
- ⇒ système d’évacuation et de traitement des vapeurs du solvant à remplacer
- ⇒ description de la tâche effectuée par le travailleur manipulant le solvant (existence d’un manuel des procédures?)
- ⇒ coût de la gestion des déchets dangereux de solvants à substituer
- ⇒ rôle du solvant
- ⇒ description de l’objet, de la pièce sur laquelle est appliquée le solvant (forme, dimension, nombre, matériaux)
- ⇒ cahier des charges (« recueil des caractéristiques que doit présenter un matériel, une réalisation technique à l’étude ou en cours de réalisation », p. ex. spécifications militaires américaines MILxxxx)
- ⇒ contrôle de la qualité (p. ex. test de propreté, inspection visuelle)
- ⇒ nature du substrat
- ⇒ état du substrat
- ⇒ nature de la salissure à enlever ou de la peinture à décaper (s’il y a lieu)
- ⇒ origine de la salissure à enlever ou de la peinture à décaper (où dans le procédé?)
- ⇒ contrainte technique particulière lors de l’utilisation du solvant (p. ex. risque de dégradation thermique du solvant en contact avec des pièces chaudes)
- ⇒ description du poste de travail (p. ex. dimension, ventilation, équipement)
- ⇒ nombre de travailleurs effectuant cette tâche
- ⇒ horaire de travail et fonctionnement
- ⇒ caractéristique(s) recherchée(s) pour le solvant substitutif
 - essentielle(s)
 - souhaitable(s) mais non essentielle(s)
- ⇒ moyens de protection personnelle (gants, tablier, lunettes, visière, respirateur)

D- Documentation existante dans l’entreprise

- ⇒ rapports techniques de l’entreprise
- ⇒ documents commerciaux (entreprise, fournisseurs de solvants)
- ⇒ rapports d’hygiène industrielle (CLSC, consultant)
- ⇒ audits environnementaux (procédure de contrôle de la gestion environnementale)
- ⇒ problèmes de santé documentés (p. ex. irritation des yeux, de la peau, intolérance à l’alcool, étourdissement)

Remarque : Cette fiche sert à recueillir dans l’entreprise les renseignements nécessaires à la formulation précise du problème à résoudre (étape 3).

Annexe II

CLEYN TINKER

AGIK

1.0 Identification du problème

En 1993, l’Association paritaire du textile et de la bonneterie (Préventex) lançait un appel aux entreprises de son secteur afin de trouver un solvant pour remplacer le 1,1,1-trichloroéthane (TCA), utilisé pour le détachage des tissus aux postes d’inspection dans les usines de finition de textile (164). En effet, ce solvant chloré devait être banni au Canada le 1^{er} janvier 1996 en vertu du protocole de Montréal sur la protection de la couche d’ozone stratosphérique (79). Dans les années suivantes, le TCA se faisant de plus en plus rare sur le marché, certaines entreprises de textile ont commencé à lui substituer le trichloréthylène (TCE). Ce solvant étant plus toxique que le TCA, madame Martine Portier, hygiéniste industrielle chez Préventex, a contacté l’Université de Montréal (UdeM) au printemps 1996 pour l’aider à identifier un autre solvant pour le remplacer. L’usine de finition de la société Cleyn & Tinker Inc.²⁷ (C&T) a été choisie par Préventex comme étant un cas type de la problématique en question. Une première rencontre officielle entre les chercheurs de l’UdeM et les représentants de C&T a eu lieu à Huntingdon le 8 juillet 1997. L’entreprise désirait remplacer le TCE en raison de son potentiel cancérigène et à cause de plaintes d’irritation oculaire et d’assèchement de la peau de la part de certain(e)s employé(e)s utilisant ce détachant.

2.0 Rédaction d’un plan d’action

Le 17 juillet 1997 un plan d’action succinct est adressé à monsieur Pierre Lacasse, directeur de l’usine n^o 6 de C&T. Ce plan comprenait la formation d’un comité de substitution constitué des personnes suivantes :

Monsieur Yves Roy, directeur technique de l’usine n^o 6 de C&T, membre du comité de santé et de sécurité (SST) de cette entreprise;

madame Ghislaine Pépin, travailleuse de l’usine n^o 6 de C&T, chargée du détachage des tissus, membre du comité de SST de cette entreprise;

madame Martine Portier puis madame Michèle Lalonde, hygiénistes industrielles chez Préventex;

²⁷ Cleyn & Tinker, usine numéro 6, 142, route 102, Huntingdon (Québec) J0S 1M0
<http://www.cleyn.com/indexf.htm>

monsieur Denis Bégin, agent de recherche et madame Touseef Mirza, étudiante à la maîtrise, à l'UdeM.

Le plan stipulait également que la collaboration d'autres personnes pouvait être sollicitée par le comité de substitution. La démarche de substitution mise en œuvre serait celle en neuf étapes présentée à la réunion du 8 juillet 1997. L'entreprise devait appuyer cette démarche et accepter que les résultats du projet soient publiés sous forme d'un rapport scientifique à l'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec. Le plan d'action a été formellement contresigné par la direction de C&T.

3.0 Collecte des informations sur le procédé

L'objectif de cette étape était de formuler de façon précise le problème à résoudre. Cette section présente donc une description du procédé de fabrication des tissus, du détachage des tissus y compris l'exposition au solvant à substituer et l'origine des taches sur les tissus. Une description des tâches accomplies est également présentée afin de comprendre comment ces données ont été recueillies.

3.1 Méthodologie

Les informations sur les différentes étapes de la production du tissu chez C&T ont été colligées à l'aide de la fiche de collecte de renseignements élaborée spécifiquement pour cette étape du processus de substitution (voir l'annexe I), d'une étude du procédé en compagnie du directeur technique de l'usine n^o 6, d'interviews de divers employés de l'entreprise, de plusieurs visites des usines numéro 4 et 6 et d'observation des travailleurs lors des sessions d'échantillonnage des solvants (voir la chronologie des événements au tableau V).

Tableau V
Chronologie des principaux événements de la recherche
d'une option de rechange chez Cleyn & Tinker

Date	Remarque
Mai 1993	Préventex lance un appel dans son bulletin d'information pour trouver un substitut au TCA (164)
29 avril 1996	Martine Portier, hygiéniste industrielle chez Préventex contacte l'UdeM pour trouver un substitut au TCE
13 mars, 17 et 29 mars 1997	Échantillonnage du TCE (Préventex)
7, 8 et 10 juillet 1997	Échantillonnage du TCE (Préventex) et début du travail de recherche de l'UdeM
15 septembre 1997	Étude détaillée du procédé de production du tissu
29 octobre 1997	Interview des travailleurs (mécanicien, ingénieur, contrôleuses de tissu)

Date	Remarque
Novembre 1997 à février 1998	Recherche exhaustive dans la littérature, auprès des fabricants et formulateurs de solvants
3 mars 1998	Réunion où l’UdeM présente ses avenues de solution à C&T
14 mai 1998	Test du Spot-Free comme détachant
Mai 1998	Un nouveau solvant substitutif prometteur est identifié (VOL Volatile Spotter)
27 mai 1998	Échantillonnage du 1-bromopropane
Été 1998	Trois autres solvants substitutifs potentiels sont identifiés (hydrocarbures hydrotraités : DF-2000, Varsol DX 3641, Exxsol D60)
1 ^{er} septembre 1998	Test des 3 hydrocarbures hydrotraités, du VOL Volatile Spotter et d’un appareil de détachage à la vapeur sèche
8 décembre 1998	Échantillonnage des composants du VOL Volatile Spotter
7 mai 1999	Rapport final adressé à C&T
6 juin 1999	Présentation du rapport final chez C&T

3.2 Fabrication du tissu

Fondée en 1930, la société C&T est la propriété de Allied Textiles (London, UK). Elle possède des usines à Huntingdon au Québec et à Malone dans l’État de New York. Ces usines sont spécialisées dans la fabrication du fil, le tissage du tissu ou dans la finition du tissu. C&T fabrique du tissu de laine peignée (« worsted »). Les tissus sont fabriqués à partir de fibres telles que la laine, le polyester, le Lycra^{MD} (élastomère de polyuréthane), la rayonne, le Nylon^{MD} (polyamides) et le lin. Quatre-vingt-dix pour cent des tissus contiennent de la laine (35 à 100 %). Des centaines de sortes de tissus différents résultent donc des divers mélanges de fibres textiles. Les tissus fabriqués par C&T sont vendus à des clients qui fabriquent des vêtements pour hommes, femmes, enfants ou des vêtements professionnels (p. ex. des habits pour les policiers, militaires et pompiers). La société C&T, une industrie textile de première transformation, est classée dans le groupe 1821²⁸ de l’ancienne Classification des activités économiques du Québec (CAEQ) (39) et dans le groupe 313210²⁹ du nouveau Système de classification des industries de l’Amérique du Nord (SCIAN) (187).

Le fil à tisser est fabriqué à l’usine n^o 2 (filature) puis acheminé à l’usine n^o 4 où le tissu est fabriqué par tissage. On y retrouve deux types de machines : 60 métiers à tisser à ratière (« dobby looms ») et 18 machines à tisser à lances (« rapier looms »). De la teinture fugitive et de l’huile d’ensimage hydrosolubles sont appliquées sur le fil avant son tissage. Le tissu est ensuite acheminé à l’usine n^o 5 pour inspection et réparation manuelles (reprisage). Il est par là

²⁸ Industrie de la filature et du tissage de la laine

²⁹ Usines de tissus larges

suite expédié à l'usine n^o 6 pour la finition. Cette usine fait également de la teinture en fils et en pièces. Environ 130 personnes travaillent à l'usine n^o 6.

À l'usine n^o 6 le tissu est déplacé par lots d'un procédé à l'autre. Les pièces de tissu mesurent 1,5 m de largeur et de 65 à 90 m de long. Le tissu est d'abord lavé à l'eau additionnée de détergent pour éliminer l'huile d'ensimage et la teinture fugitive. Il est ensuite essoré puis séché au séchoir, nettoyé à sec (au tétrachloréthylène; 60 % des tissus seulement), teint, séché de nouveau puis examiné pour la première fois par une première équipe de contrôleurs de tissu (code 8276-130 de la CCDP³⁰ (77)) qui enlèvent les taches sur le tissu. Le tissu peut également subir les divers traitements suivants :

- Le foulardage (imprégnation) à la résine fluorocarbonée pour lui donner un caractère hydrofuge ou à la résine de polyuréthane pour prévenir le feutrage;
- le rasage (les fibres debout sont coupées ou égalisées sur l'endroit du tissu);
- le flambage (brûlage des fibres ébouriffées du tissu);
- le décatissage humide, destiné à fixer les dimensions, améliorer la main du tissu et éliminer les plis.

Le tissu subit enfin une dernière inspection minutieuse et un détachage par une deuxième équipe de contrôleurs avant d'être entreposé.

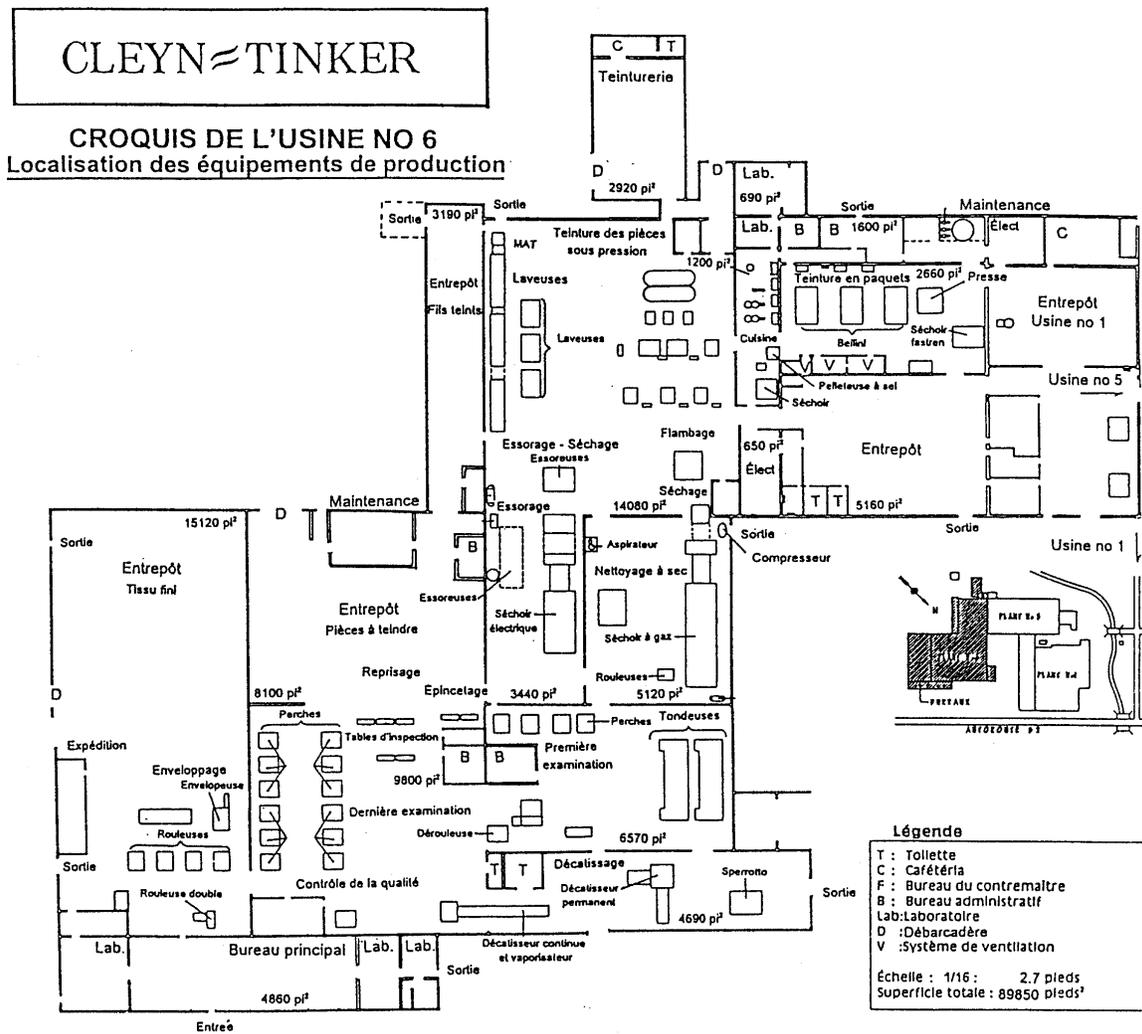
La figure 1 présente le plan de l'usine n^o 6 de C&T où l'on peut situer les divers équipements de production.

3.3 Le détachage du tissu

La première équipe de contrôleurs de tissu comporte 4 personnes alors que la deuxième équipe est composée de 11 personnes. La deuxième inspection du tissu est plus rigoureuse que la première. Chaque contrôleur travaille devant une large table fortement inclinée (70^o) sur laquelle le tissu défile de haut en bas à une vitesse de 0,6 m/s. Le contrôleur peut arrêter à volonté le défilement du tissu à l'aide d'une manette. Un contrôleur inspecte quotidiennement environ 40 pièces de tissu. Il peut donc contrôler entre 3 900 et 5 400 m² de tissu par jour. Les contrôleurs sont chargés d'identifier les taches sur le tissu et de les éliminer à l'aide de TCE. Le diamètre des taches varie d'environ 0,1 à 10 cm. Le solvant est pulvérisé au besoin sur la tache à l'aide d'un pistolet à air comprimé muni d'un godet contenant moins d'un litre de TCE. La durée de pulvérisation par tache varie de 3 à 15 secondes. De 600 à 800 L de TCE sont utilisés annuellement pour cette opération à l'usine n^o 6 ou environ 1 L en moyenne par contrôleur par semaine. Les tables d'inspection ne sont pas ventilées et les contrôleurs ne portent ni gants ni respirateurs.

³⁰ Classification canadienne descriptive des professions

Figure 1 : Plan de l’usine n° 6 de Cleyn & Tinker



3.3.1 Exposition des contrôleurs au TCE

Madame Martine Portier, a procédé en 1997 à plusieurs sessions d'échantillonnage du TCE dans la zone respiratoire de contrôleurs de tissu. La valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP) admissible, d'après le Règlement sur la qualité du milieu de travail, est égale à 269 mg/m³ de TCE (98). Les résultats des analyses environnementales pondérés sur 8 heures de travail étaient en deçà de la moitié de la norme en vigueur au Québec (163). Plusieurs travailleurs ont cependant rapporté des problèmes oculaires : irritation, rougeur, enflure et sensation de brûlure (163). Par ailleurs le TCE est considéré comme *probablement cancérigène* pour l'humain par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) (112). De plus la pénétration percutanée du TCE est possible (28). Il était donc justifié de travailler à son remplacement même si les niveaux de TCE dans l'air respiré par les travailleurs respectaient la réglementation québécoise.

3.4 Origine des taches

L'origine des taches a été étudiée afin d'évaluer la possibilité de les éliminer à la source. Le tissu traité à l'usine n^o 6 provient de l'usine n^o 4 où les métiers à tisser exigent l'utilisation d'huile minérale pour leur lubrification. Ces machines ont tendance à projeter des gouttelettes d'huile lubrifiante sur le tissu. Les métiers à ratière, plus vieux, projettent plus d'huile lubrifiante sur le tissu que les machines à lances, plus récentes. Ces taches d'huile minérale constituent la première source importante de souillure sur les tissus.

La deuxième source importante de tache provient des séchoirs, à l'usine n^o 6. Le tissu est introduit horizontalement et en continu dans le séchoir. Il est tendu en le fixant latéralement par un ensemble de griffes et de mâchoires qui roulent sur des rails. Les roulements mécaniques de ce système exigent l'application d'une graisse minérale lubrifiante. Celle-ci souille parfois le tissu aux extrémités.

Les autres machines de l'usine n^o 6 (huile et graisse lubrifiantes) ainsi que le plancher (poussière) constituent des sources secondaires mais non négligeables de taches.

3.5 Efforts antérieurs pour réduire les taches

La solution ultime pour réduire les taches à l'usine n^o 4 est de substituer les machines à lances aux métiers à ratière car elles projettent moins d'huile lubrifiante sur les tissus. La direction de C&T remplace peu à peu les vieux métiers par les nouveaux. Des efforts auraient été consentis ces dernières années pour diminuer la quantité d'huile lubrifiante utilisée sur les métiers à tisser, entraînant ainsi une diminution appréciable des taches. Enfin, on aurait même recherché, sans succès, des huiles lubrifiantes hydrosolubles pour les métiers à tisser auprès du fabricant Prolab Inc. (Black Lake, QC).

Un système d'huilage automatique des roulements sur les rails, contrôlé par ordinateur, a été installé en 1996 sur les séchoirs. Cet équipement diminuerait considérablement la quantité d'huile lubrifiante utilisée et transférée sur les tissus.

4.0 Proposition d'options de rechange

Au vu des efforts déjà consentis par C&T pour la réduction à la source des taches sur les tissus, le comité de substitution a concentré ses efforts pour trouver un solvant ou un autre dispositif apte à remplacer le TCE.

4.1 Critères de sélection

Pour C&T, le nouveau solvant devait répondre aux critères suivants : évaporation rapide, ininflammable, propriété détachante semblable au TCE. La première condition visait à respecter la vitesse actuelle du défilement du tissu aux postes de contrôle des tissus. La deuxième condition était exigée en raison de la présence d'électricité statique générée par les tissus laineux. Enfin la troisième condition devait être respectée afin de s'assurer que toutes les taches soient éliminées.

Afin de choisir parmi les nombreux solvants disponibles sur le marché, les trois exigences techniques de C&T devaient se traduire en valeurs précises de propriétés physico-chimiques spécifiques. L'UdeM a donc proposé les valeurs et paramètres suivants pour juger de l'acceptabilité des solvants substitutifs :

- a) Taux d'évaporation > 1 et < 10 par rapport à celui de l'acétate de butyle normal = 1 (25); cette fourchette de valeurs permettait d'éliminer les solvants à évaporation trop lente ou trop rapide;
- b) point d'éclair $> 42^{\circ}\text{C}$ (27); la température dans l'usine n^o 6 ne dépassant jamais 32°C , une température de 10°C supérieure à cette dernière a été jugée sécuritaire;
- c) indice Kauri-butanol (K_b) > 30 (26); les solvants dont le pouvoir de dissolution était inférieur à celui des hydrocarbures aliphatiques usuels les moins performants étaient ainsi éliminés.

Pour l'UdeM, le solvant substitutif devait en plus être moins toxique que le TCE. À cette étape-ci, aucune étude approfondie de la toxicité des solvants substitutifs n'a été effectuée. Seules les données généralement connues des hygiénistes industriels ont été prises en compte afin d'éliminer a priori les solvants les plus toxiques. À titre d'exemple, toute préparation commerciale contenant du tétrachloréthylène n'était par retenue en raison de son potentiel cancérigène (112).

4.2 Sources d'information

Plusieurs sources d'information ont été utilisées pour identifier des options de rechange.

4.2.1 Littérature

Des recherches documentaires traditionnelles ont été entreprises dans les bases de données bibliographiques suivantes : Medline (200), Toxline (201), Poltox (41), OSH-ROM (119), Current Contents (121), ISST (60), World Textiles (76), Textile Technology Digest (123).

4.2.2 Personnes-ressources

De nombreux contacts ont été établis avec divers spécialistes d'associations professionnelles (p. ex. American Association of Textile Chemists and Colorists, Research Triangle Park, NC), industrielles (p. ex. International Fabricare Institute, Silver Spring, MD) et de fabricants (p. ex. Pétrolière impériale, Sarnia, ON) ou distributeurs de solvants (p. ex. Produits chimiques Cartier, Lachine, QC). Les coordonnées des divers organismes et sociétés privées ont été identifiées à partir de documents tels que des répertoires industriels généraux (59), spécialisés (58) et gouvernementaux (78).

4.2.3 Internet

Des recherches ont été entreprises dans le réseau Internet au niveau des sites Web et des groupes de discussion.

4.2.3.1 Sites Web

Les sites répertoires suivants ont fait l'objet de recherches exhaustives : OSHWEB³¹, CCHST³², Christie³³. Plusieurs sites W3 ont été compulsés systématiquement, notamment ceux de NIOSH³⁴, OSHA³⁵ et USEPA³⁶.

4.2.3.2 Groupes de discussion

Les groupes de discussion par gestionnaire de courrier électronique suivants ont été mis à contribution en postant des messages détaillant la recherche d'options de rechange : P2-TECH³⁷, P2-Tex³⁸, HS-Canada³⁹, SAFETY⁴⁰, Occ-Env-Med-L⁴¹, AIHAIH-List⁴².

4.2.4 Visites d'usines

En plus des usines de C&T, trois autres fabricants de textile ont été visités : Tissage Magog (Magog, QC), CS Brooks (Magog, QC) et Consoltex (Cowansville, QC).

4.3 Options préliminaires

Le tableau VI présente la liste des options préliminaires colligées à partir des sources d'information indiquées. Cette liste n'est pas exhaustive mais représente les principales avenues

³¹ <http://oshweb.me.tut.fi/cgi-bin/oshweb.pl>

³² <http://www.ccohs.ca/resources/>

³³ <http://www.christie.ab.ca/safelist/safefull.htm>

³⁴ <http://www.cdc.gov/niosh/homepage.html>

³⁵ <http://www.osha.gov/>

³⁶ <http://www.epa.gov/>

³⁷ <http://www.great-lakes.net/lists/p2tech/p2tech.info>

³⁸ pour s'abonner, expédier une demande de nom d'utilisateur et de mot de passe par courriel à brent_smith@ncsu.edu

³⁹ <http://www.cchst.ca/hscanada/hscanada.html>

⁴⁰ <http://siri.uvm.edu/mail/safewel/index.html>

⁴¹ <http://occ-env-med.mc.duke.edu/oem/occ-env-.htm>

⁴² <http://www.AIHA1.org/Committees/CAC/ih-list-FAQ.htm>

qui étaient *a priori* techniquement envisageables ou proposées comme telles d’après les spécialistes consultés. À titre d’exemple, le tableau VI ne contient pas d’options qui apparaissaient d’emblée inacceptables telles que les détachants aqueux, sachant qu’ils s’évaporerait trop lentement.

Tableau VI : Liste des options préliminaires pour remplacer le trichloréthylène*

N ^o	Nom commercial (fournisseur)	Composition	Source	Remarques**
0	Trichloroéthylène (Van Waters & Rogers, Richmond, BC)	Trichloroéthylène (CAS ^{***} 79-01-6)	<u>Solvant utilisé présentement chez C&T</u>	Pas de point d'éclair K _b = 129 Taux d'évaporation = 6,39
	Solvants purs			
1	AK-225 (AGA Chemicals, Charlotte, NC)	HCFC-225ca + HCFC-225cb (CAS 422-56-0 + 507-55-1)	David A. Ferguson, AGA Chemicals, Charlotte, NC	Pas de point d'éclair K _b = 34 (ca) K _b = 30 (cb) Taux d'évaporation = 101 (ca); 84 (cb) (Éther = 100)
2	Borotheane (Advanced Chemical Design, Cleveland, OH)	Chlorobromomethane (CAS 74-97-5)	Kenny Stewart, Pantex Plant, Amarillo, TX (P2TECH) + magazine OzonAction n ^o 22 (avril 1997)	Pas de point d'éclair K _b = 132 PDO ^{****} = 0,17 - 0,28
3	1,2-Dichloropropane	1,2-dichloropropane (CAS 78-87-5)	HSELINE (29)	Point d'éclair = 21 °C
4	Genesolv 2000 (AlliedSignal, Morristown, NJ)	HCFC-141b (CAS 1717-00-6)	Mark Silver, DyStar L.P., Charlotte, NC (P2TECH)	Pas de point d'éclair K _b = 56 Taux d'évaporation = 1,2 (Éther = 1)
5	Genesolv 2004 (AlliedSignal, Morristown, NJ)	HCFC-141b (CAS 1717-00-6) Méthanol (CAS 67-56-1)	Mark Silver, DyStar L.P., Charlotte, NC (P2TECH)	Pas de point d'éclair K _b = 76
6	HFE-7100 (renommé NOVEC, 3M, St-Paul, MN)	Hydrofluoroéthers (CAS 163702-08-7 + 163702-07-6)	Publicité dans le magazine Precision Cleaning	Pas de point d'éclair K _b = 10
7	d-Limonène	d-Limonène (CAS 5989-27-5)	Plusieurs fournisseurs de diverses formulations	Point d'éclair = 48 °C K _b = 68 Taux d'évaporation = 0,25
8	Nitroethane (Angus Chemical Co., Buffalo Grove, IL)	Nitroéthane (CAS 79-24-3)	Donald D. Ellis, Angus Chemical, Buffalo Grove, IL	Point d'éclair = 31 °C Taux d'évaporation = 1,21

N ^o	Nom commercial (fournisseur)	Composition	Source	Remarques**
9	OXSOL 100 (Occidental Chemical Corp., Dallas, TX)	1-chloro-4-trifluorométhyl-benzène (CAS 98-56-6)	Fred Boxa, Occidental Chemical Corp., Mclean, VA	Point d’éclair = 43 °C K _b = 64 Taux d’évaporation = 0,9
10	Spot-All (Rhode Island Chemical Corp., Providence, RI)	Non divulgué (probablement hydrocarbure halogéné; peut-être 1-bromopropane)	Un représentant du fournisseur a expédié un échantillon chez C&T	Pas de point d’éclair
11	Spot-Free (Ecolink, Stone Mountain, GA)	1-Bromopropane (CAS 106-94-5)	Janice Baker, NorthTec, Bigfork, MN (P2TECH)	Pas de point d’éclair K _b = 125 Taux d’évaporation = 4,5
12	Vertrel XF (Dupont, Wilmington, DE)	Décafluoropentane (CAS 138495-42-8)	Publicité dans le magazine Precision Cleaning	Pas de point d’éclair K _b = 9
Mélanges de solvants				
13	DF-2000 (Pétrolière Impériale, Toronto, ON)	Naphta lourd en C ₆ -C ₁₃ hydrotraité (CAS 64742-48-9)	John W. Young, Pétrolière Impériale, Sarnia, ON	Point d’éclair = 64 °C K _b = 27
14	Exxsol D60 (Pétrolière Impériale, Toronto, ON)	Distillat léger de pétrole en C ₉ -C ₁₆ hydrotraité (CAS 64742-47-8)	John W. Young, Pétrolière Impériale, Sarnia, ON	Point d’éclair = 64 °C K _b = 31
15	Mélange Cristal 8741 (Stanchem, Etobicoke, ON)	Heptane (CAS 142-82-5), HCFC-141b (CAS 1717-00-6), isopropanol (CAS 67-63-0), naphta léger d’hydrocarbures saturés C ₅ -C ₁₀ (CAS 64742-89-8), méthylcyclohexane (CAS 108-87-2)	Utilisé dans une autre usine de textile (visitée le 98/01/28)	Point d’éclair = 5 °C
16	New Premium Everblum Cleaning Fluid (Albatross U.S.A., Long Island City, NY)	HCFC-141b (CAS 1717-00-6), hydrocarbures isoparaffiniques synthétiques (CAS 64742-48-9), 1-méthoxy-2-propanol (CAS 107-98-2)	Stanley W. Eller, Environmentally Concious Manufacturing Project, Center for Technology Transfer, Portland, ME (P2TECH)	Point d’éclair = 62 °C
17	Spot Off 200 (Asalco, Stanstead, QC)	Heptane (CAS 142-82-5) Éthanol (CAS 64-17-5)	Utilisé dans une autre usine de textile (visitée le 98/01/28)	Point d’éclair = - 4 °C

N ^o	Nom commercial (fournisseur)	Composition	Source	Remarques**
18	Varsol DX 3641 (Pétrolière Impériale, Toronto, ON)	Distillat léger de pétrole en C ₉ -C ₁₆ hydrotraité (CAS 64742-47-8)	John W. Young, Pétrolière Impériale, Sarnia, ON	Point d'éclair = 64 °C K _b = 33
19	VOL - Volatile Spotter (Fabritec International, Cold Spring, KY)	HCFC-141b (CAS 1717-00-6), naphta lourd hydrotraité (CAS 64742-48-9), 1-méthoxy-2-propanol (CAS 107-98-2)	Guide de ressources du USEPA (215) + télécopies + téléphones	Point d'éclair > 61 °C
	Changements de procédé			
20	CO ₂ supercritique	Dioxyde de carbone (CAS 124-38-9)	Judith Jordan, Delaware Manufacturing Alliance, Newark, DE (P2TECH)	Équipement dispendieux; toute la pièce de tissu devrait être introduite dans l'appareil
21	Prosat Custom Wipers (Contec, Spartanburg, SC)	Chiffons préimprégnés de solvant (à spécifier par le client)	Archie Booker, Contec (Eighth Annual International Workshop on Solvent Substitution, 97/12/04, Scottsdale, AS)	Technologie impraticable chez C&T d'après leurs contrôleurs de tissus
22	Sno Gun (Va-Tran Systems, Chula Vista, CA)	Neige carbonique (CAS 124-38-9)	Magazine Precision Cleaning (21)	Ne fonctionne pas sur les tissus selon un représentant du fabricant
23	Vaporetto (POLTI, Dorval, QC)	Appareil de nettoyage au jet de vapeur sèche (CAS 7732-18-5)	Elizabeth A. Hill, Research Triangle Institute, Research Triangle Park, NC (suggestion générique dans P2TECH)	

* Les paramètres présentés sont principalement issus des fiches techniques commerciales des solvants respectifs

** Les taux d'évaporation sont rapportés par rapport à celui de l'acétate de butyle normal = 1, si non spécifié

*** Numéro d'enregistrement du Chemical Abstracts Service, American Chemical Society, Columbus, OH

**** Potentiel de destruction de l'ozone : Une mesure de la capacité relative d'un produit chimique donné à détruire l'ozone stratosphérique. Le PDO est mesuré par rapport au trichlorofluorométhane (CFC-11), qui a un PDO de 1,0. C'est le Programme des Nations Unies pour l'environnement qui a fixé les valeurs de PDO acceptées à l'échelle internationale.

Les solvants AK-225 et Genesolv possèdent des taux d'évaporation avoisinant celui de l'éther éthylique. Or le taux d'évaporation de ce dernier est 11,8 fois plus élevé que celui de l'acétate de butyle normal (109). Le AD-225 et le Genesolv sont donc inacceptables. Le Genesolv avait d'ailleurs été testé antérieurement chez C&T et rejeté à cause de l'évaporation trop rapide. Le Borothene a été jugé inacceptable en raison de son PDO supérieur à celui du TCA, aujourd'hui banni au Canada (79). Faute d'information sur la composition exacte de ce produit, le Spot-All n'a pas été retenu. Le CO₂ liquide a commencé à être utilisé dans le nettoyage à sec mais l'équipement est dispendieux et non adapté au détachage chez C&T car il faudrait mettre toute la pièce de tissu dans la machine (149). Les chiffons préimprégnés de solvant ont également été rejetés par C&T parce qu'ils seraient inadaptés à leurs besoins. Enfin la projection de neige carbonique serait, de l'avis même du fabricant de l'appareil pour sa mise en oeuvre, inapproprié pour le nettoyage de tissu.

Ainsi, en appliquant les trois critères de restriction technique décrits plus haut, la liste des solutions techniquement envisageables se résume aux options 11, 13, 14, 16, 18, 19 et 23 du tableau VI. L'option 13 aurait normalement dû être rejetée à cause de son K_b inférieur à 30. Elle a quand même été retenue pour étude subséquente parce que ce solvant est proposé actuellement comme remplaçant du tétrachloréthylène dans le nettoyage à sec et aussi parce que ses autres caractéristiques techniques étaient très proches des options 14 et 18 du même fabricant.

5.0 Évaluation des conséquences de chaque option

Cette section présente une évaluation des conséquences toxicologique et écotoxicologique de l'utilisation de chacune des options retenues.

5.1 Spot-Free

D'après sa fiche signalétique le Spot-Free est constitué à plus de 95 % de 1-bromopropane (1-BP) (74). Or une version antérieure du même produit, mis en marché par la même société sous le nom de marque Hypersolve NPB, indiquait de plus la présence de 1,2-époxybutane (< 5 %; CAS : 106-88-7), de diméthoxyméthane (< 1 %; CAS : 109-87-5) et de 2-méthylpropan-2-ol (< 1 %; CAS : 75-65-0) (73). Après clarification auprès du fournisseur, le Spot-Free est constitué à 100 % de 1-BP (Bill Green, Ecolink, courriel adressé à D. Bégin, 00-04-27).

Le 1-BP est un solvant halogéné proposé depuis le milieu des années 90 pour remplacer le TCA comme dégraissant ou nettoyant dans plusieurs industries. Il possède des caractéristiques semblables au TCE pour les trois paramètres techniques décrits dans la section 4.1 (181). Le 1-BP n'a cependant pas encore été approuvé par le USEPA en vertu de son programme SNAP (Significant New Alternatives Policy) qui donne la liste des substances acceptables pour remplacer les substances appauvrissant la couche d'ozone stratosphérique (SACO) (216). Certains congénères du 1-BP sont fortement cancérigènes (bromure de méthyle), faiblement cancérigènes (bromure d'éthyle) et mutagènes (2-bromopropane). Cohen ne croit pas que le 1-BP soit un puissant cancérigène. Il souligne toutefois la formation possible d'oxyde de propylène, un métabolite cancérigène et fait remarquer que le 2-bromopropane a entraîné de l'anémie et de la reprotoxicité chez des travailleurs alors que le 1-BP a provoqué une baisse de la numération et de la mobilité des spermatozoïdes chez le rat (55). Il n'existe pas de valeur limite

d'exposition professionnelle adoptée par les grands organismes de référence ou de réglementation tels que l'ACGIH, OSHA ou NIOSH. Les fabricants de 1-BP proposent une valeur limite de 100 ppm (503 mg/m³, concentration moyenne pondérée sur 8 heures) basée sur une étude de toxicité subchronique chez le rat (181).

5.2 Solvants pétroliers

Les solvants DF-2000, Exxsol D60 et Varsol DX 3641 sont des mélanges d'hydrocarbures hydrotraités. L'hydrotraitement ou hydrotage désigne un procédé de désulfuration catalytique en présence d'hydrogène utilisé pour traiter notamment les essences et les solvants issus du pétrole. On obtient également la saturation des alcènes et des aromatiques. Peu d'information toxicologique est disponible sur ces mélanges complexes. Les fiches signalétiques du fabricant indiquent que « les vapeurs/aérosols très concentrés (plus de 1 000 ppm) irritent les yeux et les voies respiratoires, peuvent causer des maux de tête, des étourdissements, l'anesthésie, la somnolence, l'évanouissement et avoir d'autres effets sur le système nerveux central, dont la mort ». Le fabricant recommande une valeur limite d'exposition professionnelle de 300 ppm pour le DF-2000 et l'Exxsol D60 et de 200 ppm pour le Varsol DX 3641 (83; 84; 85).

5.3 Solvants à base de HCFC-141b

Le tableau VII présente la composition chimique du New Premium Everblum (NPE) et du VOL Volatile Spotter (VOL).

Tableau VII
Composition des solvants à base de HCFC-141b

Composant	NPE ⁴³	VOL (86)
HCFC-141b CAS : 1717-00-6	40-45	10-40
Hydrocarbures CAS : 64742-48-9	50-55	10-40
1-Méthoxy-2-propanol CAS : 107-98-2	5-10	10-40

Aucune ambiguïté n'existe concernant la nature des solvants purs HCFC-141b et 1-méthoxy-2-propanol. Par contre plusieurs types d'hydrocarbures peuvent être classés sous le numéro CAS 64742-48-9. Le fabricant du NPE indique qu'il s'agit d'hydrocarbures isoparaffiniques synthétiques dont le fabricant serait la société Exxon⁴⁴ alors que le fabricant du VOL indique simplement qu'il s'agit d'un naphta lourd hydrotraité (86). Le numéro CAS en question est le même que celui assigné au solvant DF-2000 de sorte que les notes sanitaires indiquées plus haut s'appliquent également ici.

⁴³ Lettre de Paul B. Fields, Albatross USA Inc., Long Island City, NY, à Touseef Mirza, Université de Montréal, le 13 octobre 1998.

⁴⁴ Voir la note 15

Le HCFC-141b (hydrochlorofluorocarbure-141b ou 1,1-dichloro-1-fluoroéthane) possède un PDO de 0,11 alors que celui du TCA est de 0,12 (212). En vertu du Règlement sur les substances appauvrissant la couche d’ozone, un produit contenant du HCFC-141b peut quand même être utilisé légalement au Canada jusqu’en 2010 pour des opérations de nettoyage manuel comme c’est le cas pour les postes de détachage de tissu chez C&T (79). Le Règlement impose cependant une réduction de 35 % de la production et de l’importation de cette substance à partir du 1^{er} janvier 2004 (79). En outre les États-Unis banniront complètement le HCFC-141b le 1^{er} janvier 2003 (211).

La dépression du système nerveux central (SNC) à forte concentration est le seul effet aigu du HCFC-141b observé chez le rat. Une étude de toxicité chronique a mis en évidence une augmentation de tumeurs bénignes des cellules interstitielles du testicule chez les rats exposés à des concentrations pouvant aller jusqu’à 20 000 ppm de HCFC-141b. Ces néoplasmes bénins seraient communs chez les rats âgés et non pertinents pour l’évaluation du risque toxique chez l’humain (64). L’American Industrial Hygiene Association (AIHA) recommande une valeur limite d’exposition professionnelle dite Workplace Environmental Exposure Level (WEEL) de 500 ppm (2 370 mg/m³, 8 h.). Cette valeur est basée sur des études négatives non publiées de tératogénicité chez la lapine et la rate où les auteurs avaient également rapporté divers symptômes mineurs tels qu’une diminution de la prise de poids ou la dépression du système nerveux central à fortes doses (13).

Le 1-méthoxy-2-propanol est un éther de glycol dérivé du propylène glycol. Le produit commercial vendu par la société Dow Chemical sous le nom de marque Dowanol[®] PM contient 97,5 % de l’isomère alpha (CAS : 107-98-2) et 2,5 % de l’isomère beta (CAS : 1589-47-5) (127). Le 1-méthoxy-2-propanol ne serait pas tératogène, à l’encontre de l’isomère de position 2-méthoxy-1-propanol (isomère beta), en raison de l’absence de formation d’acide 2-méthoxypropionique, le métabolite jugé responsable de la tératogénicité (127 ; 188). L’ACGIH recommande une TLV-TWA (Threshold Limit Value/Time-Weighted Average, 8 h.) de 100 ppm (369 mg/m³) et une TLV-STEL (Short-Term Exposure Level, 15 min.) de 150 ppm (553 mg/m³) basées sur l’odeur et l’irritation oculaire (7). L’anesthésie n’a été réalisée chez des volontaires qu’à une concentration de 1 000 ppm par inhalation (7).

5.4 Vaporetto

Le Vaporetto est un appareil de nettoyage de surface par projection de vapeur sèche à 120 °C (vapeur entièrement à l’état gazeux et ne contenant pas d’eau de condensation) et à haute pression (280 à 350 kPa) (161). Ce type d’appareil est utilisé notamment pour le détachage de tapis et de tissu d’ameublement mais n’avait jamais été employé dans l’industrie textile. L’utilisation exclusive de l’eau du robinet rend ce procédé attrayant des points de vue toxicologique et environnemental. La projection cutanée ou oculaire de la vapeur pourrait cependant causer des brûlures chez les contrôleurs.

6.0 Comparaison des options

Cette section présente une comparaison des diverses solutions entre elles et avec la situation originale afin de choisir celles qui seront testées en usine. Le tableau VIII présente les différents

aspects considérés pour la comparaison des options envisagées plus haut. Tous les solvants substitutifs sont ininflammables (points d'éclair absents ou $> 38^{\circ}\text{C}$). Les solvants pétroliers et les solvants à base de HCFC-141b sont combustibles mais ne constituent pas un risque d'incendie important dans l'application qui nous concerne. Les coûts étaient considérés d'une importance secondaire par rapport à la santé, la sécurité et l'environnement.

Les solvants pétroliers et l'appareil de projection de vapeur sèche apparaissaient d'emblée comme des options peu hasardeuses; ils ont donc été testés chez C&T.

Le 1-bromopropane, constituant du Spot-Free, est toujours à l'étude par le USEPA afin de déterminer son acceptabilité à remplacer les SACO dans diverses applications industrielles (216). Même si ces applications n'incluent pas le détachage dans l'industrie textile, l'évaluation du USEPA est importante pour l'ensemble du spectre industriel parce qu'elle sera accompagnée de la détermination d'une valeur limite d'exposition professionnelle pour ce solvant. En conséquence, il serait prudent d'attendre l'issue de cette évaluation ou une recommandation de valeur limite d'un organisme indépendant avant de proposer l'utilisation du Spot-Free en remplacement du TCE. Néanmoins, il a été décidé de tester le Spot-Free pour le détachage afin de vérifier son efficacité technique et d'évaluer l'exposition des contrôleurs. Ces informations pourraient être utiles si le solvant est éventuellement recommandé.

Les solvants à base de HCFC-141b sont légalement utilisables pour le détachage au Canada. Ils ont cependant été rejetés comme produit de remplacement du TCE en raison de leur PDO (212). Néanmoins, au dire des fournisseurs, ces produits sont largement utilisés comme détachants en Amérique du Nord. Il a donc été décidé de tester un solvant à base de HCFC-141b afin de documenter l'exposition des contrôleurs. C'est le VOL Volatile Spotter qui a été testé, simplement parce qu'il avait été chronologiquement identifié en premier.

Tableau VIII
Comparaison des options de rechange (C & T)

Éléments de comparaison	Trichloréthylène (utilisé dans l'usine)	Spot-Free	Solvants pétroliers	Solvants à base de HCFC-141b	Vaporetto (vapeur sèche)
Technique	- Excellent pouvoir dissolvant - Grande volatilité	- Excellent pouvoir dissolvant - Grande volatilité	- Bon pouvoir dissolvant - Faible volatilité	- Excellent pouvoir dissolvant - Grande volatilité	- Bon pour détachage de tapis - Non testé dans l'industrie textile
Santé	<i>Toxicité aiguë</i> : Irritation des yeux, de la peau et des muqueuses, dépression du SNC <i>Toxicité chronique</i> : Atteinte des nerfs crâniens, cancérogène probable TLV-TWA : 50 ppm	<i>Toxicité aiguë</i> : Irritation des yeux, de la peau et des muqueuses, dépression du SNC <i>Toxicité chronique</i> : Inconnue Valeur limite du fabricant : 100 ppm	<i>Toxicité aiguë</i> : Irritation des yeux, de la peau et des muqueuses, dépression du SNC <i>Toxicité chronique</i> : Inconnue, atteinte possible du SNC Valeurs limites du fabricant : 200 à 300 ppm	<i>Toxicité aiguë</i> : Irritation des yeux, de la peau et des muqueuses, dépression du SNC <i>Toxicité chronique</i> : absente pour le HCFC-141b Valeurs limites : WEEL : 500 ppm (HCFC-141b); TLV-TWA : 100 ppm (1-méthoxy-2-propanol); Naphta : 300 ppm (fabricant)	Sans danger
Sécurité	Pas de point d'éclair	Pas de point d'éclair	Point d'éclair : 64 °C	Point d'éclair > 61°C	Brûlure
Environnement	Toxique en vertu de la LCPE*	PDO : 0,006 - 0,027		PDO : 0,11 (HCFC-141b)	
Contrainte d'utilisation		À l'étude par le USEPA**		Bannissement du HCFC-141b en 2010 au Canada	
Coût / L	9 \$ CA	60 \$ CA	9 \$ CA	36 \$ CA	900 - 1200 \$ CA / appareil
Formation		Même méthode de travail	Méthode de travail similaire	Même méthode de travail	Changement de procédé

* Loi canadienne sur la protection de l'environnement (82)

** United States Environmental Protection Agency, Significant New Alternatives Policy Program (216)

7.0 Essai sur le terrain et choix

Cette section présente les résultats des tests en usine et la décision sur le choix final. Le Spot-Free et le VOL se sont avérés techniquement performants pour le détachage. Les taches d'huile et de graisse étaient enlevées efficacement (excellent pouvoir dissolvant) et les solvants s'évaporaient rapidement après l'application, même si le VOL s'évaporait un peu moins vite que le TCE. Les niveaux d'exposition moyens des travailleurs au 1-BP variaient de 43 à 118 mg/m³ (tableau IX), le niveau le plus élevé se situant à 155 mg/m³ pendant une heure de détachage intensif. Lors de cette période de pointe, trois des quatre travailleurs échantillonnés se sont plaints d'irritation des yeux dont l'un a rapporté de la sécheresse dans la gorge. En outre, la majorité des contrôleurs se sont plaints de l'odeur du Spot-Free. Lors de l'échantillonnage des composants du VOL, seul le HCFC-141b a été décelé à des niveaux moyens variant de 7 à 14 mg/m³ alors que le 1-méthoxy-2-propanol et le naphta étaient en deçà de la limite de détection (tableau IX). Aucune plainte n'a été rapportée concernant le VOL. Les niveaux de TCE mesurés au début de la recherche sont également rapportés dans le tableau IX, variant de 5 à 118 mg/m³.

Les solvants pétroliers et l'appareil projetant de la vapeur sèche ont été jugés inacceptables du point de vue technique. En effet les taches d'huile et de graisse n'étaient pas enlevées efficacement alors que l'eau ou les solvants prenaient de 5 à 7 fois plus de temps que le TCE à s'évaporer. La vapeur sèche n'était pas projetée à une pression suffisante pour déplacer l'huile ou la graisse du tissu. De plus, même si de l'air comprimé était projeté suite à l'application des solvants pétroliers, l'évaporation était trop lente et un film demeurait sur le tissu.

Tableau IX

Résultats de l'échantillonnage des solvants dans la zone respiratoire des contrôleurs

Substance	Nombre de travailleurs échantillonnés	Durée (minutes)	Niveau (mg/m ³)	VLE ^c - 8h (mg/m ³)
Trichloréthylène	12	59-343	5-118	269 ^d
1-Bromopropane	4	243-282	43-118	503 ^e
HCFC-141b	2	158-179	7-14	2 370 ^f
1-Méthoxy-2-propanol	2	158-179	nd ^a	369 ^g
Naphta lourd hydrotraité	2	158-179	nd ^b	1 963 ^h

^a non décelé; limite de détection = 1,9 mg/m³

^b non décelé; limite de détection = 10 mg/m³

^c Valeur limite d'exposition professionnelle (concentration moyenne)

^d Règlement sur la qualité du milieu de travail (98)

^e Albemarle (16)

^f AIHA (13)

^g ACGIH (10)

^h Pétrolière Impériale (en supposant qu'il s'agit du solvant DF-2000 possédant le même numéro CAS et le même libellé que le naphta indiqué sur la fiche signalétique du VOL) (85)

En conclusion, le 1-BP est inacceptable actuellement pour diverses raisons sanitaires et environnementales, le solvant à base de HCFC-141 est à rejeter pour une question environnementale alors que les solvants pétroliers et le Vaporetto sont inadéquats du point de vue technique. Il s'en suit que C&T doit continuer à utiliser le TCE.

8.0 Implantation

À l'origine cette section devait présenter les considérations pratiques de la mise en œuvre de la solution retenue. Or aucune solution de substitution envisagée n'a été recommandée à la société C&T. Toutefois les recommandations finales suivantes ont été proposées par écrit à C&T en mai 1999 et oralement au comité paritaire de SST en juin 1999 :

8.1 Continuer d'utiliser le TCE comme détachant

8.1.1 Un système d'aspiration des vapeurs de solvant devrait être installé à chacune des tables d'inspection. De telles installations ont été mises en œuvre dans d'autres usines de textile au Québec à des coûts relativement faibles.

8.1.2 Certains travailleurs ont tendance à utiliser plus de solvant que d'autres. Une formation judicieuse des travailleurs pourrait mener à une utilisation plus parcimonieuse du TCE. La formation devrait comprendre la manipulation du pistolet à pulvérisation pneumatique incluant la fonction de la détente, les ajustements au niveau de la tête de pulvérisation, la fonction du bouton de réglage de la pression sur le circuit d'air qui alimente les trous latéraux, la fonction du bouton de réglage du pointeau d'obturation de l'arrivée du solvant et la manipulation du manodétendeur.

8.2 Éliminer les taches à la source. Cette tâche exigerait de mener une étude systématique sur les sources de salissure : une personne chez C&T pourrait avoir la responsabilité d'observer attentivement chacun des appareils suspects pour identifier les moments précis où les taches se produisent. Cette enquête devrait être faite d'abord pour les séchoirs et les métiers à tisser. De la même façon il serait avantageux d'identifier les occasions où le tissu traverse trop rapidement l'appareil de nettoyage à sec.

8.3 Être à l'affût des solutions de rechange. Une enquête périodique auprès des fournisseurs de solvants et des gestionnaires des autres usines de textile permettrait que tout nouveau produit mis sur le marché pour le détachage soit rapidement testé pour son efficacité et validé pour son innocuité auprès du Répertoire toxicologique de la CSST en collaboration avec Préventex. Cette veille technologique devrait également s'appliquer aux changements de procédé de détachage.

9.0 Évaluation

Afin de mesurer l'atteinte des objectifs de départ et apporter des correctifs cette section devait également à l'origine vérifier la mise en œuvre de la solution proposée. À défaut d'une substitution de solvant, l'application des recommandations présentées plus haut a été vérifiée auprès de C&T. Un appel téléphonique a été logé à cet effet le 7 janvier 2000 par madame Michèle Lalonde auprès de monsieur Pierre Lacasse. C&T continue d'utiliser le TCE comme

détachant mais n'a pas installé de ventilation locale aux postes de détachage des tissus. Lors de la réunion du 16 juin 1999 chez C&T, il avait été suggéré à la direction de l'entreprise de contacter monsieur Gilles Daudelin, surintendant d'assurance qualité à la société Consoltex (Cowansville, QC), où les chercheurs de l'UdeM avait noté la présence de hottes aspirantes au-dessus des tables d'inspection lors d'une visite d'usine le 18 juin 1998. Des représentants de C&T se seraient effectivement rendus par la suite chez Consoltex pour s'enquérir de leur méthode de détachage et de l'installation des hottes. Ils auraient toutefois jugé trop élevé le coût de telles hottes. Par ailleurs, un important client de C&T se serait plaint récemment de la présence de cernes sur les tissus qu'on lui expédie. En conséquence la direction de C&T a décidé de passer au nettoyage à sec tous les tissus destinés à ce client. On n'effectuerait donc presque plus de nettoyage au TCE à la première inspection. S'il y a trop de taches, le tissu est alors nettoyé dans la machine de nettoyage à sec. Quant à la deuxième inspection, les petites taches sont toujours nettoyées au TCE alors que la présence de trop nombreuses taches entraîne le renvoi du tissu à la machine de nettoyage à sec. Les coûts de l'utilisation accrue de la machine de nettoyage à sec n'ont pas été évalués. On ne connaît pas les quantités de TCE actuellement utilisées suite au changement de procédure.

Note : Cette étude de cas a fait l'objet d'une publication scientifique (146).

Annexe III



1.0 Identification du problème

En avril 1997, Truchon et coll. suggéraient au comité de santé et sécurité du travail de la division des produits industriels de Sico⁴⁵ de travailler avec l’UdeM pour la recherche d’un produit ou procédé pour remplacer le mélange de solvants (toluène, xylènes, méthyléthylcétone (MEK et autres) utilisé notamment pour le lavage des cuves servant à fabriquer les revêtements. Dans le cadre d’une recherche financée par l’IRSST sur la surveillance biologique de l’exposition au toluène, les auteurs avaient noté une surexposition des nettoyeurs de cuve au MEK ainsi qu’un indice d’exposition mixte (R_m) parfois élevé (197). Une première rencontre entre l’UdeM et les représentants de la compagnie a eu lieu en février 1998. Le même mélange de solvants étant utilisé pour le lavage quotidien des planchers de l’usine, l’entreprise désirait trouver une solution de rechange.

2.0 Rédaction d'un plan d'action

Le 12 février 1998 Sico acceptait oralement de participer à la recherche sur la substitution des solvants de lavage de plancher.

Cependant ce n'est qu'un an plus tard qu'un plan de travail formel a été adressé à Sico, incluant la formation d'un comité de substitution comprenant les personnes suivantes :

Claude Bouchard, contremaître, Sico
Serge Turcot, représentant à la prévention, Sico
Carmen Cloutier, technicienne en hygiène du travail, CLSC des Seigneuries
Denis Bégin, agent de recherche, UdeM

Le plan stipulait également que la collaboration d’autres personnes pouvait être sollicitée par le comité de substitution. La démarche de substitution mise en œuvre serait celle en neuf étapes présentée à la réunion du 12 février 1998. L’entreprise devait appuyer cette démarche et accepter que les résultats du projet soient publiés sous forme de rapports scientifiques tout en respectant son anonymat si désiré. Le plan d’action a été contresigné le 10 février 1999 par M. Jacques Beaulieu, directeur d’exploitation de l’usine de Sico à Longueuil.

3.0 Collecte des informations sur le procédé

L’objectif de cette étape était de formuler de façon précise le problème à résoudre. Cette section présente donc une description sommaire du procédé de fabrication des peintures incluant les occasions de maculage du plancher, son nettoyage et l’exposition des mélangeurs de peinture au mélange de solvants utilisés lors du lavage de plancher. Une description des tâches accomplies

⁴⁵ Sico, Division des produits industriels, 2505, rue de la Métropole, Longueuil (Québec) J4G 1E5
<http://www.sico.com>

pour collecter ces informations est également présentée afin de comprendre comment ces données ont été recueillies.

3.1 Méthodologie

Les informations sur les différentes étapes de la fabrication des peintures et du nettoyage des planchers ont été colligées à l'aide de la fiche de collecte de renseignements élaborée spécifiquement pour cette étape du processus de substitution (voir l'annexe I), à l'occasion de diverses rencontres avec le chimiste, le contremaître et les mélangeurs de peinture. Le tableau X présente les principaux événements de la recherche d'une solution de rechange chez Sico.

Tableau X
Chronologie des principaux événements de la recherche
d'une solution de rechange chez Sico

Date	Remarques
Avril 1997	Truchon et coll. suggèrent à Sico de travailler à la substitution des solvants avec l'UdeM
12 février 1998	1 ^{ère} rencontre Sico/UdeM
23 février 1998	J. Beaulieu autorise l'accès à l'UdeM des dossiers d'hygiène industrielle du CLSC des Seigneuries concernant Sico
2 avril 1998	Échantillonnage des solvants lors d'un lavage de plancher
7 mai 1998	Étude des descriptions des tâches des mélangeurs de peinture; rencontre de l'approvisionneur de Sico pour l'étude des volumes et des coûts de solvant de lavage
19 août 1998	Rencontre de L. Pépin : présentation des solutions de rechange envisageables; période de flottement
9 février 1999	Rencontre chez Sico : redémarrage de la recherche; commande des solvants substitutifs
28 avril 1999	Rencontre chez Sico : planification des tests de nettoyage en laboratoire
25 mai 1999	Visite de Géon-Synergistics
20 juillet 1999	Rencontre chez Sico : discussion des résultats des essais en laboratoire; planification des tests en situation réelle
28 septembre 1999	Test de nettoyage sur le plancher de l'usine avec le Safe Strip
12 octobre 1999	Test de nettoyage sur le plancher de l'usine avec le X397
9 novembre 1999	Test de nettoyage sur le plancher de l'usine avec le Deanco 792, Enkrosol 750 et X-2787
14 mars 2000	Échantillonnage du Deanco 792

Date	Remarques
15 mars 2000	Échantillonnage du Thinrec-Sico avec essorage renforcé

3.2 Description générale de Sico

Fondée en 1937, la société Sico est classée dans la catégorie 3751⁴⁶ de l’ancienne Classification des activités économiques du Québec (CAEQ) (39). Le code 325510⁴⁷ définit sa position dans le nouveau Système de classification des industries de l’Amérique du Nord (SCIAN) (187). L’entreprise est établie à l’emplacement actuel depuis 1965. La division des produits industriels de Sico fabrique des peintures, vernis et laques pour les fabricants d’équipement de transport, de meubles en bois et en métal, de planchers en bois, d’articles de sport en métal et en plastique et pour le marquage routier. Les revêtements fabriqués incluent notamment des uréthanes, époxy, émaux au four, revêtements pour le prélaquage en continu⁴⁸, laques, revêtements réagissant au rayonnement ultraviolet et des revêtements en phase aqueuse.

3.3 Fabrication des revêtements et lavage des planchers

Les revêtements organiques (peinture, vernis, laque) sont constitués de polymères appelés également liants ou résines, de solvants, de pigments (de couleur ou fonctionnels), de charges et d’adjuvants divers. Les revêtements sont fabriqués par lot. Un travailleur est généralement responsable de la fabrication d’une cuvée c’est-à-dire qu’il fabrique le revêtement du début à la fin. La première étape consiste à verser une ou plusieurs résines et des solvants dans une cuve où ces produits sont mélangés à l’aide d’un mélangeur, à basse vitesse. Les pigments et charges sont ensuite ajoutés et la vitesse du mélangeur est augmentée et maintenue jusqu’à ce que les éléments solides soient bien dispersés dans le liant. Divers adjuvants sont alors ajoutés pour compléter la formulation. Un échantillon du revêtement est ensuite testé au laboratoire de contrôle de la qualité pour vérifier diverses propriétés (p. ex. : densité, viscosité, couleur, temps de séchage). Après cela le revêtement est filtré, transféré dans les contenants destinés aux clients et stocké.

Les résines ne sont transférées dans les mélangeurs par des canalisations en circuit fermé que pour certains revêtements fabriqués en grande quantité (plusieurs milliers de litres). Une grande quantité de revêtements différents sont produits quotidiennement en plus petites quantités (quelques centaines de litres). Les mélangeurs de peinture (code 8161-218 de la CCDP⁴⁹ (77)) transportent les fûts de 200 L de résine de l’entrepôt des matières premières à l’aire de fabrication des peintures à l’aide d’un diable et en le roulant ou le glissant sur le plancher jusqu’au mélangeur. Après avoir vissé un bec verseur sur l’ouverture supérieure du fût et pesé ce dernier sur une balance incorporée dans la plancher de l’usine, le mélangeur de peinture utilise un palan à chaîne pour manipuler le fût et transférer le liquide visqueux dans la cuve du mélangeur à haute vitesse. Il arrive que la résine coule le long des parois du fût, souillant ainsi le plancher. L’ajout des pigments, déversés à partir de sacs, contribue également à salir le plancher malgré l’utilisation de trémies d’alimentation. De plus, lorsque le mélangeur fonctionne à haute vitesse, il arrive que des

⁴⁶ Industries des peintures et vernis

⁴⁷ Fabrication de peintures et de revêtements

⁴⁸ Coil coating

⁴⁹ Classification canadienne descriptive des professions

gouttelettes de peinture soient projetées à l'extérieur de la cuve sur le plancher autour du mélangeur. Des couvercles sont utilisés sur les cuves pendant la dispersion des pigments et charges mais il est parfois nécessaire de les enlever, notamment pour gratter les parois intérieures de la cuve afin de s'assurer que toutes les matières sèches soient mouillées par la résine. Les résines, peintures et pigments qui se retrouvent sur le plancher le rendent impraticable d'où la nécessité de procéder régulièrement à de petits lavages de plancher autour des mélangeur à haute vitesse. Tout mélangeur de peinture peut faire ces petits lavages plusieurs fois par jour. Ces types de lavages ne durent qu'une à deux minutes. Les mélangeurs de peinture utilisent à cet effet un guipon imbibé de solvant Thinrec-Sico de Chemrec Inc. (Cowansville, QC) contenu dans un seau en plastique équipé d'une essoreuse manuelle comme ceux employés par les préposés à l'entretien ménager. Le Thinrec-Sico est un mélange de solvants recyclés dont la composition, issue d'une fiche signalétique du 97/07/11, est présentée au tableau XI.

Tableau XI
Composition du solvant recyclé Thinrec-Sico (97/07/11)

Solvant	Numéro CAS	Pourcentage en volume
Toluène	108-88-3	15-40
Xylènes	1330-20-7	10-30
Méthyléthylcétone	78-93-3	7-13
Acétate d'éthyle	141-78-6	3-7
Isopropanol	67-63-0	3-7
Méthylisobutylcétone	108-10-1	3-7
Acétate de butyle normal	123-86-4	1-5
Acétone	67-64-1	1-5
Éthanol	64-17-5	1-5
Méthanol	67-56-1	1-5

La fiche signalétique du Thinrec-Sico ne fait pas mention du naphta VM&P mais ce mélange complexe d'hydrocarbures aliphatiques et alicycliques a été mesuré en quantités appréciables dans l'air des locaux de travail de l'usine de Sico lors de mesurages réalisés les 4 et 5 décembre 1996 dans le cadre d'une recherche de l'IRSST effectuée en collaboration avec l'UdeM (197). Le naphta VM&P est classé « cancérogène animal » depuis 1996 par l'ACGIH (10).

Deux mélangeurs de peinture effectuent une à deux fois par semaine un grand lavage des planchers au Thinrec-Sico. Toute l'aire de fabrication des peintures est alors nettoyée, généralement en fin de quart de travail. Ce type de lavage dure moins de quinze minutes. Le dichlorométhane est sporadiquement utilisé pour enlever des taches coriaces.

L'usine de Longueuil utilise environ 250 000 litres de solvant recyclé Thinrec-Sico par année pour le lavage des cuves de fabrication des revêtements, des divers instruments et des planchers (André Chouinard, approvisionneur, Sico, conversation téléphonique le 98/05/08). Le volume exact de solvant utilisé exclusivement pour le lavage des planchers n'a jamais été comptabilisé mais il est probablement faible en comparaison du volume utilisé pour le nettoyage des cuves.

3.4 Nature des salissures à nettoyer

Les résines constituent les éléments salissants principaux à solubiliser par le solvant de lavage des planchers. Les résines utilisées chez Sico sont les suivantes par ordre décroissant du volume utilisé : alkydes, acryliques, époxy, polyesters, aminées, cellulosiques, durcisseurs d'époxy (p. ex. polyamide), isocyanates, vinyliques, phénoliques, silicone.

3.5 Exposition des mélangeurs de peinture au solvant Thinrec-Sico

Les niveaux d'exposition au Thinrec-Sico de deux mélangeurs de peinture ont été mesurés dans leur zone respiratoire lors d'un grand lavage de plancher le 2 avril 1998. Les deux travailleurs ont utilisé en tout 8,4 kg de Thinrec-Sico pour laver un plancher d'une superficie de 123 m² situé dans la section « Préparation des mélanges » de l'usine. Les portes menant aux autres sections de l'usine étaient fermées alors que la grande porte de garage était ouverte pendant l'échantillonnage. Le lavage du plancher a été effectué à partir de 11h19, donc juste avant la période du repas du midi. L'échantillonnage a duré 9 minutes pour le premier travailleur et 10 minutes pour le deuxième travailleur. Ceux-ci ne portaient pas de respirateurs pendant le lavage du plancher. Le tableau XII présente les résultats des mesurages dans la zone respiratoire des travailleurs.

Tableau XII

Niveaux d'exposition des travailleurs de Sico lors du lavage de plancher le 2 avril 1998 (52)

Solvants	Concentration (mg/m ³) Travailleur n ^o 1	Concentration (mg/m ³) Travailleur n ^o 2	Norme* VEMP (mg/m ³)	Norme* VECD (mg/m ³)
Acétate d'éthyle	180	155	1440	-
Isopropanol	< LD** (30 µg)	< LD (30 µg)	985	1230
Méthyléthylcétone	435	385	150	300
Méthylisobutylcétone	155	155	205	310
Naphta VM&P	105	120	1310	-
Toluène	35	40	377	565
Xylène	590	645	434	651
Durée (minutes)	9	10	480	15

* Règlement sur la qualité du milieu de travail (98)

** Limite de détection

Les niveaux d'exposition ne dépassent pas les normes en vigueur en raison de la courte période d'exposition mais de telles concentrations rendent pénible le travail dans ces conditions (p. ex. picotement des yeux, étourdissement).

3.6 Efforts antérieurs pour remplacer le Thinrec-Sico et autre méthode de travail

Deux mélanges de solvants commerciaux ont été testés dans le passé pour le lavage des planchers : 1) Pensolv R420 (West-Penetone, Anjou, QC), un mélange d'hydrocarbures aromatiques en C₉-C₁₁, d-limonène, esters d'acides dicarboxyliques, trois éthers de glycol et du

salicylate de méthyle; 2) Pensolv K4HP (West-Penetone, Anjou, QC), un mélange d'hydrocarbures aliphatiques légers et 2-pentanone. Le premier avait été jugé satisfaisant mais dispendieux.

Dans les années 70 le plancher n'aurait pas été nettoyé aux solvants; les travailleurs utilisaient plutôt, deux fois par année, un grattoir pour racler le plancher lorsqu'il devenait trop raboteux. Des travailleurs ont souffert de maux de dos en raison de l'effort nécessaire pour pousser les cuves mobiles sur un plancher inégal. Dans les années 80 jusqu'au début des années 90, chaque travailleur faisait son propre mélange maison pour le lavage, en employant surtout du xylène (Pierre Lefebvre, inspecteur à la CSST, Longueuil, conversation téléphonique le 98/03/04).

4.0 Propositions d'options de rechange

Cette section présente les efforts du comité de substitution pour identifier des solutions de rechange à l'utilisation du Thinrec-Sico pour le nettoyage des planchers.

4.1 Critères de sélection

Sico désirait une solution de remplacement qui nettoie aussi bien et aussi rapidement que le Thinrec-Sico, à un coût raisonnable. L'utilisation d'un nouveau solvant ou procédé ne devait pas rendre le plancher trop glissant pour empêcher la reprise rapide du trafic normal des employés et chariots élévateurs. Aucun autre critère objectif de mesurage de performance n'a été fourni. Le choix d'un produit ou procédé substitutif se ferait sur la base d'essais au laboratoire de Sico suivi de tests à petite puis à grande échelle en usine.

4.2 Sources d'information

Plusieurs sources d'information ont été consultées afin d'identifier des options de rechange.

4.2.1 Littérature

Des recherches documentaires traditionnelles ont été entreprises dans les bases de données bibliographiques suivantes : Medline (200), Toxline (201), Current Contents (121), ISST (60), NIOSHTIC (152), HSELINE (106), CISILO (51).

4.2.2 Personnes-ressources

Des contacts ont été établis avec le National Paint & Coatings Association (Washington, DC), avec des fabricants de peinture, notamment PPG Coatings & Resins (Allison Park, PA) et The Glidden Company (Carrollton, TX), et avec plusieurs fournisseurs (fabricants et formulateurs) de solvants et d'équipement de lavage de plancher.

4.2.3 Visite d’usine

Un chercheur de l’UdeM a visité, en compagnie de C. Bouchard et J. Beaulieu de Sico, l’usine d’un fabricant de plastique (Geon-Synergistics, St-Rémi-de-Napierville, QC) dans laquelle on manipule notamment des résines liquides semblables à celles utilisées chez Sico.

4.2.4 Internet

Des recherches ont été entreprises dans les sites Web suivants :

Federation of Societies for Coatings Technology⁵⁰

National Paint & Coatings Association⁵¹

Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center, Paint and Coatings Manufacturing Industry Resources⁵²

Paint and Coatings Resource Center⁵³

Les sites Web de fabricants (p. ex. Elf-Atochem⁵⁴) et formulateurs (p. ex. Ecolink⁵⁵) de solvants ont également été compulsés.

Des questions ont été postées dans des groupes de discussion spécialisés (p. ex. dans UseNet : sci.chem.coatings).

4.3 Options préliminaires

4.3.1 Nettoyage mécanique

Plusieurs fabricants proposent des machines pour nettoyer les planchers dans un contexte industriel. Les travailleurs d’un fabricant de peintures en phase aqueuse utilisent un racloir pneumatique (« Long Reach Scaler », Pneutool Parts & Service Company Ltd, Toronto, ON) deux fois par an pour le nettoyage du plancher de leur usine (Paul-Émile Séguin, Industries Pépin, Cowansville, QC, conversation téléphonique le 98/08/10). Il semble cependant que les peintures en phase aqueuse qui souillent le plancher de ce type d’usine durcissent rapidement, au contact du sol, alors que les salissures qui nous intéressent chez Sico ont plutôt tendance à rendre le plancher collant.

Certains fabricants proposent des machines à laver les planchers mettant en œuvre des jets d’eau à très grande pression (jusqu’à 248 MPa) comme le « Spin Jet High-Pressure Grate & Floor Cleaning » (NLB Corp., Wixom, MI). Ces machines sont notamment utilisées pour le nettoyage

⁵⁰ <http://www.coatingstech.org>

⁵¹ <http://www.paint.org>

⁵² <http://www.pprc.org/pprc/sbap/painting.html>

⁵³ <http://www.paintcenter.org>

⁵⁴ <http://www.atofina.com>

⁵⁵ <http://www.ecolink.com>

des grilles souillées de peinture dans les grandes cabines à peinture. Ces appareils ne sont cependant pas adaptés pour le nettoyage quotidien et fréquent de petites surfaces.

Il existe enfin des balayeuses industrielles antidéflagrantes pour le nettoyage de liquides toxiques et inflammables (Explosion Proof Vacuum, Nilfisk-Advance America Inc., Malvern, PA). Il n'est pas certain que ce type de machine puisse adéquatement aspirer de la résine collante sur un plancher sauf si un solvant est placé en plus sur la salissure pour la solubiliser préalablement.

4.3.2 Mélange maison

Un mélange maison pourrait être élaboré en tentant d'éliminer les solvants les plus dangereux. Une façon d'y arriver serait de comparer les valeurs limites d'exposition (VLE) des divers solvants substitutifs en les corrigeant pour leur volatilité. Le concept de « rapport de danger de vapeur » ou VHR⁵⁶ pourrait servir de point de départ. Le VHR est le rapport entre concentration de vapeur saturante d'un solvant et sa VLE (162). En comparant les VHR, on peut ainsi classer les solvants quant à leur propension à dépasser leur VLE et choisir un mélange approprié. Le logiciel Shell BlendPro, dont Sico possède une copie, pourrait également être mis à contribution pour élaborer un mélange de solvants substitutifs (178). Ce logiciel prend en compte les paramètres de solubilité⁵⁷ (75) des divers solvants dans le calcul d'un nouveau mélange. Il permet de prédire certaines propriétés d'un mélange de solvant comme son pouvoir de solubilisation et son point d'éclair. Le laboratoire de Sico est bien équipé pour procéder à divers mélanges de solvants et tests de nettoyage. Cette piste de solution n'a pas été mise en œuvre en raison du manque de temps disponible pour un tel projet de la part du personnel de laboratoire.

4.3.3 Solvants commerciaux

Plusieurs fournisseurs de solvants organiques ont suggéré divers mélanges de solvants substitutifs pour laver le plancher de l'usine. Le tableau XIII présente les produits commerciaux retenus pour les étapes subséquentes (sauf pour le produit A qui constitue le solvant à remplacer).

Tableau XIII
Solvants commerciaux potentiellement substitutifs (Sico)

Code	Solvant (Fournisseur)	Composition* (N ^o CAS) (Proportion)
A	Thinrec-Sico (Chemrec, Cowansville, QC)	<i>Solvant à remplacer chez Sico</i> (voir tableau XI)
B	Safe Strip (Ecolink, Stone Mountain, GA)	N-Méthyl-2-pyrrolidone (872-50-4) (85 %) Éther diméthylque du dipropylène glycol (111109-77-4) (< 15 %)
C	Carc-Off (Ecolink, Stone Mountain, GA)	Eau (7732-18-5) Alcool benzylique (100-51-6) (> 40 %) Sel calcique de l'acide dodécylbenzènesulfonique (68584-22-5) (< 15 %)

⁵⁶ Vapour Hazard Ratio

⁵⁷ Une mesure des forces d'attraction entre les molécules d'une substance

Code	Solvant (Fournisseur)	Composition* (N° CAS) (Proportion)
<i>D</i>	Bioact 200 (Petroferm, Fernandina Beach, FL)	N-Méthyl-2-pyrrolidone (872-50-4) (80-90 %) Triéthanolamine (102-71-6) (5-10 %) Diéthanolamine (111-42-2) (3-7 %)
<i>E</i>	Bioact MSO (Petroferm, Fernandina Beach, FL)	d-Limonène (5989-27-5) (85-90 %) Sel sodique de l'acide di(2-éthylhexyl)-sulfosuccinique (577-11-7) (1-2 %) Eau (7732-18-5) (2-3 %) Éther nonylphénolique du polyoxyéthylène (26027-38-3) (7-10 %)
<i>F</i>	Bioact 105 (Petroferm, Fernandina Beach, FL)	Isoalcanes en C ₉ -C ₁₂ (90622-57-4) (40-60 %) 1-Propoxy-2-propanol (1569-01-3) (25-45 %) d-Limonène (5989-27-5) (10-25 %)
<i>G</i>	Aquamor HD (Avmor, Montréal, QC)	Eau (7732-18-5) Acide citrique (77-92-9) (< 1 %) Éther nonylphénolique du polyéthylène glycol (9016-45-9) (? %)
<i>H</i>	Pensolv R420 (West-Penetone, Anjou, QC)	Hydrocarbures aromatiques en C ₉ -C ₁₁ (70693-06-0) (35-50 %) Acétate de 1-méthoxy-2-propanol (108-65-6) (10-20 %) 1-Butoxy-2-propanol (5131-66-8) (7-15 %) 1-Propoxy-2-propanol (1569-01-3) (7-15 %) d-Limonène (5989-27-5) (5-10 %) Glutarate diméthylque (1119-40-0) (5-10) Adipate diméthylque (627-93-0) (1-5 %) Succinate diméthylque (106-65-0) (1-5 %) Salicylate de méthyle (119-36-8) (1-5 %)
<i>I</i>	Pensolv K4HP (West-Penetone, Anjou, QC)	Mélange d'hydrocarbures principalement saturés, en C ₅ -C ₁₀ (64742-89-8) (40-60 %) 2-Pentanone (107-87-9) (40-60 %)
<i>J</i>	Citrikleen HD (West-Penetone, Anjou, QC)	d-Limonène (5989-27-5) (15-40 %) Éthanolamine (141-43-5) (5-10 %) Éther monobutylique du diéthylène glycol (112-34-5) (5-10 %) Diéthanolamine (111-42-2) (1-5 %) Éther nonylphénolique du polyéthylène glycol (9016-45-9) (1-5 %)
<i>K</i>	Citrikleen XPC (West-Penetone, Anjou, QC)	d-Limonène (5989-27-5) (70-90 %) Éther méthylique du tripropylène glycol (25498-49-1) (7-13 %) Éther nonylphénolique du polyéthylène glycol (9016-45-9) (5-10 %)
<i>L</i>	Grafikleen E844 (West-Penetone, Anjou, QC)	Éther monométhylque du dipropylène glycol (34590-94-8) (5-10 %) d-Limonène (5989-27-5) (5-10 %)

Code	Solvant (Fournisseur)	Composition * (N ^o CAS) (Proportion)
<i>M</i>	Grafikleen R845 (West-Penetone, Anjou, QC)	Hydrocarbures aromatiques en C ₉ -C ₁₆ (64742-94-5) (75-90 %) Diacétone alcool (123-42-2) (10-25 %)
<i>N</i>	Tarksol SC-4000 (Storchem / Terpene Technologies, Burlington, ON)	Eau (7732-18-5) Terpène hydroxylé Alcools en C ₉ -C ₁₁ éthoxylés (68439-46-3) (7-13 %) Esters d'acides dicarboxyliques (7-13 %) incluant : Glutarate diméthylique (1119-40-0) Succinate diméthylique (106-65-0) Adipate diméthylique (627-93-0)
<i>O</i> **	PDN 80907 (E.Q.U.I.P., Baie d'Urfé, QC)	N-Méthyl-2-pyrrolidone (872-50-4) (30-60 %) Esters d'acides dicarboxyliques (15-40 %) incluant : Glutarate diméthylique (1119-40-0) Succinate diméthylique (106-65-0) Adipate diméthylique (627-93-0) d-Limonène (5989-27-5) (7-13) Nonylphénol éthoxylé (127087-87-0) (1-5 %) Éther monométhylique du tripropylène glycol (25498-49-1) (? %)
<i>P</i>	Greensolv 272G (E.Q.U.I.P., Baie d'Urfé, QC)	N-Méthyl-2-pyrrolidone (872-50-4) (30-60 %) Esters d'acides dicarboxyliques (15-40 %) incluant : Glutarate diméthylique (1119-40-0) Succinate diméthylique (106-65-0) Adipate diméthylique (627-93-0) Triéthanolamine (102-71-6) (0,5-1,5 %)
<i>Q</i>	Strimix 100 (Elf-Atochem, Philadelphia, PA)	Diméthylsulfoxyde (67-68-5) (40-70 %) Acétate de 1-méthoxy-2-propanol (108-65-6) (20-60 %)
<i>R</i> **	Strimix 110 (Elf-Atochem, Philadelphia, PA)	Diméthylsulfoxyde (67-68-5) (20-60 %) Acétate de 1-méthoxy-2-propanol (108-65-6) (10-60 %) o-Chlorotoluène (95-49-8) (10-60 %)
<i>S</i>	VCI-432 (Cortec, St. Paul, MN)	N-Méthyl-2-pyrrolidone (872-50-4) (16-20 %) 3-Éthoxypropionate d'éthyle (763-69-9) (15-20 %)

* À partir des fiches signalétiques respectives

** Produits expérimentaux

5.0 Évaluation des conséquences de l'utilisation de chaque option

Afin d'éviter d'étudier les conséquences de l'utilisation de chacun des 18 solvants proposés et notamment leur toxicité, des tests en laboratoire ont d'abord été effectués pour permettre de choisir les candidats les plus techniquement performants.

5.1 Essais en laboratoire

Une procédure de test des solvants proposés a été élaborée par l’UdeM. Les 19 solvants du tableau XIII ont été testés sur 18 salissures incluant 5 résines (copolymère acrylique, alkyde, polyacrylate hydroxylé, polyester, diacrylate époxydique), 2 additifs (copolymère acrylique, polymère fluoré), 5 pigments (graphite, noir de carbone, pigment de phtalocyanine de cuivre, pâte d’aluminium, colorant de phtalocyanine de cuivre), 6 peintures (scellant UV, polyester blanc, alkyde blanc, apprêt époxy gris, acrylique uréthane bleu, alkyde au chromate de plomb). Le solvant Thinrec-Sico agissait comme témoin. Les tests comprenaient des essais de dissolution et des essais de nettoyage au chiffon imbibé de solvant à tester. Les solvants étaient évalués visuellement par un essayeur à l’aide de cotes semi-quantitatives quant au degré de dissolution, la facilité de nettoyage et le degré de propreté atteint.

Les solvants les plus performants globalement étaient les suivants par ordre décroissant de performance : A, Q/B, R/S, I. Le choix s’est donc porté sur les solvants Q et B pour effectuer des tests en situation réelle sur le plancher de l’usine.

5.2 Essais sur le plancher

Après plusieurs semaines d’attente pour obtenir un échantillon de 20 L du solvant Q (Strimix 100), le fabricant a informé Sico qu’il ne mettrait pas son solvant sur le marché de l’Amérique du Nord. Ainsi, seul le solvant B (Safe Strip), issu des essais de laboratoire, a été testé. Ce solvant a été testé sur des taches coriaces. Le contremaître a jugé à vue de nez que le Safe Strip n’était pas aussi efficace que le solvant traditionnel Thinrec-Sico. Ce dernier n’a cependant pas été testé concurremment.

Face à cette impasse, une nouvelle enquête de la part de l’UdeM a permis d’identifier quatre solvants supplémentaires à tester directement sur le plancher, sans essais préalables au laboratoire. Le tableau XIV présente les noms de ces nouveaux produits accompagnés de leur composition chimique.

Tableau XIV
Solvants supplémentaires potentiellement substitutifs, testés directement sur le plancher

Code	Solvant (Fournisseur)	Composition* (N° CAS) (Proportion)
T	X-397 (Zep, Dorval, QC)	Glutarate diméthylique (1119-40-0) (15-40 %) N-Méthyl-2-pyrrolidone (872-50-4) (10-30 %) 2-Phénoxyéthanol (122-99-6) (10-30 %) Adipate diméthylique (627-93-0) (7-13 %) Succinate diméthylique (106-65-0) (7-13 %)
U	X-2787 (Zep, Dorval, QC)	Hydrocarbures aromatiques en C ₉ -C ₁₆ (64742-94-5) (40-60 %) Alcool furfurylique (98-00-0) (15-40 %) N-Méthyl-2-pyrrolidone (872-50-4) (10-30 %)

Code	Solvant (Fournisseur)	Composition * (N ^o CAS) (Proportion)
		Éther nonylphénolique du polyéthylène glycol (9016-45-9) (1-5 %)
V	Enkrosol 750 (Deane et Cie, Pointe-Claire, QC)	Hydrocarbures aromatiques en C ₈ -C ₁₀ (64742-95-6) (15-40 %) Solvant Stoddard (8052-41-3) (30-60 %) d-Limonène (5989-27-5) (1-5 %) Éther monométhylrique du dipropylène glycol (34590-94-8) (3-7 %) 1-Méthoxypropan-2-ol (107-98-2) (3-7 %)
W	Deanco 792 (Deane & Cie, Pointe-Claire, QC)	Hydrocarbures aromatiques en C ₈ -C ₁₀ (64742-95-6) (30-70 %) Alcool benzylique (100-51-6) (10-30 %) Esters d'acides dicarboxyliques () (5-10 %) incluant : Glutarate diméthylrique (1119-40-0) Succinate diméthylrique (106-65-0) Adipate diméthylrique (627-93-0) N-Méthyl-2-pyrrolidone (872-50-4) (3-10 %) Émulsifiant non spécifié (?) (?)

* D'après les fiches signalétiques respectives

Le solvant T a été jugé inférieur au solvant B quant à son efficacité de nettoyage des taches de peinture coriaces. Le solvant X-2787 s'est avéré partiellement efficace sur des taches coriaces. Le solvant V a été jugé inefficace sur les taches coriaces. Enfin de solvant W a été jugé efficace sur des taches fraîches mais inefficaces sur les taches coriaces.

Après avoir effectué un test sur des taches coriaces avec le solvant traditionnel Thinrec-Sico, il est apparu que ce dernier n'était pas efficace sur ces vieilles taches! Le contremaître a finalement révélé que les vieilles taches coriaces étaient parfois enlevées à l'aide du « Décapant pour peinture et vernis » de Sico, contenant les ingrédients suivants : dichlorométhane (60-100 %), méthanol (5-10 %), toluène (1-5 %) et un épaississant.

La problématique du lavage des plancher est donc double : le lavage régulier de taches fraîches de résines, peintures et pigments d'une part et le « décapage » de vieilles taches coriaces d'autre part. En conséquence, il a été décidé de poursuivre le travail avec un solvant moins puissant que les décapants (B, T, U) et moins dispendieux⁵⁸ comme le solvant W. L'entreprise s'est procuré un fût de 200 L de Deanco 792 afin que les travailleurs puissent l'essayer pendant plusieurs jours sur diverses taches fraîches. Ensuite un mesurage de l'exposition des travailleurs serait effectué pendant le lavage au Deanco 792. Entre-temps les laboratoires de l'IRSST ont analysé un échantillon de Deanco 792 afin d'identifier les composants qui pouvaient être échantillonnés (xylènes et triméthylbenzènes). Le tableau XV présente les résultats de l'analyse environnementale lors de l'utilisation du Deanco 792 par deux travailleurs pour effectuer un grand lavage de plancher ainsi que les résultats pour le cas d'un lavage par un seul travailleur

⁵⁸ Le solvant Deanco 792 est trois à quatre fois moins cher que les décapants évalués

avec le solvant traditionnel Thinrec-Sico. Dans ce dernier cas, le travailleur s’efforçait de bien essorer le faubert (balai à frange) avant le nettoyage afin de minimiser la quantité de solvant transféré sur le plancher.

Tableau XV
Niveaux d’exposition des mélangeurs de peinture qui lavent
le plancher au Deanco 792 (00/03/14) ou au Thinrec-Sico (00/03/15) (53)

Solvants	Concentration (mg/m ³) Travailleur n ^o 1 Deanco 792	Concentration (mg/m ³) Travailleur n ^o 2 Deanco 792	Concentration (mg/m ³) Travailleur n ^o 2 Thinrec-Sico	Norme [*] VEMP (mg/m ³)	Norme [*] VECD (mg/m ³)
Acétate d’éthyle	-	-	225	1440	-
Méthyléthylcétone	-	-	225	150	300
Méthylisobutylcétone	-	-	50	205	310
Naphta VM&P	-	-	< 1	1310	-
Toluène	-	-	25	377	565
Triméthylbenzène	< 44	35	-	123	-
Xylène	120	120	185	434	651
Durée (minutes)	7	13	12	480	15

* Règlement sur la qualité du milieu de travail (98)

Les niveaux de solvants mesurés dans la zone respiratoire des mélangeurs de peinture lors de l’utilisation du Deanco 792 étaient faibles. Les solvants aromatiques lourds n’ont cependant pas été évalués.

D’après les commentaires des travailleurs, le Deanco 792 laisse un résidu sur le plancher et ce dernier devient de plus en plus collant à l’usage. L’eau de rinçage réagit avec le solvant sur le plancher avec formation d’un résidu blanc glissant. Cette réaction serait due à la présence d’un émulsifiant dans le Deanco 792.

L’UdeM a demandé au chimiste de Deane & Cie de fournir à Sico, un échantillon de Deanco 792 sans émulsifiant. Le problème du plancher collant pourrait peut-être ainsi être éliminé.

5.3 Étude des conséquences pour la SST et l’environnement de l’utilisation du Deanco 792

Le solvant Deanco 792 est un mélange combustible (point d’éclair = 49 °C en coupelle ouverte) dont la tension de vapeur avoisine celle du cumène, donc légèrement volatil (≈0,6 kPa @ 25 °C).

5.3.1 SST

Le solvant Deanco 792 est composé principalement d’un mélange d’hydrocarbures aromatiques de composition variable, qui bout approximativement entre 135 et 210 °C, vendu par les raffineries de pétrole sous différents noms de marque tels que Solvesso 100 (Imperial Oil, Toronto, ON), ShellSol A100 (Shell Chimie du Canada, Calgary, AB) et Hi Sol 10 (Ashland Canada, Mississauga, ON). La fiche signalétique d’Imperial Oil indique que son produit contient

29,4 % de 1,2,4-triméthylbenzène, 1,1 % de cumène, 2,3 % de xylènes et de l'éthylbenzène (117). La fiche signalétique de Shell indique que son produit contient 40 % de 1,2,4-triméthylbenzène, 1-2 % de cumène et 1-2 % de xylènes (179). Au vu des concentrations de xylènes retrouvées lors de l'échantillonnage du 00/03/14 (voir le tableau XV), il est probable que la composition du solvant utilisé pour formuler le Deanco 792 soit légèrement différente du Solvesso 100 et du ShellSol A100 tout en respectant les caractéristiques physico-chimiques de la norme « D3734-96 Standard Specification for High-Flash Aromatic Naphthas » (ASTM, West Conshohocken, PA). L'analyse par GC-MS d'un échantillon de procédé de Deanco 792 avait mis en évidence les ingrédients suivants : triméthylbenzènes, xylènes et hydrocarbures aromatiques lourds (J. Lesage, IRSST, Rapport d'analyse environnementale n^o E129817, 99/12/23).

Deux études de toxicologie expérimentale ont été menées par des chercheurs financés par les grandes raffineries de pétrole étasuniennes. La première étude traite de la toxicité sur le développement du « High Flash Aromatic Naphtha » (HFAN)⁵⁹ sur la souris. Les animaux ont été exposés 6 heures par jour par inhalation à des concentrations de 100, 500 et 1500 ppm de HFAN du 6^e au 15^e jour de gestation. Les mères exposées à 1500 ppm ont subi des effets toxiques importants (44 % de décès). Une diminution de la prise de poids a été rapportée pour celles exposées à 500 ppm alors que celles exposées à 100 ppm n'ont pas eu d'effet délétère. Les effets suivants sur le développement sont rapportés pour les rejetons exposés à 1500 ppm : nombre de fœtus/portée↓, poids fœtal↓, nombre d'implantation↓, délai d'ossification↑, division palatine↑. Le seul effet sur le développement pour les animaux exposés à 500 ppm était une diminution du poids fœtal. Une diminution du nombre de fœtus/portée est rapportée pour les animaux exposés à 100 ppm mais elle n'est pas fonction de la dose administrée. À l'occasion de cette même étude, les auteurs rapportent également les résultats d'une étude de reprotoxicité sur trois générations de rats. Ils concluent que le HFAN produit peu de reprotoxicité chez ce rongeur (140). Sur la base de cette étude, Jankovic et Drake proposent une valeur limite de 12 mg/m³ de HFAN (8h), qui protégerait contre les effets délétères sur le développement. Cette recommandation est issue de la base de données FoxPro[®] obtenue des auteurs (125).

La deuxième étude portait sur la neurotoxicité du HFAN chez le rat. Les animaux étaient exposés par inhalation 6 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 90 jours aux mêmes concentrations de HFAN que dans la première étude. Des tests d'activité motrice et une batterie d'observations fonctionnelles ont été effectués à la 5^e, 9^e et 13^e semaines. Les rats ont également été euthanasiés à la fin de l'expérience et un examen histopathologique de leur système nerveux a été effectué. Aucun signe de neurotoxicité ni de changement pathologique dans les tissus n'ont été observés (65).

Imperial Oil recommande une valeur limite d'exposition professionnelle de 50 ppm (260 mg/m³) pour le Solvesso 100 (c'est-à-dire l'ensemble des hydrocarbures aromatiques en C₈-C₁₀, n^o CAS 64742-95-6) (117). Ashland recommande la même valeur limite pour le Hi Sol 10 (24). Ces deux fabricants ne spécifient pas sur quelle base ces valeurs ont été déterminées. Shell ne propose pas de valeur limite d'exposition professionnelle mais affirme dans la section de l'identification des dangers de la fiche signalétique étasunienne du ShellSol A100 que l'organe cible principal serait le mécanisme de l'audition (179).

⁵⁹ Naphte aromatique à haut point d'éclair (N^o CAS : 64742-95-6)

L’alcool benzylique est un liquide combustible, fortement irritant pour les yeux. L’exposition à ses vapeurs peut causer des céphalées, vertiges, nausées et vomissements. Sa très faible tension de vapeur (0,02 kPa ou 0,15 mm Hg @ 25 °C) indique cependant le peu de propension de ce solvant à générer des vapeurs. Il provoque une dépression du système nerveux central à forte dose. Une étude chez la souris a démontré un faible potentiel toxique sur le développement à forte dose (légère baisse du poids des rejets à la naissance et de la prise de poids dans les trois premiers jours après la naissance) en présence de toxicité importante chez les mères. Il n’est pas mutagène. Une étude du U.S. National Toxicology Program a démontré que l’alcool benzylique n’est pas cancérigène chez le rat et la souris (43). L’American Industrial Hygiene Association (AIHA) recommande une valeur limite d’exposition professionnelle de 10 ppm (8h) afin de prévenir les effets lacrymogènes de l’alcool benzylique (14).

Pour les questions de SST concernant la N-méthyl-2-pyrrolidone et les esters d’acides dicarboxyliques, le lecteur est référé respectivement aux § 5.2.2.1 et 5.2.5.1 de l’annexe VI.

5.3.2 Environnement

Aucune donnée facilement accessible dans la littérature n’a été identifiée concernant le devenir environnemental et les effets écologiques du HFAN. Sachant qu’un des composants majeurs du HFAN est le 1,2,4-triméthylbenzène (TMB), il est cependant possible d’estimer ces paramètres en considérant ceux du TMB. Le facteur de bioconcentration du TMB chez la carpe se situe entre 31 et 275 (203). Le potentiel de bioconcentration peut donc être considéré comme faible à modéré selon la classification rapportée par l’American National Standard Institute (ANSI) (22). Le TMB est photochimiquement réactif (203); il peut donc contribuer à la formation d’ozone urbain.

Les concentrations létales 50 (CL₅₀) suivantes ont été rapportées par le United States National Library of Medicine pour l’alcool benzylique : 770 mg/L/48h, 480 mg/L/72h et 460 mg/L/96h chez la tête-de-boule; 10 ppm/96h chez le crapet arlequin; 15 ppm/96h chez la capucette béryl (202). L’alcool benzylique serait donc peu dangereux pour la première espèce aquatique mais « toxique » pour la deuxième espèce et « dangereux » pour la dernière espèce selon le système de classification des données aquatiques de l’Union européenne tel que rapporté par l’ANSI (22). L’accumulation de l’alcool benzylique dans les organismes aquatiques et son adsorption sur les sédiments ou les matières en suspension dans le plans d’eau ne devraient pas être importante (202).

6.0 Comparaison des options

Cette section présente une comparaison de la seule solution finalement envisagée avec la situation originale afin d’apprécier si cette solution est globalement acceptable. Le tableau XVI présente donc une comparaison du Deanco 792 et du Thinrec-Sico pour les questions SST, environnement et technique.

Tableau XVI
 Comparaison Thinrec-Sico et Deanco 792

Éléments de comparaison	Thinrec-Sico	Deanco 792
Santé	Irritation des yeux, des muqueuses et de la peau; atteinte aiguë du système nerveux central	Irritation des yeux, des muqueuses et de la peau; fœtotoxicité
Sécurité	Inflammable	Combustible
Environnement	Smog photochimique	Smog photochimique
Technique	Excellent	Moyen

Les dangers pour la santé des deux solvants sont semblables mais la tension de vapeur du Deanco 792 étant plus faible que le Thinrec-Sico, le risque sanitaire global est plus faible pour le premier. Le Deanco 792 est nettement moins dangereux pour la sécurité que le Thinrec-Sico en raison de son point d'éclair beaucoup plus élevé. Les effets sur l'environnement atmosphérique sont semblables pour les deux solvants. Encore ici, la volatilité réduite du Deanco 792 minimise les quantités de solvant qui seraient émises dans l'atmosphère. Finalement l'aspect technique ne favorise pas l'utilisation du Deanco 792 dans sa version actuelle en raison du fait qu'il rend le plancher collant à l'usage.

7.0 Essai sur le terrain

Les essais rapportés au § 5.2 sont en fait ceux qui devaient être effectués à l'étape 7.0.

8.0 Implantation

Cette étape n'a pas été réalisée.

9.0 Évaluation

Cette étape n'a pas été réalisée.

Annexe IV

Fabricant de pantalons

1.0 Identification du problème

Ayant été sollicité par l’Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur de l’habillement (ASP-H), une première rencontre entre l’Université de Montréal (UdeM) et l’ASP-H a eu lieu le 6 février 1998. Tout comme dans le secteur du textile, les entreprises du secteur de l’habillement utilisaient depuis longtemps le 1,1,1-trichloroéthane (TCA) comme solvant de détachage des vêtements lorsque que cette substance fut bannie au Canada le 1^{er} janvier 1996 en raison de son potentiel de destruction de la couche d’ozone stratosphérique (79). Ces entreprises auraient substitué le trichloréthylène (TCE) ou le tétrachloréthylène (PERC) au TCA. Une première entreprise avait d’abord été pressentie pour mener l’étude de substitution de solvant. Mais, suite à la visite de l’usine et à l’obtention de la fiche signalétique du détachant, il est apparu que cette société n’utilise pas de solvants très toxiques comme le TCE. Ce n’est qu’à la suite d’une visite chez un fabricant de pantalons (FP⁶⁰) le 16 avril 1998 que cette entreprise a finalement été choisie pour mener l’étude de substitution de solvant. FP avait en effet substitué le TCE au TCA pour le détachage de ses vêtements.

2.0 Rédaction d’un plan d’action

Lors de notre première visite, FP acceptait oralement de participer à notre recherche de substitution des solvants. Le 30 avril 1998, M. Michel Gérin adressait une lettre au responsable du service des presses et de la santé et sécurité du travail (SST) chez FP afin de lui présenter succinctement l’origine, les objectifs et la démarche de notre étude. Aucune lettre d’entente n’a été formellement signée entre l’UdeM et FP. Au vu des ressources limitées dans cette entreprise comme d’ailleurs dans l’ensemble du secteur de l’habillement, aucun comité formel de substitution de solvant n’a été formé. Le groupe de travail restreint suivant a cependant été mis sur pied pour procéder à l’étude du cas de FP :

Madame Liette Sauvage, hygiéniste industrielle, ASP-H
Madame Touseef Mirza, candidate à la maîtrise, Université de Montréal
Monsieur Denis Bégin, Agent de recherche, Université de Montréal

3.0 Collecte des informations sur le procédé

L’objectif de cette étape était de formuler de façon précise le problème à résoudre. Cette section présente donc une description du procédé de fabrication des vêtements, de leur détachage, l’exposition au TCE du personnel affecté au détachage et l’origine des taches sur les vêtements. Une description des tâches accomplies par le groupe de travail restreint est également présentée afin de comprendre comment ces données ont été recueillies.

⁶⁰ À sa demande, le nom de l’entreprise n’est pas révélé

3.1 Méthodologie

Les informations sur les différentes étapes de la production des vêtements chez FP ont été colligées à l'aide de la fiche de collecte de renseignements élaborée spécifiquement pour cette étape du processus de substitution (voir l'annexe I), de visites de l'usine en compagnie du responsable du service des presses et de la SST, d'interviews du personnel affecté au détachage et d'observations lors de l'échantillonnage du TCE et de l'essai d'un solvant substitutif (voir la chronologie des événements au tableau XVII).

Tableau XVII
Chronologie des principaux événements de la recherche
d'une option de rechange chez FP

Date	Remarques
6 février 1998	Rencontre UdeM et ASP-H
19 février 1998	Visite d'une première usine de vêtement
16 avril 1998	1 ^{re} visite de l'usine FP
30 avril 1998	Lettre explicative de M. Gérin au responsable du service des presses et de la SST
2 juin 1998	2 ^e visite : Échantillonnage du TCE
11 janvier 1999	3 ^e visite : Essai du VOL Volatile Spotter
13 avril 1999	4 ^e visite : Étude approfondie des postes de détachage des vêtements
6 juillet 1999	Rapport final adressé au responsable du service des presses et de la SST

3.2 Description générale du procédé de fabrication des vêtements

FP fabrique des pantalons habillés pour homme pour le marché nord-américain. FP est classé dans le code 2433⁶¹ de l'ancienne Classification des activités économique du Québec (CAEQ) (39) et dans le code 315227⁶² du nouveau Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (187). L'entreprise possède deux usines. L'usine N^o 1 reçoit le tissu en vrac, procède à son découpage et expédie les pièces découpées à l'usine N^o 2 pour qu'elles soient cousues afin de réaliser les pantalons; ces derniers sont alors réexpédiés à l'usine N^o 1 pour les opérations de finition telles que le pressage. La confection des pantalons exige une centaine d'opérations différentes. FP fabrique 5 000 pantalons par semaine. Environ 75 % du tissu utilisé est constitué de microfibres (fibres plus fines que les fibres naturelles et comprenant notamment le polyester et le Tencel^{md}, une fibre cellulosique fabriquée par Courtaulds) et 25 % de fibres naturelles (coton, laine, soie).

⁶¹ Industrie des pantalons pour hommes

⁶² Fabrication de pantalons et de jeans coupés-cousus pour hommes et garçons

3.3 Détachage des pantalons

Deux contrôleuses de vêtement (code 8566-130 de la CCDP⁶³ (137)) utilisent au total de 4 à 8 litres de TCE de marque « Picrin » (R.R. Street & Co. Inc., Naperville, IL) par semaine pour le détachage des pantalons. La fiche signalétique du « Picrin » est d’ailleurs non conforme aux exigences du Système d’information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT) (96). On utilise plus de solvant de détachage pour les tissus pâles. Chacune des travailleuses inspecte en moyenne 100 pantalons par jour. Le TCE est pulvérisé sur les taches à l’aide d’un pistolet à godet de marque Emery (modèle EM-170) actionné électriquement. Les contrôleuses utilisent également un jet d’air comprimé séparé pour favoriser l’évaporation du TCE. Les pantalons à détacher sont placés sur une table d’inspection assortie d’une jeannette munie d’un orifice relié à un système d’aspiration dont le but premier est de tenir le tissu en place. Les vapeurs de TCE qui sont aspirées dans l’orifice de la jeannette sont évacuées dans l’usine au-dessus des travailleurs à une distance d’environ 4 mètres. Soixante-quinze pour-cent du temps de travail des inspectrices est alloué au détachage; le reste du temps est consacré au raccommodage des pantalons.

3.4 Origine des taches

Les taches proviennent surtout de l’huile des machines à coudre de l’usine N^o 2. De 2 à 3 % des pantalons produits à cette usine sont tachés. Certaines taches proviennent de la graisse utilisée pour lubrifier les presses de l’usine N^o 1. L’encre des stylos utilisés par les travailleurs de la salle de coupe (p. ex. les étendeurs) peut également contribuer aux taches. Enfin il arrive que de la peinture verte, issue des conteneurs employés pour le transport des pantalons, soit transférée sur les pantalons. La difficulté d’enlèvement des taches est surtout fonction de la nature du tissu. À titre d’exemple le coton est difficile à nettoyer alors que les tissus à 100 % de laine sont faciles à nettoyer.

3.5 Exposition des contrôleuses au TCE

La valeur limite d’exposition admissible au TCE en milieu de travail est égale à une concentration moyenne de 269 milligrammes par mètre cube d’air (mg/m^3) pour une exposition de 8 heures et de $1\,070 \text{ mg}/\text{m}^3$ pour une exposition de 15 minutes (98). Le 2 juin 1998, Mme Liette Sauvage a mesuré l’exposition au TCE des deux contrôleuses de tissu. L’une des travailleuses était exposée à $253 \text{ mg}/\text{m}^3$ de TCE sur une période de 183 minutes alors que l’autre employée était exposée à $389 \text{ mg}/\text{m}^3$ sur une période de 187 minutes (173). En supposant que l’exposition au solvant est nulle lors des pauses et pendant le repas du midi et en considérant que l’exposition dans la période non échantillonnée est équivalente à celle mesurée dans la période échantillonnée, il s’en suit que l’exposition d’une des contrôleuses dépasse la norme québécoise d’exposition professionnelle au TCE. Il était donc justifié de trouver une solution de rechange à la situation actuelle aux postes de détachage des pantalons et en premier lieu de tenter d’identifier un solvant substitutif moins dangereux que le TCE.

⁶³ Classification canadienne descriptive des professions

3.6 Efforts antérieurs pour réduire les taches

La réduction des taches à la source exigerait une enquête à l'usine N° 2 de FP. Il n'a pas été possible d'entrer en contact avec cette entreprise dans le cadre de cette recherche. Peu d'efforts ont été consentis pour remplacer le TCE dans l'usine N° 1. Le solvant « New Premium Everblum Cleaning Fluid » (NPE) (Albatross USA, Long Island City, NY) a été testé dans le passé. Ce produit contient les solvants suivants : hydrocarbures synthétiques isoparaffiniques (N° CAS 64742-48-9), 1,1-dichloro-1-fluoroéthane (HCFC-141b, N° CAS 1717-00-6) et 1-méthoxy-2-propanol (N° CAS 107-98-2)⁶⁴. Le NPE aurait été acceptable du point de vue technique mais son odeur a causé son rejet. FP possédait également un échantillon du solvant « Enviro Enlève Taches » (Cansew, Montréal, QC). D'après l'étiquette du contenant, ce détachant contient les trois mêmes solvants que le NPE. Ce solvant n'a pas été testé chez FP en raison de son odeur semblable à celle du NPE.

4.0 Proposition d'options de rechange

Au vu des réticences de FP de travailler à la recherche d'une solution à la source du problème à son usine N° 2, les efforts ont été concentrés pour identifier un autre solvant ou dispositif apte à remplacer le TCE à l'usine N° 1.

Étant donné que la problématique du détachage des vêtements chez FP était similaire à celle de l'usine de finition de textile chez Cleyn & Tinker (C&T), il avait été entendu dès le début de cette recherche que les solutions envisagées chez C&T seraient également considérées chez FP.

Les critères de sélection et les sources d'information utilisés pour identifier des solutions de rechange chez FP étaient essentiellement les mêmes que ceux retenus pour régler le cas de C&T (voir les sections 4.1 et 4.2 de l'annexe 2). Par ailleurs une usine de vêtements sport pour dame en coton/polyester a été visitée. Cette entreprise possédait un poste de détachage de vêtements.

Le lecteur est référé à la section 4.3 de l'annexe 2 pour apprécier l'ampleur des solutions envisagées initialement chez C&T.

5.0 Évaluation des conséquences de chaque option

Le lecteur est de nouveau référé à la l'annexe 2 sur C&T (section 5.0) pour apprécier les conséquences toxicologiques et écotoxicologiques de l'utilisation de chacune des options retenues initialement chez C&T.

6.0 Comparaison des options

Les solutions envisagées chez C&T étaient les suivantes : 1-bromopropane (1-BP), les solvants pétroliers, le VOL Volatile Spotter (VOL, un solvant à base de HCFC-141b) et un appareil de projection de vapeur sèche. Les solvants pétroliers et la projection de vapeur sèche ayant été

⁶⁴ <http://www.albatross-usa.com/MSDS/05NPE.htm>

testés sans succès chez C&T, ils n’ont pas été essayés chez FP. Le 1-BP ayant été mis en attente en raison du manque de données sanitaires, seul le VOL a été testé pour le détachage des pantalons chez FP.

7.0 Essai sur le terrain et choix

Le VOL a été testé chez FP en janvier 1999 sur des retailles de tissus pâles afin de vérifier son efficacité technique. Ce solvant a été testé sur 3 tissus reconnus comme difficilement détachables. Une goutte d’huile lubrifiante pour machine à coudre était placée sur chacun des tissus à tester. Les résultats des tests sont présentés dans le tableau XVIII

Tableau XVIII
Résultats des essais du VOL comme détachant sur 3 tissus

Fibre	Durée d’évaporation (seconde)		Efficacité	
	<i>TCE</i>	<i>VOL</i>	<i>TCE</i>	<i>VOL</i>
Microfibre ¹ 936	55	50	Légère tache	Sans tache
Microfibre ² 636	110	105	Légère tache	Sans tache
100 % Coton	105	120	Sans tache	Légère tache huileuse

¹ 55 % de polyester et 45 % de rayonne

² 64 % de polyester et 36 % de rayonne

Le VOL prend environ le même temps à sécher que le TCE. Les inspectrices ont noté l’odeur florale du VOL. L’une des contrôleuse a mentionné que cela pourrait causer le rejet du produit s’il y avait intensification de l’odeur en fin de journée. Le VOL semble techniquement acceptable sauf peut-être pour le détachage des pantalons en coton d’où les réticences d’une des contrôleuse.

Le VOL n’a finalement pas été retenu pour des raisons environnementales. En effet, le HCFC-141b, l’un des composants du VOL, est une substance appauvrissant la couche d’ozone stratosphérique. Elle sera interdite à moyen terme au Canada (79) et à plus court terme aux États-Unis (211).

8.0 Implantation

À l’origine cette section devait présenter les considérations pratiques de la mise en œuvre de la solution retenue. Or aucune solution de substitution envisagée n’a été recommandée à la société FP. Toutefois les recommandations finales suivantes ont été proposées par écrit à l’entreprise en juillet 1999 :

8.1 Continuer d'utiliser le TCE avec une ventilation locale

Un système d'aspiration des vapeurs de solvant devrait être installé à chacune des tables d'inspection. Mme Liette Sauvage a d'ailleurs produit un document à l'intention de FP concernant les principes à respecter pour l'installation de tout système d'aspiration locale (174). Les vapeurs de TCE doivent être évacuées à l'extérieur de l'usine en conformité avec la réglementation de la Communauté urbaine de Montréal (61). Les postes de détachage des pantalons à l'usine N^o 2 de FP ont également fait l'objet de recommandations par le CLSC de cette région afin d'améliorer l'aspiration localisée (34). De plus, le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) a produit un document comprenant un diagramme illustrant une table d'inspection de vêtement avec une ventilation aspirante (72). Par ailleurs des entreprises étasuniennes proposent divers types de tables de nettoyage de vêtements avec jeannette et ventilation aspirante (p. ex. : Albatross, Long Island City, NY, téléphone : 718-392-6272; American Niagara, Norcross, GA, téléphone : 770-441-5900).

8.2 Brossage

Certaines salissures de type poussiéreux peuvent être avantageusement nettoyées sans solvant en utilisant une brosse à tissu communément appelée « brosse miracle » ou brosse antipeluche ou encore une brosse à habits adhésive.

8.3 Éliminer les taches à la source

Une enquête systématique dans l'usine N^o 2 de FP permettrait peut-être d'identifier des avenues de réduction des taches produites par les machines à coudre.

D'autres fabricants de vêtements sont à la recherche d'une solution de rechange à l'utilisation des solvants dangereux pour le détachage (Michelle Lapinski, GAP Inc., San Francisco, CA, communication personnelle, 98/02/10). Une enquête périodique auprès de collègues responsables du dossier SST dans d'autres entreprises du secteur habillement, des fournisseurs de solvants ainsi que de l'ASP-H, permettrait ainsi d'être à l'affût de solutions de rechange qui puissent être introduites dans cette industrie.

9.0 Évaluation

Afin de mesurer l'atteinte des objectifs de départ et apporter des correctifs cette section devait, également à l'origine, vérifier la mise en œuvre de la solution proposée. À défaut d'une substitution de solvant, l'application des recommandations présentées plus haut a été vérifiée auprès de C&T. Un appel téléphonique a été logé à cet effet le 22 mars 2000 par Mme Liette Sauvage auprès du responsable du service des presses et de la SST. Aucun mécanisme d'aspiration locale n'a été installé aux postes de détachage à l'usine N^o 1. Les contrôleuses continuent d'utiliser le TCE comme détachant.

Le 30 avril 1999, une conversation téléphonique avec l'inspecteur responsable de cette usine à la CSST, nous faisait prendre conscience que le problème de la surexposition des contrôleuses de vêtement au TCE est perçu comme très secondaire dans les priorités de la direction de FP en

matière de SST en raison des problèmes importants de lésions attribuables au travail répétitif vécus dans cette entreprise comme d’ailleurs dans l’ensemble du secteur de la fabrication des vêtements.

Annexe V



1.0 Identification du problème

Jusqu'en 1993, le 1,1,1-trichloroéthane (TCA) était utilisé dans plus de 90 % des adhésifs employés pour le collage de pièces en mousse de polyuréthane (213). Le TCA a été banni au Canada le 1^{er} janvier 1996 en raison de son potentiel de destruction de l'ozone (PDO) stratosphérique (79). Depuis 1994, les fabricants d'adhésifs ont substitué le dichlorométhane (DCM) au TCA dans leurs adhésifs (213). En 1997, la société ChemInfo estimait à 500 tonnes la quantité de DCM utilisée annuellement au Canada dans les adhésifs pour le collage de la mousse de polyuréthane (49). Au mois de mars 1998, l'équipe de santé au travail du CLSC J.-Octave-Roussin (maintenant appelé CLSC Pointe-aux-Trembles/Montréal-Est (PATME)) a contacté l'Université de Montréal (UdeM) afin de trouver une solution de rechange à l'utilisation d'un adhésif à base de DCM chez le fabricant de mousse de polyuréthane Domfoam⁶⁵. Les colleurs de mousse étaient alors exposés à de fortes concentrations de DCM. Une première rencontre officielle entre les chercheurs de l'UdeM, les représentants de Domfoam et ceux du CLSC a eu lieu à Saint-Léonard en avril 1998. Domfoam désirait substituer un adhésif moins toxique à l'adhésif à base de DCM.

2.0 Rédaction d'un plan d'action

Suite à la rencontre du mois d'avril, un plan d'action succinct est adressé à monsieur John Howard, directeur de l'usine de Domfoam. Ce plan comprenait la formation d'un comité de substitution constitué des personnes suivantes :

M. Gilbert Guérin, directeur de l'assurance de la qualité, Domfoam
Denis Bégin, agent de recherche, UdeM
François Lamarre, technicien en hygiène industrielle, CLSC PATME

Le plan stipulait également que la collaboration d'autres personnes pouvait être sollicitée par le comité de substitution. La démarche de substitution mise en œuvre serait celle en neuf étapes présentée à la réunion du 28 avril 1998. L'entreprise devait appuyer cette démarche et accepter que les résultats du projet soient publiés sous forme d'un rapport scientifique à l'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec tout en respectant son anonymat si désiré. Le plan d'action a été contresigné par M. Howard.

⁶⁵ Domfoam International Inc., 8785 boulevard Langelier, Saint-Léonard (Québec) H1P 2C9

3.0 Collecte des informations sur le procédé

L'objectif de cette étape était de formuler de façon précise le problème à résoudre. Cette section présente donc une description du procédé de fabrication de la mousse de polyuréthane, du collage des différentes pièces de mousse et de l'exposition des colleurs au DCM. Une description des tâches accomplies pour collecter ces informations est également présentée afin de comprendre comment ces données ont été recueillies.

3.1 Méthodologie

Les informations sur les différentes étapes de la fabrication et du collage de la mousse chez Domfoam ont été colligées à l'aide de la fiche de collecte de renseignements élaborée spécifiquement pour cette étape du processus de substitution (voir l'annexe I) et à l'occasion de diverses rencontres avec le directeur de l'assurance de la qualité, le directeur d'usine, le chef d'équipe des colleurs ainsi qu'avec les représentants des fournisseurs d'adhésifs. Le tableau XIX présente les principaux événements de la recherche d'une solution de rechange chez Domfoam.

Tableau XIX
Chronologie des principaux événements de la recherche
d'une solution de rechange chez Domfoam

Date	Remarques
19 mars 1998	Échantillonnage du DCM par le CLSC
31 mars 1998	Une fiche de collecte d'information sur la problématique chez Domfoam est transmise par le CLSC PATME à l'UdeM
24 avril 1998	Échantillonnage du DCM par le CLSC
28 avril 1998	1 ^{re} Rencontre UdeM-CLSC-Domfoam
29 avril 1998	Lettre d'entente UdeM - Domfoam
26 mai 1998	1 ^{re} Visite d'usine
7 juillet 1998	Échantillonnage du DCM par le CLSC
2 septembre 1998	Un représentant de 3M visite Domfoam
21 septembre 1998	Le comité de substitution apprend qu'un client de Domfoam utilise Simalfa 309
22 septembre 1998	Échantillonnage du DCM par le CLSC
30 septembre 1998	Démonstration de Simalfa 309 chez Domfoam
14 octobre 1998	Des représentants de Upaco testent l'adhésif Fabond 472 chez Domfoam
17 novembre 1998	Domfoam installe un poste d'encollage avec Simalfa 309
10 décembre 1998	Tests quantitatifs d'efficacité technique de l'adhésif Simalfa. Démonstration de l'adhésif Fastbond 100 par un représentant de 3M
27 janvier 1999	Discussion UdeM -Domfoam sur les résultats quantitatifs des tests (Simalfa vs Fastbond vs

Date	Remarques
	adhésif traditionnel)
5 février 1999	Les représentants de Alfa Adhesives installent le système de canalisation pour que tous les postes d’encollage fonctionnent avec l’adhésif Simalfa 309
19 juillet 1999	Rapport final de l’UdeM adressé à Domfoam
28 février 2000	Une hygiéniste du CLSC PATME échantillonne le β -chloroprène chez Domfoam

3.2 Description générale de Domfoam

La société Domfoam est classée dans la catégorie 1611⁶⁶ de l’ancienne Classification des activités économiques du Québec (CAEQ) (39). Le code 326150⁶⁷ définit sa position dans le nouveau Système de classification des industries de l’Amérique du Nord (SCIAN) (187). Fondée en 1964, l’entreprise compte près de 200 employés et fabrique de la mousse de polyuréthane flexible dans un procédé en continu à son usine de Saint-Léonard depuis 1971. Domfoam fournit sa mousse à des fabricants de meubles (rembourrage), de matelas, de tapis (thibaude) et de véhicules de transport.

3.3 Fabrication de la mousse

La mousse est synthétisée en mélangeant un polymère hydroxylé ou polyol (polyéther ou polyester), du diisocyanate de toluène (TDI), de l’eau et certains adjuvants (p. ex. agent tensioactif, catalyseur, ignifugeant). La réaction chimique produit notamment du dioxyde de carbone qui agit comme agent gonflant. Certains types de mousse exigent l’ajout de DCM comme agent gonflant auxiliaire (0,1 à 21 % en poids de la mousse). La mousse sort du réacteur sous la forme d’une grosse baguette rectangulaire qui est découpée à la scie et stockée en gros blocs. Ceux-ci sont découpés en morceaux de diverses dimensions d’après les spécifications des clients. Domfoam produit 125 sortes de mousse de densité (14 à 64 kg/m³) et de fermeté variables.

3.4 Collage de la mousse

Un adhésif de contact est utilisé pour coller les blocs de mousse ensemble ou sur d’autres matériaux (p. ex. polystyrène expansé ou aggloméré, tissu de polyester). L’adhésif employé à l’origine de la présente recherche était constitué d’un élastomère dissous dans du DCM. La colle était appliquée sur les deux surfaces à joindre (double encollage) à l’aide de pistolets actionnés pneumatiquement et reliés par des canalisations en acier à un fût commun de 200 litres de colle muni d’une pompe à piston. Environ cinq colleurs (code 8571-299 de la CCDP⁶⁸ (77)) de jour et deux de nuit utilisaient au total trois fûts d’adhésif par semaine. Les colles à base de DCM utilisées par Domfoam provenaient de divers fabricants : Parabound A-1535 (Para-Chem

⁶⁶ Industrie des produits en matière plastique en mousse et soufflée

⁶⁷ Fabrication de produits en mousse d’uréthane et en d’autres mousses plastiques, sauf le polystyrène

⁶⁸ Classification canadienne descriptive des professions

Southern Inc., Simpsonville, SC), S-0539 (Sealrez Inc., Saint-Eustache, QC), 80070 Colmousse 070 (Les Adhésifs Adhpro inc., Marieville, QC). Elles contenaient environ 70 % de DCM et 30 % de polychloroprène (néoprène). Le temps de gommage⁶⁹ devait être de quelques secondes. De plus, les pièces collées étaient emballées environ une à deux heures après leur assemblage pour être ensuite expédiées aux clients. L'adhésif devait aussi posséder une bonne résistance à crue⁷⁰. Enfin le film d'adhésif devait également rester souple une fois durci à cœur⁷¹.

3.5 Exposition des colleurs au DCM et autre raison pour substituer

Le technicien en hygiène industrielle du CLSC PATME a mesuré l'exposition de la majorité des colleurs au DCM à l'été 1997. Les niveaux variaient de 130 à 960 mg/m³ (131). La norme québécoise d'exposition professionnelle admissible est de 174 mg/m³ (8 h.) (98). Des efforts de maîtrise de l'exposition au DCM par l'installation d'une ventilation aspirante ont réduit substantiellement les niveaux de DCM qui se situaient, en septembre 1998, à moins du tiers de la norme (131). Monsieur Léo Lalonde, inspecteur de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) a néanmoins enjoint Domfoam à réduire davantage l'exposition des colleurs au DCM en raison de la classification C2 (effet cancérigène soupçonné chez l'humain) de cette substance dans le Règlement sur la qualité du milieu de travail (98). D'autre part, monsieur Léo Ragusa de la Ville de Saint-Léonard enjoignait à son tour Domfoam à ne plus évacuer les vapeurs de DCM dans la cour latérale adjacente à la rue Bombardier en vertu de l'article 6.3.2.1 et 6.3.2.2 du Règlement 1886 de la municipalité (G. Guérin, Domfoam, communication personnelle, 98/11/19).

3.6 Efforts antérieurs pour remplacer l'adhésif à base de DCM

Anciennement les colles contacts à base de polychloroprène en phase aqueuse pouvaient avoir des temps de gommage d'environ 30 minutes (118). Ces produits ne pouvaient donc être utilisés dans le contexte qui nous intéresse. Plus récemment, en 1994, Domfoam a testé l'adhésif Bondmaster 72-7829/72-7831 (Produits Nacan Limitée, Boucherville, QC), une colle en phase aqueuse à deux composants (polychloroprène émulsionné + catalyseur acide) qui devait être pulvérisé à l'aide d'un pistolet HVLP⁷² à tête double. La difficulté de mise en œuvre de ce produit a fait que les essais n'ont pas été concluants. Notons cependant que ce type d'adhésif est actuellement utilisé avec succès chez certains fabricants de meuble (93).

4.0 Propositions d'options de rechange

Cette section présente les efforts du comité de substitution pour identifier des solutions de rechange à l'utilisation de l'adhésif à base de DCM.

⁶⁹ « tack time » = durée s'écoulant entre le moment d'encollage et celui où l'on peut procéder à l'affichage (mise en contact des pièces à assembler dans la position qu'elles doivent occuper)

⁷⁰ « green strenght » = cohésion interne pendant l'évaporation du solvant

⁷¹ « through hardening » = polymérisation ou séchage complet

⁷² « high volume low pressure » = haut volume basse pression

4.1 Critères de sélection

Domfoam exigeait que le nouvel adhésif possède des qualités techniques semblables à l’adhésif traditionnel à base de DCM :

- temps de gommage de quelques secondes
- film de colle flexible suite au durcissement à cœur
- adhésif qui permet le pinçage⁷³
- emballage des pièces de mousse environ 1 heure après leur affichage

Certains clients exigent des plaques de mousse dotées d’une bordure arrondie, ce qui nécessite une opération de pinçage particulièrement exigeante pour l’adhésif en matière de résistance à l’état humide. Plus la mousse est dure plus le pinçage est difficile à réaliser.

L’emballage rapide des pièces de mousse collées a été spécifié par Domfoam afin d’éviter la condensation de la vapeur d’eau issue de l’adhésif sur les parois du film d’emballage en polyéthylène et sur la mousse elle-même. Ce problème avait été noté lors des essais de l’adhésif en phase aqueuse à deux composants de Nacan.

De plus l’adhésif devait être rapidement disponible en fûts de 210 L. Il fallait également proscrire les adhésifs à deux composants.

Aucun tests standardisés par des organismes indépendants tels que l’American Society for Testing and Materials (ASTM) n’a été identifié ou envisagé pour évaluer le temps de gommage, la flexibilité du film de colle et autres spécifications mentionnées plus haut. Ces propriétés sont d’ailleurs testées par essais et erreurs chez Domfoam.

Pour l’UdeM, l’adhésif substitutif devait être moins toxique que la colle à base de DCM. À cette étape-ci, aucune étude approfondie de la toxicité des adhésifs substitutifs n’a été effectuée. Seules les données généralement connues des hygiénistes industriels ont été prises en compte afin d’éliminer *a priori* les adhésifs les plus toxiques. À titre d’exemple, tout adhésif contenant des isocyanates n’était par retenu en raison de leur potentiel irritant et sensibilisant.

4.2 Sources d’information

Plusieurs sources d’information ont été compulsées pour identifier des options de rechange.

4.2.1 Littérature

Des recherches documentaires traditionnelles ont été entreprises dans les bases de données bibliographiques suivantes : Medline (200), Toxline (201), Poltox (41), Current Contents (121), ISST (60), Rapra Abstracts (167), CA Search (42), IAC Trade & Industry (maintenant dénommé « Gale Group Trade & Industry Database™ ») (110), PROMT (maintenant dénommé « Gale Group PROMT® ») (111).

⁷³ « pinching » = opération de façonnage effectuée avec l’index et le pouce après encollage de l’extrémité d’une plaque de mousse

4.2.2 Personnes-ressources

Des contacts ont été établis avec des spécialistes du USEPA, d'un organisme de recherche indépendant (Institute for Research and Technical Assistance (IRTA), Santa Monica, CA), de divers fabricants d'adhésifs tels que :

3M Canada, London, ON
Produits Nacan, Boucherville, QC
Reichhold Chemicals (Swift Adhesives), Durham, NC
UPACO Adhesives, Richmond, VA

ainsi qu'avec des techniciens en hygiène industrielle du réseau public québécois en santé au travail, qui ont été confrontés à des problèmes semblables à celui de Domfoam.

4.2.3 Internet

Des recherches ont été entreprises dans divers sites Web ainsi que dans des groupes de discussion du réseau Internet.

4.2.3.1 Sites Web

Les sites Web de plusieurs fabricants d'adhésifs ont été consultés afin d'identifier des adhésifs substitutifs potentiels. Le site Web du magazine étasunien « Adhesives & Sealants Industry »⁷⁴ propose une liste de 50 fabricants d'adhésifs accompagnés pour la plupart de leur adresse URL⁷⁵. Ce site propose également un moteur de recherche des articles déjà parus⁷⁶ dans le magazine. Les sites Web du USEPA⁷⁷ et d'un organisme indépendant (IRTA⁷⁸) ont aussi été visités.

4.2.3.2 Groupes de discussion

Le groupe de discussion P2Tech⁷⁹ a été mis à contribution pour identifier un adhésif substitutif. Le site Web du magazine « Adhesives & Sealants Industry » possède son propre forum de discussion en ligne pour toute question se rapportant aux adhésifs⁸⁰. La société L&D Adhesives (Comstock Park, MI) propose un formulaire électronique⁸¹ aux internautes désirant poser des questions techniques concernant les adhésifs industriels. Les deux sites précédents n'ont cependant pas été utilisés dans la présente étude de cas en raison de problèmes techniques à l'époque de la recherche d'information.

⁷⁴ <http://www.adhesivesmag.com/asi50.htm>

⁷⁵ « Uniform Resource Locator » = synonyme d'adresse Web

⁷⁶ <http://www.adhesivesmag.com/archives.html>

⁷⁷ <http://www.epa.gov>

⁷⁸ <http://home.earthlink.net/~irta/>

⁷⁹ <http://www.great-lakes.net/lists/p2tech/p2tech.info>

⁸⁰ <http://www.adhesivesmag.com/forum.htm>

⁸¹ <http://www.adhesives.com/askthe.htm>

4.2.4 National Woodcraft

Dans le cadre d’un projet spécial en santé au travail subventionné par la CSST, l’UdeM avait travaillé en 1996-1997 à la résolution d’un cas de remplacement d’adhésif pour mousse de polyuréthane chez le fabricant de meuble National Woodcraft (Saint-Léonard, QC) (108). Les travaux de recherche pour ce cas de substitution ont également servi pour résoudre le cas de Domfoam (93).

4.3 Options préliminaires

Le tableau XX présente la liste des options préliminaires colligées à partir des sources d’information indiquées. Cette liste n’est pas exhaustive mais représente les principales avenues qui étaient *a priori* techniquement envisageables ou proposées comme telles d’après les spécialistes consultés. Plusieurs adhésifs en phase aqueuse à deux composants ont été identifiés mais ne sont pas répertoriés dans le tableau XX en raison des réticences de l’entreprise pour ce type de produit.

L’adhésif Dorus SD310 semblait intéressant d’après l’article du fabricant⁸² qui en faisait la promotion mais le fabricant n’a pas répondu à la demande d’information additionnelle qui lui a été adressée.

Les adhésifs thermofusibles⁸³ étaient présentés comme une solution de rechange par le USEPA (213) ainsi que par IRTA (120). La direction de Domfoam croyait que les appareils de mise en œuvre de ces adhésifs ne permettaient d’appliquer qu’un mince filet de colle. En conséquence, ce procédé serait acceptable pour les fabricants de meubles rembourrés mais incompatible avec la variété de pièces à assembler chez Domfoam (John Howard, communication personnelle, 98/04/28). Possédant des informations différentes, l’UdeM a décidé d’étudier cette avenue malgré ces réticences.

Le peu d’information sur la fiche signalétique du fabricant de l’adhésif 49204 de Swift Adhesives ainsi que la difficulté à obtenir de l’information technique localement ont été déterminants dans la décision de ne pas considérer ce produit pour les étapes subséquentes.

Les options 3, 4, 5, 6, 7 et 8 ont ainsi été retenues pour étude dans les étapes suivantes.

⁸² <http://www.dupont-dow.com/industries/better.html>

⁸³ Adhésif thermoplastique qui, appliqué à l’état fondu, fait prise lors du refroidissement

Tableau XX
Liste des options préliminaires pour remplacer l'adhésif à base de DCM chez Domfoam *

N ^o	Nom commercial (fournisseur)	Composition	Source	Remarques
0	S-0539 (Sealrez Inc., Saint-Eustache, QC) et autres adhésifs similaires (voir section 3.4)	Élastomère non spécifié + DCM (CAS 75-09-2)	Adhésif <i>à remplacer</i> chez Domfoam	Pas de point d'éclair Peu dispendieux
1	Dorus SD310 (Dupont-Dow Elastomers, Wilmington, DE)	Polychloroprène (CAS 9010-98-4) + eau	Site Web du fabricant : http://www.dupont-dow.com	Aucune réponse du fabricant
2	49204 Aqueous Foam Fabricating Adhesive (Swift Adhesives - Reichhold, Research Triangle Park, NC)	Latex (polymère non spécifié) + eau	Swift Adhésifs Division de Reichhold Ltée, Pointe-Claire, QC	Fiche signalétique peu informative. Service à la clientèle déficient.
3	Fabond 472 (UPACO Adhesives, Richmond, VA)	Caoutchouc naturel (CAS 9006-04-6) + eau + ammoniac (CAS 1336-21-6)	Conférence « Porous Substrate Bonding: New & Emerging Technologies », Irwindale, CA, 97/02/06 (120)	Peu dispendieux
4	Simalfa 309 (Alfa Adhesives, North Haledon, NJ)	Polychloroprène + copolymère d'ester acrylique + eau	Client de Domfoam	Dispendieux
5	Fastbond 100 (3M Canada, London, ON)	Polychloroprène (CAS 9010-98-4) + acides résiniques (CAS 68512-67-4) + eau	3M Canada	Dispendieux
6	A-8408 Foam Adhesive (ZYTEC Inc., Whitby, ON)	Caoutchouc synthétique (polymère non spécifié) + heptane (CAS 142-82-5) + acétone (CAS 67-64-1) + toluène (CAS 108-88-3) + méthyléthylcétone (CAS 78-93-3)	Valle Foam Industries Inc., Brampton, ON (société associée à Domfoam)	Point d'éclair : - 18 °C Peu dispendieux
7	L-9781 Soft Seam Adhesive (Mid South Adhesives Inc., Memphis, TN)	Liant et hydrocarbure halogéné non spécifiés	Domfoam	Pas de point d'éclair Dispendieux
8	Adhésif thermofusible	Polymère thermoplastique	USEPA ** (213)	Changement de procédé

* Les données présentées sont issues principalement des fiches techniques et signalétiques des adhésifs respectifs

** United States Environmental Protection Agency

5.0 Évaluation des conséquences de chaque option

Cette section présente les conséquences de l’utilisation de chacune des options retenues pour la santé et la sécurité du travail (SST), l’environnement, l’aspect technique, les coûts, les méthodes de travail et la formation des employés.

5.1 Fabond 472 (UPACO)

5.1.1 SST

L’adhésif en phase aqueuse Fabond 472 contient de 1 à 2 % d’ammoniaque⁸⁴, utilisé comme agent de conservation et stabilisant. Ce produit peut donc dégager du gaz ammoniac. Les concentrations moyennes d’ammoniac permises au Québec dans l’air des locaux de travail sont égales à 17 mg/m³ (8 h.) et 24 mg/m³ (15 min.) (98). Cette norme est basée sur les niveaux proposés par l’American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) qui a élaboré sa recommandation afin de prévenir l’irritation des yeux et des voies respiratoires (3). Aucune étude n’a été identifiée dans la littérature scientifique concernant les niveaux d’ammoniac générés lors de l’utilisation de colles en phase aqueuse appliquées par pulvérisation. Il est cependant connu que les peintures en phase aqueuse renferment des pourcentages d’ammoniac similaires à ceux retrouvés dans les adhésifs aqueux (91). Des chercheurs suédois ont mesuré les niveaux d’ammoniac générés lors de l’application de telles peintures dans des locaux fermés (154). Les concentrations moyennes sur 8 heures étaient faibles en comparaison de la valeur limite permise en Suède égale à 18 mg/m³ sur 8 h. mais des pics de concentration pouvaient atteindre 25 mg/m³ (valeur plafond suédoise : 35 mg/m³) (183). On pourrait donc penser que des niveaux d’ammoniac dépassant la valeur limite de courte durée québécoise soient possibles lors de la pulvérisation de l’adhésif Fabond 472. Domfoam possède cependant un système de ventilation mécanique qui pourrait capter à la source l’ammoniac généré.

Le pH alcalin de l’adhésif Fabond 472 se situe entre 9,0 et 10,5. Le fabricant indique que leur adhésif est un irritant pour la peau, les yeux et les voies respiratoires et peut entraîner une réaction allergique chez certains individus (11).

5.1.2 Environnement

L’impact environnemental de l’utilisation de l’adhésif Fabond 472 est faible. Il pourrait tout au plus y avoir émission de quantités négligeables d’ammoniac. Les contenants vides d’adhésif, constitués de plastique et de carton, ne sont pas recyclables. Ils constituent cependant des déchets solides qui doivent être considérés comme des matières dangereuses au sens du Règlement sur les matières dangereuses (RMD) (99). En effet, selon le RMD, est assimilé « à une matière dangereuse... tout récipient vide... qui est contaminé... par une matière toxique ». Or une matière est considérée toxique en vertu du RMD si elle est visée aux articles 46 à 63 du Règlements sur les produits contrôlés (RPC, SIMDUT) (96). L’adhésif Fabond 472 est un « mélange non testé » en vertu du RPC. Il est classé dans la catégorie D1B car il contient plus d’un pour cent d’un produit visé dans l’article 49 du RPC. En effet l’adhésif Fabond 472 contient

⁸⁴ hydroxyde d’ammonium = solution aqueuse de gaz ammoniac (NH₃)

de 1 à 2 % d'ammoniaque (11) dont la classification SIMDUT est D1B (matières toxiques et infectieuse) et E (matières corrosives) (94).

5.1.3 Aspect technique

L'utilisation d'un adhésif en phase aqueuse exige l'emploi de pistolets de pulvérisation (p. ex. acier inoxydable) et de canalisations (p. ex. chlorure de polyvinyle) résistants à l'eau.

Le brouillard d'un adhésif en phase aqueuse formé par pulvérisation demeure aéroporté plus longtemps que celui d'adhésifs en phase solvant. En conséquence UPACO recommande que les postes de travail soit munis d'un système d'aspiration localisé avec recirculation d'air à l'intérieur des locaux de travail (Michael L. Magee, UPACO, Richmond, VA, communication personnelle, 98/10/14) (208).

L'emploi de pistolets de pulvérisation HVLP⁸⁵ n'est pas nécessairement recommandé par le fabricant (Michael L. Magee, UPACO, Richmond, VA, communication personnelle, 98/10/14). Ce type de pistolet réduirait cependant les pertes de brouillard d'adhésif à cause de sa haute efficacité de transfert (91).

Les latex de caoutchouc naturel étant vulnérables à la contrainte de cisaillement, les pompes à piston sont à proscrire. Les pistolets de pulvérisation doivent en conséquence être alimentés en adhésif par gravité à partir d'un grand sac en plastique contenu dans une boîte de carton (Michael L. Magee, UPACO, Richmond, VA, communication personnelle, 98/10/14).

Les latex n'étant pas résistants aux cycles de gel-dégel, l'adhésif doit être livré dans des camions chauffés et stocké de façon à éviter le gel. La durée de stockage de l'adhésif Fabond 472 est limitée à 5 mois (Michael L. Magee, UPACO, Richmond, VA, communication personnelle, 98/10/14).

5.1.4 Coûts

L'adhésif Fabond 472 a un prix équivalent par unité de volume à celui de l'adhésif original en phase solvant. Les adhésifs en phase aqueuse à base de caoutchouc naturel sont environ trois fois moins dispendieux par unité de volume que les adhésifs en phase aqueuse à base de polychloroprène. Le fabricant UPACO offre un service clef en main incluant la fourniture et l'installation des supports (700 \$/support) pour les contenants d'adhésif et les canalisations (90 \$/poste de travail) (Michael L. Magee, UPACO, Richmond, VA, communication personnelle, 98/10/14).

5.1.5 Formation des travailleurs

Les colleurs doivent être formés à l'utilisation d'un adhésif en phase aqueuse. En effet, l'extrait sec de tels adhésifs étant deux fois plus élevé que les adhésifs en phase solvant, ils doivent apprendre à utiliser moins d'adhésif pour effectuer le même travail. De plus la pression aux

⁸⁵ High Volume Low Pressure = haut volume basse pression

pistolets de pulvérisation doit être limitée à 55 kPa (8 psi) (Michael L. Magee, UPACO, Richmond, VA, communication personnelle, 98/10/14).

5.2 Simalfa 309 (Alfa Adhesives)

5.2.1 SST

L’adhésif en phase aqueuse à un composant Simalfa 309 contient du polychloroprène et une résine acrylique. Les latex de polychloroprène peuvent contenir jusqu’à 0,5 % de monomère résiduel (β -chloroprène ou 2-chloro-1,3-butadiène, CAS 126-99-8) (153). Le β -chloroprène est classé 2B⁸⁶ par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) (113). La concentration moyenne permise au Québec de β -chloroprène dans l’air est égale à 36 mg/m³ sur 8 h. (notation « peau ») (98). Cette norme est basée sur la recommandation de l’ACGIH qui vise à prévenir l’irritation, la dépression du SNC ainsi que la toxicité hépatique et hématologique (6). L’adhésif Simalfa contiendrait cependant moins de 0,1 % de β -chloroprène (Darren Gilmore, Alfa Adhesives, télécopie à D. Bégin, 99/03/01). Le risque d’exposition des colleurs au monomère serait donc négligeable. Néanmoins, afin de s’assurer de l’absence de danger, il a été entendu qu’un mesurage de β -chloroprène serait effectué dans l’air des locaux de travail si un adhésif en phase aqueuse à base de polychloroprène était éventuellement choisi comme solution de rechange.

La nature exacte du copolymère d’ester acrylique contenu dans l’adhésif Simalfa 309 est inconnue. L’on sait cependant que cette résine acrylique est un composant mineur du liant contenu dans l’adhésif Simalfa 309 (Darren Gilmore, Alfa Adhesives, télécopie à D. Bégin, 99/03/01). Il est probable que l’un des comonomères soit le méthacrylate de méthyle. Même s’il subsistait des traces de ce liquide irritant dans l’adhésif, les niveaux d’exposition des colleurs seraient négligeables au vu de la valeur limite réglementaire pour le méthacrylate de méthyle (410 mg/m³ sur 8 h.) (98).

Le pH légèrement alcalin de l’adhésif Simalfa 309 se situe entre 7,0 et 9,0. Cet adhésif peut donc être considéré comme non corrosif. Le fabricant indique cependant qu’il est possible que de l’irritation apparaisse suite à un contact prolongé avec la peau et les muqueuses (17).

5.2.2 Environnement

L’impact environnemental de l’utilisation de l’adhésif Simalfa 309 est faible. Cet adhésif ne contient aucun composé organique volatil (COV). Les contenants vides d’adhésif, constitués de plastique et de carton, ne sont pas recyclables. Ils constituent des déchets solides qui ne sont cependant pas considérés comme des matières dangereuses au sens du Règlement sur les matières dangereuses (article 4, alinéa 3) (99), essentiellement parce que les polymères (polychloroprène et résine acrylique) contenus dans les résidus d’adhésif Simalfa 309 ne sont pas des « matières toxiques » (produits non contrôlés en vertu du RPC ou SIMDUT). Des filtres en polyester sont utilisés dans le système de ventilation pour capter l’excédent d’aérosol d’adhésif. Ces filtres souillés d’aérosol de Simalfa 309 pourraient être considérés comme une matière dangereuse en vertu du RMD (article 4, alinéa 6) s’ils contiennent plus de 1 500 mg d’halogènes organiques

⁸⁶ possiblement cancérigène chez l’humain

totaux par kg de filtre souillé, déterminé selon la méthode analytique du Ministère de l'Environnement (MENV) (99; 143).

5.2.3 Aspect technique

Le fabricant recommande d'appliquer l'adhésif Simalfa 309 à l'aide de pistolets HVLP. Tout matériau en contact avec l'adhésif doit être constitué d'acier inoxydable ou de plastique. L'adhésif ne doit pas être pompé; les pistolets sont alimentés par gravité (18).

L'utilisation de l'adhésif Simalfa 309 exige la présence d'un système de ventilation générale et une aspiration localisée dans certains cas non spécifiés (17).

Les latex n'étant pas résistants aux cycles de gel-dégel, l'adhésif doit être livrés dans des camions chauffés et stocké à une température supérieure à 5 °C et inférieure à 40 °C. La durée de stockage de l'adhésif Simalfa 309 est limitée à 6 mois (18).

5.2.4 Coûts

L'adhésif Simalfa 309 est trois fois plus dispendieux par unité de volume que l'adhésif original en phase solvant. Le fabricant Alfa Adhesives offre un service clef en main à leurs frais incluant la fourniture et l'installation des canalisations en chlorure de polyvinyle pour acheminer l'adhésif par gravité aux pistolets de pulvérisation.

5.2.5 Formation des travailleurs

Les colleurs doivent être formés à l'utilisation d'un adhésif en phase aqueuse. En effet, l'extrait sec de tels adhésifs étant deux fois plus élevé que les adhésifs en phase solvant, ils doivent apprendre à utiliser moins d'adhésif pour effectuer le même travail. De plus la pression à la tête d'air⁸⁷ du pistolet de pulvérisation doit être limitée à 69 kPa (10 psi) et à 206-344 kPa (30-50 psi) à l'entrée d'air du pistolet (19).

5.3 Fastbond 100 (3M Canada)

5.3.1 SST

L'adhésif en phase aqueuse à un composant Fastbond 100 est composé de polychloroprène et d'acides résiniques (2). Comme pour l'adhésif Simalfa 309, il pourrait y avoir un peu de monomère résiduel (β -chloroprène) dans le polychloroprène. La Liste de divulgation des ingrédients en vertu de la Loi sur les produits dangereux exige que la fiche signalétique de toute préparation commerciale vendue au Canada contenant plus de 0,1 % en poids de β -chloroprène fasse mention de la présence de cette substance (94). Or le β -chloroprène n'est pas mentionné sur la fiche signalétique canadienne de l'adhésif Fastbond 100 (2). Il s'en suit que les traces de β -chloroprène (< 0,1 %), si présentes dans l'adhésif Fastbond 100, ne sont pas susceptibles de surexposer les colleurs chez Domfoam.

⁸⁷ Tête de pulvérisation

Les acides résiniques, issues de la colophane, sont principalement l’acide abiétique (CAS 514-10-3) et, dans une moindre proportion, l’acide dextropimarique (CAS 127-27-5) et l’acide palustrique (CAS 1945-53-5). (142). L’acide abiétique est un terpène solide. La colophane, composée surtout d’acide abiétique, est un sensibilisant cutané et respiratoire. Certains auteurs attribuent à l’acide abiétique les mêmes propriétés allergisantes que la colophane (45).

L’adhésif Fastbond 100 possède un pH alcalin variant de 8,4 à 9. Le fabricant indique que le contact avec les yeux ne devrait pas provoquer d’irritation importante. Le contact cutané répété ou prolongé entraîne une légère irritation de la peau. Une exposition prolongée ou répétée par inhalation peut causer de l’irritation des voies respiratoires supérieures (2).

5.3.2 Environnement

L’impact environnemental de l’utilisation de l’adhésif Fastbond 100 est faible. Cet adhésif ne contient aucun composé organique volatil (COV). Les contenants vides d’adhésif, constitués de plastique et de carton, ne sont pas recyclables. Ils constituent des déchets solides qui ne sont cependant pas considérés comme des matières dangereuses au sens du Règlement sur les matières dangereuses (article 4, alinéa 3) (99), essentiellement parce que le polychloroprène et les acides résiniques contenus dans les résidus d’adhésif Fastbond 100 ne sont pas des « matières toxiques » (produits non contrôlés en vertu du RPC ou SIMDUT). Des filtres en polyester sont utilisés dans le système de ventilation pour capter l’excédent d’aérosol d’adhésif. Ces filtres souillés d’aérosol de Fastbond 100 pourraient être considérés comme une matière dangereuse en vertu du RMD (article 4, alinéa 6) s’ils contiennent plus de 1 500 mg d’halogènes organiques totaux par kg de filtre souillé déterminé selon la méthode analytique du Ministère de l’Environnement (MENV) (99; 143).

5.3.3 Aspect technique

Le fabricant 3M recommande l’utilisation d’un équipement de pulvérisation dont la pression d’air est au maximum de 69 kPa (10 psi) au régulateur (1). Il ne serait pas nécessaire d’utiliser un pistolet de pulvérisation HVLP (R. F. Smith, 3M Canada, London, ON, communication personnelle, 98/12/10) quoique le spécialiste qui a fait la démonstration de l’application de l’adhésif Fastbond 100 utilisait un tel pistolet. Le pistolet de pulvérisation doit être en acier inoxydable ou en plastique. L’adhésif ne doit pas être alimenté à l’aide d’une pompe à piston. Il faut utiliser une pompe en plastique à membrane ou à diaphragme en Téflon. L’intérieur des boyaux d’alimentation doivent être constitué de Nylon ou de polyester; les raccords doivent être en acier inoxydable (1). L’adhésif Fastbond 100 peut être alimenté par gravité comme l’adhésif Simalfa 309 (R. F. Smith, 3M Canada, London, ON, communication personnelle, 98/12/10).

5.3.4 Coûts

L’adhésif Fastbond 100 était proposé en 1998 à un prix de près de 16 \$ CA / L. Ce prix aurait par la suite été réduit substantiellement (G. Guérin, Domfoam, communication personnelle, 99/07/05).

5.3.5 Formation des travailleurs

Les colleurs doivent être formés à l'utilisation d'un adhésif en phase aqueuse. En effet, l'extrait sec de tels adhésifs étant deux fois plus élevé que les adhésifs en phase solvant, ils doivent notamment apprendre à utiliser moins d'adhésif pour effectuer le même travail.

5.4 A-8408 Foam Adhesive (Zytec)

5.4.1 SST

L'adhésif de contact à un composant A-8408 est constitué d'un élastomère synthétique non spécifié dissout dans les solvants suivants par ordre d'importance : heptane, acétone, toluène, méthyléthylcétone. L'élastomère est probablement constitué de polychloroprène car c'est le caoutchouc synthétique le plus utilisé dans ce type d'adhésif (139). Le danger principal de cet adhésif est cependant constitué par la présence des solvants organiques inflammables qui constituent de 65 à 75 % du poids de l'adhésif. Le point d'éclair de l'adhésif est d'ailleurs de - 18 °C (175).

Les solvants organiques présents dans cet adhésif sont des irritants des yeux, de la peau et des muqueuses et s'attaquent à divers degrés au système nerveux central (SNC) (165). Les effets de ces solvants peuvent donc être considérés comme additifs. Chaque solvant possède une valeur limite en vertu du Règlement sur la qualité du milieu de travail (RQMT) ainsi qu'une recommandation de l'ACGIH. Ces données sont présentées dans le tableau XXI.

Tableau XXI

Valeurs limites réglementaires québécoises et recommandations de l'ACGIH pour les quatre solvants contenus dans l'adhésif A-8408 de Zytec

Solvant	VEMP* ppm	TLV-TWA** ppm	VECD*** ppm	TLV-STEL**** ppm	Base des recommandations
Heptane	400	400	500	500	Irritation, narcose
Acétone	750	500	1000	750	Irritation
Toluène	100	50	150	-	SNC
Méthyléthylcétone	50	200	100	300	Irritation, SNC

* Valeur d'exposition moyenne pondérée (8 h.) (RQMT)

** Threshold Limit Value - Time-Weighted Average (8 h.) (ACGIH)

*** Valeur d'exposition de courte durée (15 min.) (RQMT)

**** Short-Term Exposure Level (15 min.) (ACGIH)

De plus, le toluène étant considéré embryo- et fœtotoxique, sa présence peut être invoquée pour justifier le retrait préventif d'une travailleuse enceinte en vertu du Programme pour une maternité sans danger de la CSST (présence de plusieurs colleuses chez Domfoam) (37).

5.4.2 Environnement

L’impact environnemental de l’utilisation de l’adhésif A-8408 est non négligeable. Les solvants organiques tels que le toluène contribueraient à la production de smog photochimique. L’évacuation des vapeurs de solvant dans l’air atmosphérique est réglementée par la Communauté urbaine de Montréal (CUM) en vertu de son Règlement 90. Les émissions de substances organiques issues de l’application au pistolet de peinture, vernis, encre ou résine sont limitées à 90 %⁸⁸ ou 5 kg/h (61). Il pourrait donc être nécessaire que les solvants qui s’évaporent de l’adhésif A-8408 soient captés et conduits dans un épurateur apte à réduire les émissions polluantes.

5.4.3 Aspect technique

Le même équipement utilisé pour appliquer l’adhésif traditionnel à base de DCM peut être employé pour appliquer l’adhésif A-8408. La technique d’application est également la même. L’utilisation de cet adhésif exigerait cependant que les installations de Domfoam soient modifiées pour être conformes à la Norme sur la pulvérisation de matières inflammables ou combustibles (151).

5.4.4 Coûts

Le coût de l’adhésif A-8408 n’a pas été rapporté mais il se situe probablement dans le même ordre de grandeur que l’adhésif traditionnel à base de DCM. Il faudra prévoir des coûts possiblement importants pour la mise à niveau des équipements des postes d’encollage afin de se conformer à la Norme sur la pulvérisation de matières inflammables ou combustibles (p. ex moteur et interrupteur de ventilateur antidéflagrants).

5.4.5 Formation des travailleurs

Le risque d’incendie lié à la pulvérisation d’un adhésif à base de solvants inflammables exige que les travailleurs soient formés spécifiquement sur cette question notamment quant à la mise à la terre et l’équipotentialité de l’ensemble des équipements.

5.5 L-9781 Soft Seam Adhesive (Mid South Adhesives)

5.5.1 SST

L’adhésif à un composant L-9781 Solft Seam Adhesive contient un liant non identifié dissous dans un hydrocarbure halogéné non spécifié. À l’instar de l’adhésif A-8408 de Zytec, il est probable que le liant soit du polychloroprène. Par ailleurs l’analyse de la fiche signalétique⁸⁹ de l’adhésif permet de déduire que l’hydrocarbure halogéné non spécifié est le 1-bromopropane (1-BP, CAS 106-94-5). Ceci a été confirmé par la suite par une analyse environnementale

⁸⁸ réduction des émissions du pourcentage indiqué par rapport à celles qui seraient son maîtrisées

⁸⁹ absence de point d’éclair avec l’appareil Tagliabue; valeur limite du fabricant du solvant = 100 ppm; présence du stabilisant 1,2-époxy butane; point d’ébullition moyen = 71 °C; limites inférieure et supérieur d’inflammabilité = 4,0 - 7,8 %; tension de vapeur = 100 mmHg @ 20 °C; produit de décomposition thermique = HBr

effectuée par l'IRSST à la demande d'un technicien en hygiène industrielle du CLSC Montréal-Nord. Ce dernier a échantillonné le 1-BP dans l'air des locaux de travail d'un autre fabricant de mousse de polyuréthane utilisant l'adhésif L-9781 (Jacques Tétraut, CLSC Montréal-Nord, communication personnelle, 98/??/??).

Le 1-BP possède des caractéristiques physico-chimiques semblables au 1,1,1-trichloroéthane (TCA) qui était utilisé jadis comme solvant dans les colles contact pour la mousse de polyuréthane. Certains congénères du 1-BP sont cancérigènes (bromure de méthyle, bromure d'éthyle) et mutagènes (2-bromopropane). Cohen ne croit pas que le 1-BP soit un puissant cancérigène. Il souligne toutefois la formation possible d'oxyde de propylène, un métabolite cancérigène et fait remarquer que le 2-bromopropane a entraîné de l'anémie et de la reprotoxicité chez des travailleurs alors que le 1-BP a provoqué une baisse de la numération et de la mobilité des spermatozoïdes chez le rat (55). Il n'existe pas de valeur limite d'exposition professionnelle adoptée par les grands organismes de référence ou de réglementation tels que l'ACGIH, OSHA ou NIOSH. Les fabricants de 1-BP proposent une valeur limite de 100 ppm (503 mg/m³, concentration moyenne pondérée sur 8 heures) basée sur une étude de toxicité subchronique chez le rat (181). Le 1-BP ne possède pas de point d'éclair avec l'appareil Tagliabue (méthode ASTM D56-82 spécifiée dans le Règlement sur les produits contrôlés (SIMDUT) pour la prise du point d'éclair (96)). Le point d'éclair n'est cependant pas une caractéristique physique absolue; ce paramètre dépend de la méthode dont on se sert pour le déterminer. C'est ainsi que l'on rapporte un point d'éclair égal à -10 °C selon la méthode ISO 1523 (166).

5.5.2 Environnement

Le 1-BP a été réintroduit récemment sur le marché en réaction au bannissement de plusieurs solvants en vertu du Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (160). Le 1-BP n'a cependant pas encore été approuvé par le USEPA en vertu de son programme SNAP (Significant New Alternatives Policy) qui donne la liste des substances acceptables pour remplacer les substances appauvrissant la couche d'ozone stratosphérique (SACO). L'agence étasunienne s'inquiète notamment de son potentiel de destruction de la couche d'ozone qui est faible mais non négligeable (216). L'utilisation de l'adhésif A-9781 pourrait donc contribuer à la déplétion de la couche d'ozone si les vapeurs de 1-BP sont évacuées sans traitement dans l'air atmosphérique.

5.5.3 Aspect technique

Le même équipement utilisé pour appliquer l'adhésif traditionnel à base de DCM peut être employé pour appliquer l'adhésif L-9781. La technique d'application est également la même.

5.5.4 Coûts

Le coût exact de l'adhésif L-8791 n'a pas été rapporté mais il est probablement dispendieux en raison du prix élevé du 1-BP (~ 17 \$ CA/kg).

5.6 Adhésif thermofusible

5.6.1 SST

Un adhésif thermofusible est un solide constitué notamment d’un polymère thermoplastique qui fond rapidement sous l’action de la chaleur et fait prise lors du refroidissement. Ce type d’adhésif ne contient pas de solvant. Les polymères utilisés dans l’industrie en général comprennent notamment le copolymère éthylène/acétate de vinyle (EVA), les polyoléfines, les polyamides, les polyester et les polyuréthanes (159; 182). Pengelly et coll. rapportent que les caoutchoucs thermoplastiques sont utilisés pour le collage de la mousse à des températures de mise en œuvre variant de 150 à 180 °C (158). Les caoutchouc thermoplastiques ou polymères séquencés utilisés dans la formulation des adhésifs thermoplastiques peuvent être constitués des copolymères styrène-butadiène-styrène (SBS) ou styrène-isoprène-styrène (SIS) (35). Pengelly et coll. ont étudié de façon expérimentale les émanations de 14 colles thermofusibles. Une gamme de substances toxiques ont été identifiées mais les acides résiniques viennent en tête de liste pour l’adhésif utilisé pour le collage de la mousse (158). Les acides résiniques (p. ex. acide abiétique), issus de la colophane ajoutée au mélange thermofusible comme agent poisseux, pourraient ainsi constituer un facteur de risque pour l’asthme professionnel à l’instar des produits de décomposition de baguettes de soudure à âme de colophane.

5.6.2 Environnement

L’impact environnemental de l’utilisation des adhésifs thermofusibles est probablement faible car les émissions produites lors du chauffage de ces substances sont faibles. Néanmoins les COV émis peuvent participer à la formation de smog urbain (213).

5.6.3 Aspect technique

Il y aurait deux types d’adhésifs thermofusibles utilisables dans l’industrie de la mousse : les adhésifs sensibles à la pression⁹⁰ (PSA) et les adhésifs thermodurcissables⁹¹ (TCA). Les PSA demeurent collants, peuvent adhérer à toutes les surfaces, produisent un film flexible et possèdent un temps ouvert⁹² illimité. Le film qui résulte de ces adhésifs peut facilement être marqué. Les TCA demeurent collants seulement 10 minutes après leur application et laissent un film d’adhésif rigide (207).

La mise en œuvre des adhésifs thermofusibles exige un équipement spécialisé incluant un réservoir d’adhésif, un boyau d’alimentation et un pistolet de pulvérisation chauffés. Le fabricant d’adhésif UPACO ne recommande aucun système d’aspiration localisée (207).

⁹⁰ « pressure sensitive adhesive » (PSA)

⁹¹ « thermal curing adhesives » (TCA), à ne pas confondre avec le 1,1,1-trichloroéthane (TCA)

⁹² « open time » = temps s’écoulant entre le moment d’étalement d’une colle et celui où elle a perdu son pouvoir collant

5.6.4 Coûts

Le coût des équipements spécialisés varie d'environ 5 250 à 15 000 \$ CA (207). Le coût d'un adhésif thermofusible pour l'industrie de la mousse se situait en 1995 à 8 \$ / L (213).

5.6.5 Formation des travailleurs

Le changement de procédé exige une formation complète des travailleurs.

6.0 Comparaison des options

Cette section présente une comparaison des diverses solutions entre elles et avec la situation originale afin de choisir celles qui seront testées en usine. Le tableau XXII présente les différents aspects considérés pour la comparaison des options envisagées.

En raison de l'introduction d'un nouveau danger pour la sécurité des travailleurs et des coûts importants liés à la mise à niveau des équipements pour prendre en compte le risque d'incendie, l'adhésif A-8408 n'a pas été retenu. Les adhésifs thermofusibles n'ont également pas été retenus notamment à cause du problème de la rigidité du film d'adhésif. Un contenant d'adhésif L-9781 avait été acquis par Domfoam mais il a été rejeté d'emblée par l'entreprise en raison de l'odeur fétide qui se dégageait à l'ouverture du contenant. Cet adhésif n'a donc pas été testé. Les trois adhésifs en phase aqueuse ont fait l'objet de tests en usine.

7.0 Essais sur le terrain et choix

Cette section présente les résultats des tests sur le terrain et la décision sur le choix final. Les tests étaient essentiellement constitués de sessions de collage de pièces de mousse de différentes densités et formes entre elles ou sur d'autres substrats comme du tissu en polyester et du polystyrène aggloméré. Le pinçage sur de la mousse de haute densité constituait probablement le test préliminaire le plus révélateur de la performance des adhésifs. Chaque adhésif a ainsi été testé pendant environ une demi-journée. Un représentant technique de chaque compagnie faisait d'abord une démonstration suivie d'essais par le chef d'équipe des colleurs et du directeur de l'assurance de la qualité. Les représentants des fabricants apportaient leur propre équipement de pulvérisation. Les pièces collées étaient ensuite vérifiées manuellement pour l'adhérence quelques minutes, quelques heures et le lendemain.

7.1 Fabond 472

Le temps de gommage était de 20 à 25 secondes alors qu'avec l'adhésif original, on peut procéder à l'affichage immédiatement après l'encollage. Faute de résistance à crue adéquate, certaines pièces n'ont pu être collées notamment la mousse de polyuréthane sur la mousse de polystyrène rigide (sièges d'autobus). L'adhérence des pièces de mousse collées entre elles n'était pas adéquate même le lendemain.

7.2 Simalfa 309

Le temps de gommage n'était que de quelques secondes plus long que celui de l'adhésif original. Toutes les pièces ont pu être collées adéquatement. L'adhérence des pièces collées était excellente. Le chef d'équipe des colleurs M. Paul Dufort s'est dit particulièrement impressionné par la facilité d'application, le temps de gommage, la résistance et la souplesse des joints de colle secs.

7.3 Fastbond 100

Le temps de gommage était d'environ 15 secondes. La plupart des pièces ont pu être collées adéquatement. Le collage de la mousse de polyuréthane sur la mousse de polystyrène rigide (sièges d'autobus) était problématique mais non insurmontable. L'adhérence des pièces de mousse le lendemain n'était cependant pas tout à fait acceptable.

Tableau XXII
Comparaison des options de rechange (Domfoam)

Éléments de comparaison	Adhésif original	Fabond 472	Simalfa 309	Fastbond 100	A-8408	L-9781	Thermofusible
Technique*	Excellent	Bon	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Film d'adhésif rigide dans certains cas
Santé	DCM probablement cancérigène	Irritation de la peau, des yeux et des voies respiratoires	Irritation de la peau et des muqueuses	Irritation de la peau et des voies respiratoires	Irritation des yeux, de la peau et des muqueuses	Irritation des yeux et voies respiratoires; toxicité chronique du 1-BP inconnue	Asthme professionnel possible si présence de colophane sans ventilation
Sécurité	Vapeur ininflammable	Vapeur ininflammable	Vapeur ininflammable	Vapeur ininflammable	Vapeur inflammable	Vapeur ininflammable	Pas de vapeur
Environnement	DCM toxique selon LCPE**	Faible émission d'ammoniac; gestion des déchets dangereux	Effet faible : gestion des filtres souillés d'aérosol d'adhésif	Effet faible : gestion des filtres souillés d'aérosol d'adhésif	Smog urbain (Règlement 90 de la CUM)	Déplétion de la couche d'ozone stratosphérique	Très faible émission de COV
Coûts	Faibles	Moyens	Élevés	Très élevés	Élevé (aspect sécurité : mise à niveau des équipements)	Très élevés	Très élevés
Formation	Aucune	Moyenne***	Moyenne***	Moyenne***	Moyenne (aspect sécurité)	Minimale	Importante : changement de procédé

* appréciation qualitative générale d'après la littérature commerciale en prenant en compte la résistance à crue, le temps de gommage, l'adhérence et la souplesse après le séchage complet

** Loi canadienne sur la protection de l'environnement (80)

*** apprentissage de plusieurs semaines à quelques mois

7.4 Essais supplémentaires

L’adhésif Fabond 472 n’était clairement pas satisfaisant. L’adhésif Simalfa 309 semblait par contre acceptable et même un peu plus performant que l’adhésif Fastbond 100. Or des tests plus poussés étaient nécessaires pour évaluer précisément les coûts de l’utilisation de ces adhésifs par unité de surface en comparaison avec l’adhésif original. Rappelons que les adhésifs à base de DCM ont un extrait sec d’environ 30 % alors que les adhésifs en phase aqueuse à un composant ont un extrait sec d’environ 50 %. Ainsi, sur la base de l’extrait sec, l’adhésif Simalfa 309 est environ deux fois plus dispendieux que les adhésifs au DCM. Sur cette même base, l’adhésif Fastbond 100 était initialement plus de quatre fois plus dispendieux que l’adhésif traditionnel. Dernièrement le prix de l’adhésif de 3M a cependant été révisé à la baisse.

M. Gilbert Guérin a entrepris une étude comparative⁹³ des coûts associés à l’utilisation de la colle à base de DCM, de la Simalfa 309 et de la Fastbond 100. Les coûts d’application par unité de surface de l’adhésif traditionnel à base de DCM sont moindres que ceux des adhésifs en phase aqueuse même en prenant en compte leur extrait sec (32 % matière sèche pour la colle au DCM versus 55 % pour Simalfa 309 et 47 % pour Fastbond 100). Cependant, avant même d’identifier des adhésifs substitutifs, la direction de Domfoam avait été amenée par la CSST à réduire l’exposition des colleurs au DCM, en évacuant mécaniquement les vapeurs de solvant vers l’extérieur de l’édifice. En hiver, l’évacuation de l’air chaud chargé de vapeur de solvant entraîne des coûts de chauffage de l’air neuf de remplacement. Le coût énergétique annuel pour le chauffage de l’air neuf chez Domfoam a été estimé à partir des données de Beudet et coll. (30). En incorporant ces coûts dans le calcul du prix de revient par unité de surface pour l’utilisation de l’adhésif traditionnel à base de DCM, il a été possible de démontrer que le coût total de l’utilisation de la colle au DCM était équivalent au coût de l’utilisation de l’adhésif Simalfa 309. L’adhésif Fastbond 100 étant plus dispendieux que l’adhésif Simalfa 309, le prix de revient par unité de surface du produit de 3M s’est avéré plus élevé que celui du produit de Alfa Adhesives. Le coût de l’énergie électrique consommée par les moteurs des ventilateurs n’a pas été pris en compte car ceux-ci vont fonctionner de toute façon avec un adhésif en phase aqueuse. Rappelons que l’aérosol d’adhésif aqueux n’est pas évacué à l’extérieur mais simplement bloqué par des filtres, l’air d’extraction étant recirculé dans l’usine (l’adhésif Simalfa 309 et l’adhésif Fastbond 100 ne contiennent pas de substances dont la recirculation est prohibée en vertu du RQMT (98)). Les filtres ne sont constitués que de tissus de polyester (Fortrel^{md}) de bas de gamme.

L’adhésif Simalfa 309 a été choisi en raison de sa supériorité technique et de son coût inférieur par rapport à l’adhésif Fastbond 100.

8.0 Implantation

Cette section présente les considérations pratiques de la mise en œuvre de la solution de rechange retenue.

⁹³ À la demande de Domfoam, le détail de l’étude en question n’est pas divulgué afin de ne pas nuire à la compétitivité de l’entreprise.

Les techniciens de Alfa Adhesives ont installé les canalisations et les contenants d'adhésif de façon à alimenter tous les postes d'encollage. Le fabricant d'adhésif a également fourni les pistolets de pulvérisation HVLP. Un seul poste d'encollage traditionnel a subsisté pendant deux mois, le temps de former l'ensemble des colleurs à l'utilisation du nouvel adhésif. Le plus difficile dans la formation des colleurs était de les convaincre d'appliquer moins de colle et d'utiliser une pression réduite au pistolet pulvérisateur.

9.0 Évaluation et recommandations

Afin de mesurer l'atteinte des objectifs de départ et d'apporter des correctifs, cette section présente la vérification qui a été effectuée plusieurs mois après l'implantation de l'adhésif substitutif. Elle présente également les résultats de l'échantillonnage du β -chloroprène et les recommandations de l'UdeM à Domfoam.

9.1 Aspect technique

Après un an d'utilisation de l'adhésif Simalfa 309, la direction de Domfoam est toujours satisfaite de ce produit. Les colleurs ont même réussi à utiliser moins de colle par unité de surface pour réaliser le même travail qu'auparavant. Valle Foam Industries, la société sœur de Domfoam à Brampton, a d'ailleurs décidé de passer progressivement à l'utilisation de cet adhésif dans son usine ontarienne. Domfoam serait devenu le standard de référence en matière de collage dans l'industrie de la mousse de polyuréthane au Québec. Satisfaite mais toujours intéressée à réduire ses frais d'exploitation, l'entreprise continue à évaluer les nouveaux adhésifs en phase aqueuse que les fabricants⁹⁴ lui proposent, à l'aide d'un nouveau banc d'essai installé à cet effet (G. Guérin, Domfoam, communication personnelle, 00/01/11).

9.2 SST

Le 28 février 2000, Mme Carole Larose, hygiéniste du travail au CLSC PATME, a effectué un mesurage du β -chloroprène dans la zone respiratoire d'une colleuse lors de l'utilisation intensive de l'adhésif Simalfa 309. Aucune trace de monomère n'a pas été décelée à l'occasion de la prise de quatre échantillons couvrant l'ensemble de la journée de travail. Les concentrations minimales mesurables variaient de 0,82 à 1,2 mg de β -chloroprène par m³ d'air (134). Aucune plainte reliée à des problèmes de santé n'a été formulée à Mme Larose par les colleurs lors de la journée d'échantillonnage (C. Larose, communication personnelle, 00/04/11).

9.2.1 Recommandations

Le port de lunettes de sécurité est indiqué pour les colleurs tel que mentionné dans la fiche signalétique de l'adhésif Simalfa 309. En outre, les colleurs doivent utiliser la douche oculaire disponible sur les lieux de travail pour toute projection oculaire d'adhésif.

⁹⁴ p. ex. : Adhésifs Adchem, St-Laurent, QC; Adhésifs Adhpro, Marieville, QC; General Latex, Montréal, QC; Helmitin, Montréal, QC; Sealrez, St-Eustache, QC.

La fiche signalétique de l’adhésif Simalfa 309 indique que les gants protecteurs ne sont pas requis pour sa manipulation. Malgré le fait que le degré d’alcalinité de cet adhésif est faible (pH = 7 à 9), il est préférable, à l’instar d’un fabricant d’émulsion de polychloroprène et de l’Institut national de recherche et de sécurité, de recommander le port de gants protecteurs (71; 118). Le fabricant 3M Canada recommande d’ailleurs le port de gants protecteurs pour la manipulation de son adhésif Fastbond 100 dont le pH est du même ordre de grandeur que celui de l’adhésif Simalfa 309 (2).

Le système d’alimentation de l’adhésif par gravité exige que les contenants de colle soient placés à une hauteur minimale de 2,3 m au-dessus des postes d’encollage. En pratique les contenants d’adhésif sont placés un peu plus haut chez Domfoam. Les contenants sont hissés périodiquement à leur emplacement à l’aide d’un chariot élévateur. Cette opération est délicate : le cariste et les autres travailleurs qui mettent en place les contenants d’adhésif sont exposés au risque de chute et doivent effectuer cette opération selon les règles de l’art du travail en hauteur. De plus, chaque structure métallique qui supporte un contenant d’adhésif devrait faire l’objet d’une évaluation mécanique afin de juger de son intégrité et de sa capacité à supporter la charge du contenant d’adhésif ainsi que le poids du travailleur qui doit l’escalader.

Il est également recommandé que Domfoam fassent analyser un filtre souillé d’adhésif par un laboratoire accrédité par le MENV afin de déterminer s’il est justifié de gérer les filtres souillés comme des matières dangereuses (Mario Boucher, MENV, communication personnelle, 00/04/25).

Annexe VI



1.0 Identification du problème

En novembre 1987, M. Richard Miron, technicien en hygiène industrielle au CLSC Jean-Olivier-Chénier, contacte l'Université de Montréal (UdeM) afin d'obtenir une expertise en substitution de solvant concernant la société Les Revêtements Polyval Inc⁹⁵. M. Miron s'inquiète des niveaux élevés d'exposition des travailleurs aux solvants lors du nettoyage des cuves et autres instruments servant à la fabrication des peintures. Suite à une réunion au CLSC suivie d'une visite de l'usine de Polyval en août 1998, l'UdeM décide d'étudier le cas de cette entreprise. Les travailleurs utilisent un mélange de solvants pour le nettoyage des cuves (principalement toluène, xylènes et méthyléthylcétone (MEK)). Les niveaux d'exposition des nettoyeurs de cuve se situent au delà des normes en vigueur, particulièrement pour le MEK. Polyval accepte officiellement en octobre 1998 de collaborer avec l'UdeM dans une étude de substitution des solvants de nettoyage.

2.0 Rédaction d'un plan d'action

Un plan d'action est adressé en octobre 1998 à M. Claude Guérette, directeur d'usine chez Polyval. Ce plan comprenait la formation d'un comité de substitution constitué des personnes suivantes :

Madame Heidi Brown, ingénieure en environnement, Polyval⁹⁶
Monsieur Simon Gagné-Tremblay, technicien de laboratoire, Polyval
Monsieur Richard Miron, technicien en hygiène industrielle, CLSC Jean-Olivier-Chénier
Monsieur Sylvain Dubé, consultant en hygiène industrielle pour l'UdeM
Monsieur Denis Bégin, agent de recherche, UdeM

Le plan stipulait également que la collaboration d'autres personnes pouvait être sollicitée par le comité de substitution. La démarche de substitution mise en œuvre serait celle en neuf étapes présentée à la réunion du 19 octobre 1998. L'entreprise devait appuyer cette démarche et accepter que les résultats du projet soient publiés sous forme de rapports scientifiques tout en respectant son anonymat si désiré. Le plan d'action a été contresigné par M. Guérette.

3.0 Collecte des informations sur le procédé

L'objectif de cette étape était de formuler de façon précise le problème à résoudre. Cette section présente donc une description du procédé de fabrication des peintures, du nettoyage des cuves et instruments employés pour les fabriquer et de l'exposition des nettoyeurs au mélange de solvants

⁹⁵ 520, boulevard Curé Boivin, Boisbriand (Québec) J7G 2A7 <http://www.polyvalcoatings.com/>

L'entreprise est également connue sous le nom "Les Industries Robar Canada Ltée", est associée à la société Peinture UCP Inc., Baie d'Urfé, QC et fabrique des revêtements pour Xymax Coatings Inc., Marietta, GA et Devoe Coatings Inc., Dartmouth, NS

⁹⁶ maintenant à l'emploi de la société Enviro-Recyc, Boisbriand, QC

utilisés pour les nettoyer. Une description des tâches accomplies pour collecter ces informations est également présentée afin de comprendre comment ces données ont été recueillies.

3.1 Méthodologie

Les informations sur les différentes étapes de la fabrication des peintures, du nettoyage des cuves et instruments ont été colligées à l’aide de la fiche de collecte de renseignements élaborée spécifiquement pour cette étape du processus de substitution (voir l’annexe I), à l’occasion de diverses rencontres avec l’ingénieure en environnement et des nettoyeurs et de visites d’usine. Le tableau XXIII présente les principaux événements de la recherche d’une solution de rechange chez Polyval.

Tableau XXIII
Chronologie des principaux événements de la recherche
d’une solution de rechange chez Polyval

Date	Remarques
18 novembre 1997	Richard Miron du CLSC Jean-Olivier-Chénier demande l’aide de l’UdeM
27 août 1998	Réunion au CLSC et visite de l’usine de Polyval
19 octobre 1998	Réunion avec la direction de Polyval
22 octobre 1998	Polyval accepte de collaborer avec l’UdeM
14 décembre 1998	Discussion sur un protocole d’essai pour les solvants substitutifs
22 janvier 1999	La procédure pour les essais des solvants substitutifs est établie
3 février 1999	Heidi Brown annonce qu’elle étudie la possibilité d’implanter un système automatique commercial de nettoyage des cuves
15 mars 1999	Les résultats des essais de nettoyage avec les solvants substitutifs sont disponibles
24 mars 1999	Une analyse de la toxicité des différents solvants substitutifs est produite
16 avril 1999	Rencontre des représentants d’un fabricant européen de solvant substitutif; Heidi Brown affirme que les « nouveaux » solvants sont trop dispendieux
6 mai 1999	Réunion CSST-CLSC-Polyval à laquelle l’UdeM n’est pas invitée. Production d’un plan d’action incluant des tests en situation réelle des deux solvants substitutifs les plus prometteurs et installation d’un système maison de nettoyage automatique des cuves
31 janvier 2000	Réunion CLSC-CSST-Polyval-UdeM :

Date	Remarques
	Aucun test de solvant substitutif n'a été réalisé en usine; le système automatique de nettoyage des cuves n'est toujours pas opérationnel

3.2 Description générale de Polyval

La société Polyval est classée dans la catégorie 3751⁹⁷ de l'ancienne Classification des activités économiques du Québec (CAEQ) (39). Le code 325510⁹⁸ définit sa position dans le nouveau Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN) (187). L'entreprise est établie à l'emplacement actuel depuis 1984. Auparavant elle était située à Montréal (Les Industries Robar Canada Ltée). Polyval fabrique des vernis et laques pour l'industrie du bâtiment et du meuble, des peintures anticorrosion pour l'entretien industriel ainsi que d'autres revêtements pour diverses industries telles que les fabricants d'articles de sport. L'entreprise compte 45 employés dont 25 œuvrant à la fabrication annuelle d'environ 4,5 millions de litres (1 000 000 gal CA) de revêtements liquides sur un quart de travail de jour (5 jours/semaine).

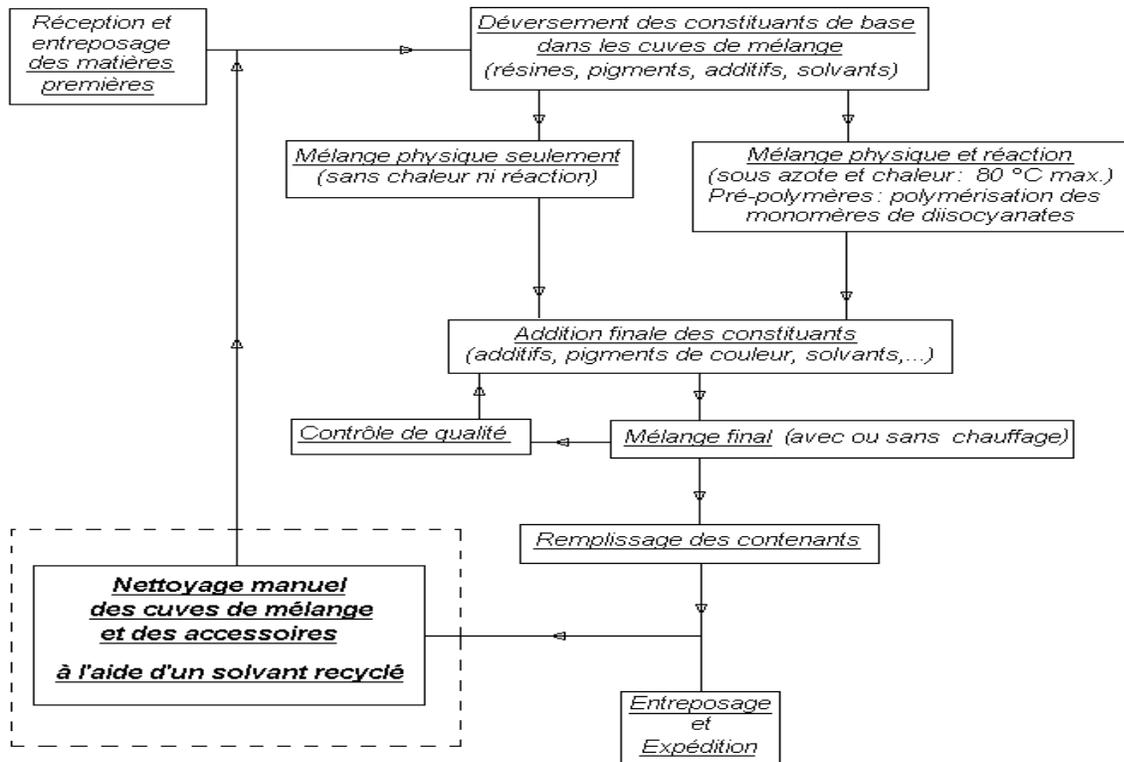
3.3 Fabrication des revêtements

Les revêtements organiques (peinture, vernis, laque) sont constitués de polymères appelés également liants ou résines, de solvants, de pigments (de couleur ou fonctionnels), de charges et d'adjuvants divers. Polyval possède plus de 2000 formulations de revêtements qui sont fabriqués par lot. Un travailleur est généralement responsable de la fabrication d'une cuvée c'est-à-dire qu'il fabrique le revêtement du début à la fin. La première étape consiste à verser une ou plusieurs résines et des solvants dans une cuve où ces produits sont mélangés à l'aide d'un mélangeur, à basse vitesse. Certains mélanges doivent être chauffés pour activer la réaction entre les composants. Les pigments et charges sont ensuite ajoutés et la vitesse du mélangeur est augmentée et maintenue jusqu'à ce que les éléments solides soient bien dispersés dans le liant. Divers adjuvants sont alors ajoutés pour compléter la formulation. Un échantillon du revêtement est ensuite testé au laboratoire d'assurance-qualité pour vérifier diverses propriétés (p. ex. : densité, viscosité, couleur, temps de séchage). Après cela le revêtement est filtré et transféré dans les contenants expédiés aux clients. La figure 2 illustre les différentes opérations qui caractérisent la fabrication d'un revêtement chez Polyval.

⁹⁷ Industries des peintures et vernis

⁹⁸ Fabrication de peintures et de revêtements

Figure 2
Schéma du procédé de fabrication des revêtements



3.4 Lavage des cuves et accessoires

Deux nettoyeurs de matériel (code 8179-336 de la CCDP⁹⁹ (77)) sont responsables du lavage des accessoires ayant servi à fabriquer les revêtements notamment les cuves mobiles, raccords de vidange, valves, coudes de tuyau, collets, filtres, agitateurs et pompes. Les cuves mobiles ont une capacité variant de 65 à 1 800 L et sont constituées d'acier doux. Pour réaliser le lavage, les nettoyeurs utilisent les outils suivants : brosses à poils rigides, grattoir, spatule, louche, laine d'acier, clef à ouverture réglable et tournevis. Le solvant de nettoyage utilisé est le Thinrec-00V de Chemrec Inc. (Cowansville, QC), un mélange de solvants recyclés de composition variable d'un lot à l'autre. Le tableau XXIV donne la composition du Thinrec-00V à partir de deux fiches signalétiques différentes du même produit. Le dichlorométhane est sporadiquement utilisé pour décaper les salissures coriaces. Mme Heidi Brown a estimé à 150 L la quantité de solvant Thinrec-00V « propre » utilisé quotidiennement par les nettoyeurs de matériel dans le local principal de nettoyage. Cette quantité représente environ 60 % du solvant Thinrec-00V acheté. Le reste est utilisé pour le nettoyage du matériel fixe situé dans l'aire principale de fabrication des peintures, pour le laboratoire et pour le lavage des planchers de l'usine.

⁹⁹ Classification canadienne descriptive des professions

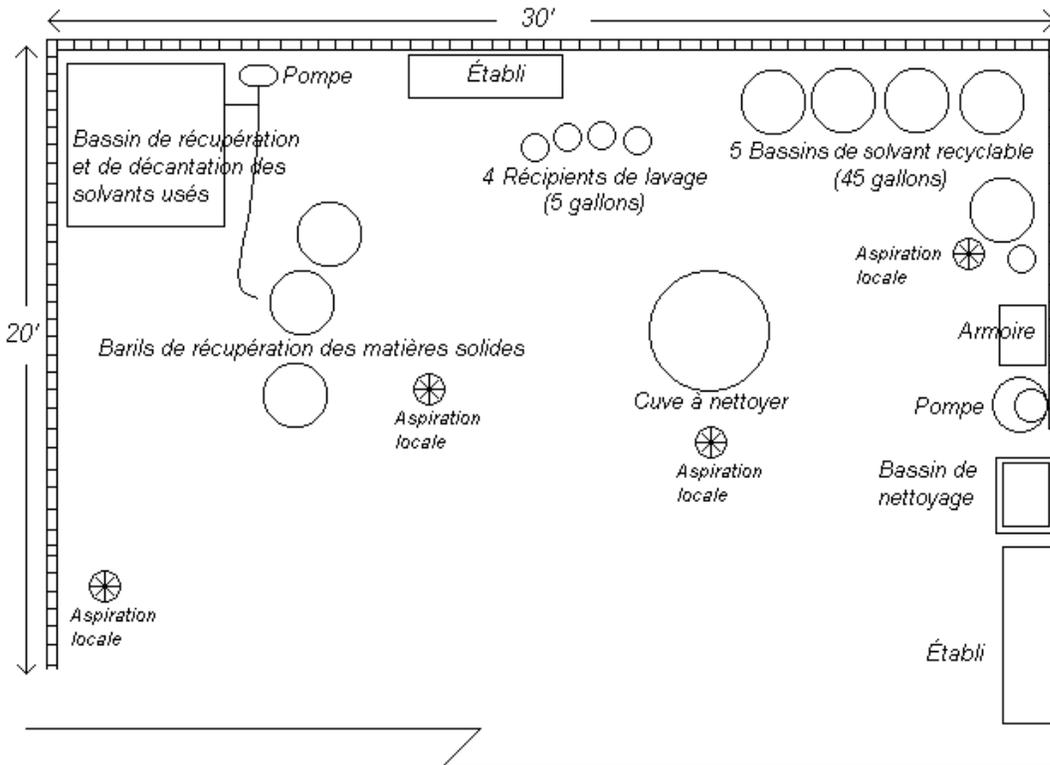
Tableau XXIV
Composition de deux lots de Thinrec-00V

Solvant	N° CAS	% en volume 97/07/11	% en volume 98/02/25
Toluène	108-88-3	30-60	10-30
Xylènes	1330-20-7	10-30	10-30
Méthyléthylcétone	78-93-3	7-13	10-30
Isopropanol	67-63-0	7-13	1-5
Méthanol	67-56-1	5-10	1-5
Solvant Stoddard	8052-41-3	5-10	
Acétate d'éthyle	141-78-6	3-7	
Acétate de butyle	123-86-4	3-7	1-5
Acétone	67-64-1	3-7	
Méthylisobutylcétone	108-10-1	1-5	5-10
Hydrocarbures léger en C ₉ -C ₁₆ hydrotraités	64742-47-8		5-10
Acétate de 1-méthoxy- 2-propanol	108-65-6		1-5
Éthanol	64-17-5		0-1

La figure 3 présente le schéma d'aménagement du local où travaillent les nettoyeurs de matériel. Cette pièce, située au premier étage de l'usine, comprend deux établis fixes, un bassin de nettoyage d'accessoires, cinq contenants de Thinrec-00V munis de robinets (fûts de 200 L) et un bassin de récupération des solvants usés. Les cuves mobiles souillées de peinture sont transportées dans l'aire de nettoyage puis nettoyées par dilution au solvant Thinrec-00V, récurage à la brosse, rinçage au solvant Thinrec-00V et séchage. En raison des variations dans le programme de fabrication, les cuves peuvent séjourner dans le local de nettoyage jusqu'à une journée complète avant d'être nettoyées. Afin de prévenir le séchage des souillures avant le nettoyage, quelques litres de solvant Thinrec-00V sont ajoutés dans la cuve. Pour effectuer le nettoyage, le travailleur place d'abord de 10 à 20 L de solvant Thinrec-00V dans la cuve à l'aide d'une louche, effectue un premier récurage des parois internes puis retire le solvant usé de la cuve. Il faut en général répéter cette opération trois fois pour obtenir un résultat satisfaisant. La vidange de la cuve se fait à l'aide d'une louche ou par gravité. Les raccords de valves positionnées dans le bas des cuves sont nettoyées à l'aide d'une petite brosse directement au dessus d'un récipient de 20 L qu'on aura préalablement déplacé à proximité de la cuve. Les autres accessoires sont nettoyés par brossage dans le bassin de nettoyage mais il arrive qu'on les nettoie directement dans les contenants de 200 L de solvant Thinrec-00V. Certaines pièces comme les agitateurs et les grattoirs sont immergés dans le solvant Thinrec-00V jusqu'à ce qu'elles soient facilement nettoyables. Les parois internes des cuves sont asséchées à l'aide de chiffons. Le degré de propreté est jugé à l'œil par les nettoyeurs. Les autres pièces d'équipement fixes, situées dans l'aire principale de fabrication des peintures, sont nettoyées de la même façon. Les travailleurs utilisent parfois du MEK pur pour le rinçage final, notamment pour les réacteurs. La profondeur des contenants à nettoyer exige que le travailleur soit souvent penché vers l'intérieur de la cuve lors du récurage et de la vidange.

Le local de nettoyage possède un système de ventilation par aspiration localisée incluant quatre points d’extraction des vapeurs de solvant dont trois boyaux flexibles d’aspiration. Ce système de ventilation offrirait un débit d’extraction total de 378 L/s (800 pi³/min). Connaissant le volume du local de nettoyage et considérant que l’air vicié évacué à l’extérieur est remplacé par de l’air neuf, ceci se traduirait par un taux de changement d’air frais à l’heure égal à 8. Le Règlement sur la qualité du milieu de travail (RQMT) exige un taux minimum égal à 4 changements d’air frais à l’heure pour l’industrie des peintures et vernis (98).

Figure 3
Plan du local de nettoyage des cuves et accessoires chez Polyval (novembre 1998)



3.5 Nature des salissures à nettoyer

Les revêtements qui souillent les cuves et accessoires sont de natures diverses. Le liant du revêtement constitue l'élément salissant principal. Les polyuréthanes représentent environ 50 % des revêtements fabriqués chez Polyval. Les liants de cette classe de revêtements comprennent des isocyanates (p. ex. TDI, MDI¹⁰⁰) et des polymères hydroxylés (p. ex. polypropylène glycol, polyacrylates). Les peintures époxy constituent environ 30 % de la production. Les résines époxydiques (base) et les polyamides (durcisseur) constituent leurs liants. Ensuite viennent les

¹⁰⁰ TDI = diisocyanate de toluène; MDI = diisocyanate-4,4' de diphenylméthane. Ces monomères peuvent se retrouver comme tels ou plus souvent sous la forme de prépolymères dans la cuve à nettoyer. Un prépolymère est un polymère de degré de polymérisation intermédiaire entre celui du monomère et du polymère final. La polymérisation a été conduite (dans le réacteur chez Polyval) jusqu'à un certain stade et stoppée en attendant la polymérisation définitive effectuée chez le client ultime (mélange de la base et du durcisseur ou activation par réaction avec la vapeur d'eau dans l'air).

laques à base de nitrate de cellulose et d'alkyde ($\approx 10\%$ de la production), les apprêts vinyliques ($< 5\%$), les apprêts à séchage rapide à base d'alkyde ($< 5\%$) et les revêtements réagissant à la radiation ultraviolette ($\approx 1\%$).

3.6 Exposition des nettoyeurs de matériel au solvant Thinrec-00V

Plusieurs mesurages des vapeurs de solvants dans la zone respiratoire des nettoyeurs ont été effectués par M. R. Miron du CLSC Jean-Olivier-Chénier. Le tableau XXV présente les niveaux rapportés pour les constituants évalués du solvant Thinrec-00V.

Tableau XXV
Niveaux d'exposition moyens des nettoyeurs de matériel
aux solvants constituant le Thinrec-00V (144; 145)

Solvant	Norme VEMP*	Norme VECD**	Nettoyeur A 97/12/11	Nettoyeur B 97/12/11	Nettoyeur A 98/05/21	Nettoyeur B 98/05/21
Dichlorométhane	174	-	4	7	9	12
Méthyléthylcétone	150	300	453	750	479	559
Méthylisobutylcétone	205	210	24	41	50	59
Naphta (VM&P)	1370	-	89	128	243	164
Toluène	377	565	157	251	336	394
Xylènes	434	651	45	66	78	186
Nombre de prélèvements	-	-	3	5	4	4
Durée totale (min.)	480	15	218	330	296	253

* Valeur d'exposition moyenne pondérée (98)

** Valeur d'exposition de courte durée (98)

Dans tous les cas, les niveaux d'exposition de courte durée au MEK dépassent la norme réglementaire en vigueur. De plus, si l'on considère que la période totale échantillonnée est représentative de l'ensemble du quart de travail, les niveaux de MEK dépassent également la norme pour 8 h d'exposition. Il y a également dépassement de la norme réglementaire pour le toluène dans le cas du nettoyeur B le 21 mai 1998. En effet le niveau rapporté se situe entre la VEMP et la VECD pour une durée excédant 15 minutes consécutives. Si l'on considère la recommandation de l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) pour le toluène (50 ppm ou 188 mg/m³ sur 8 h), il y a surexposition dans deux cas additionnels (10). Rappelons que cette dernière valeur est proposée par la Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec (CSST) comme nouvelle norme pour le toluène dans son projet de révision du RQMT (100). Enfin le calcul de la cote d'exposition mixte (R_m) pour le mélange des solvants dépasse largement l'unité (144; 145). Ce calcul est justifié en raison d'une atteinte commune des solvants évalués sur le système nerveux central et leur effet irritant sur le système respiratoire. Les normes québécoises et les recommandations de l'ACGIH pour ces solvants sont d'ailleurs basées principalement sur la prévention de ces effets.

Le dichlorométhane n'était pas utilisé lors de l'échantillonnage. On suppose que les faibles niveaux rapportés sont issus de sa présence comme contaminant mineur du solvant Thinrec-00V.

3.7 Efforts antérieurs pour remplacer le Thinrec-00V

Avant l'intervention de l'UdeM, aucun effort n'a été consenti par Polyval pour remplacer le Thinrec-00V par un solvant moins dangereux. L'entreprise a cependant essayé à la fin de 1997 de substituer partiellement la méthylisobutylcétone (MIBK) au MEK, utilisé encore largement à cette époque pour le rinçage final. Cette tentative a échoué en raison de l'odeur désagréable de cette cétone. Les travailleurs auraient toutefois cessé à cette époque d'utiliser systématiquement le MEK pour le rinçage final, le Thinrec-00V jouant désormais ce rôle.

4.0 Propositions d'options de rechange

Cette section présente les efforts du comité de substitution pour identifier des solutions de rechange à l'utilisation du Thinrec-00V pour le nettoyage des cuves et accessoires.

4.1 Critères de sélection

Polyval désirait un solvant de remplacement qui nettoie aussi bien et aussi rapidement que le Thinrec-00V, à un coût raisonnable. Aucun critère objectif de mesurage de performance n'a été fourni. Le choix d'un produit substitutif se ferait sur la base d'essais au laboratoire de Polyval puis en usine.

4.2 Sources d'information

Plusieurs sources d'information ont été consultées afin d'identifier des options de rechange.

4.2.1 Littérature

Des recherches documentaires traditionnelles ont été entreprises dans les bases de données bibliographiques suivantes : Medline (200), Toxline (201), Current Contents (121), ISST (60), NIOSHTIC (152), HSELINE (106), CISILO (51).

4.2.2 Personnes-ressources

Des contacts ont été établis avec le National Paint & Coatings Association (Washington, DC), avec des fabricants de peinture, notamment Raffi & Swanson (Wilmington, MA), et avec plusieurs fournisseurs (fabricants et formulateurs) de solvants.

4.2.3 Internet

Des recherches ont été entreprises dans les sites Web suivants :

Federation of Societies for Coatings Technology¹⁰¹

National Paint & Coatings Association¹⁰²

Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center, Paint and Coatings Manufacturing Industry Resources¹⁰³

Paint and Coatings Resource Center¹⁰⁴

Les sites Web de fabricants (p. ex. Elf-Atochem¹⁰⁵) et formulateurs (p. ex. Ecolink¹⁰⁶) de solvants ont également été compulsés.

4.3 Options préliminaires

Les recherches ont permis d'identifier trois solutions de rechange potentielles.

4.3.1 Ultrasons

Rouhi rapporte le cas d'un fabricant de peinture automobile ayant testé avec succès le nettoyage de cuves aux ultrasons en utilisant des transducteurs ultrasoniques, qui transforment le courant électrique alternatif en signal sonore de haute fréquence, couplés à des résonateurs tubulaires. Les transducteurs sont placés dans la cuve remplie d'eau additionnée d'un agent tensioactif. Le nettoyage des parois se fait par cavitation (168).

Parce que Polyval fabrique certains revêtements hydroréactifs, Mme Heidi Brown n'a pas voulu retenir cette solution par crainte d'une réaction chimique entre les prépolymères isocyanates et l'eau de nettoyage.

4.3.2 Soude caustique et nettoyeurs alcalins

Des solutions concentrées d'hydroxyde de sodium, chauffées et appliquées sous pression, sont utilisées depuis longtemps pour nettoyer les cuves dans l'industrie de la fabrication des peintures (148). La présence de revêtements à base de nitrate de cellulose rend cependant cette solution inapplicable en raison des contraintes de sécurité. En effet, l'hydroxyde de sodium qui entre en contact avec le nitrate de cellulose, utilisé dans certaines laques, produit une réaction exothermique suffisante pour enflammer la résine (155).

¹⁰¹ <http://www.coatingstech.org>

¹⁰² <http://www.paint.org>

¹⁰³ <http://www.pprc.org/pprc/sbap/painting.html>

¹⁰⁴ <http://www.paintcenter.org>

¹⁰⁵ <http://www.atofina.com>

¹⁰⁶ <http://www.ecolink.com>

Des nettoyants alcalins moins caustiques sont également disponibles (136). La présence de poudre de zinc qui entre dans la composition de certains revêtements anticorrosion pourrait toutefois engendrer un autre problème de sécurité car le zinc peut réduire l'eau en hydrogène, facilement inflammable (155). Il faudrait cependant que le zinc natif soit en contact direct avec l'eau alors que dans le cas du nettoyage des cuves, le nettoyant aqueux viendrait en contact avec le revêtement dans lequel le zinc est finement dispersé. Afin d'éviter la situation où un travailleur nettoierait par mégarde le plancher de l'usine souillé de poudre de zinc à l'aide d'un feutre imbibé de nettoyant aqueux, cette solution n'a pas été retenue.

4.3.3 Solvants substitutifs

Plusieurs fournisseurs de solvants organiques ont suggéré divers mélanges de solvants substitutifs pour nettoyer les cuves de fabrication de peinture. Le tableau XXVI présente les produits commerciaux retenus pour les étapes subséquentes (sauf pour le produit A qui constitue le solvant à remplacer).

Tableau XXVI
Solvants commerciaux potentiellement substitutifs (Polyval)

Code	Solvant (Fournisseur)	Composition* (N ^o CAS) (Proportion)
A	Thinrec-00V (Chemrec, Cowansville, QC)	<i>Solvant à remplacer chez Polyval</i> (voir tableau XXIV)
B	Safe Strip (Ecolink, Stone Mountain, GA)	N-Méthyl-2-pyrrolidone (872-50-4) (85 %) Éther diméthylque du dipropylène glycol (111109-77-4) (< 15 %)
C	Carc-Off (Ecolink, Stone Mountain, GA)	Eau (7732-18-5) Alcool benzylique (100-51-6) (> 40 %) Sel calcique de l'acide dodécylbenzènesulfonique (68584-22-5) (< 15 %)
D	Bioact 200 (Petroferm, Fernandina Beach, FL)	N-Méthyl-2-pyrrolidone (872-50-4) (80-90 %) Triéthanolamine (102-71-6) (5-10 %) Diéthanolamine (111-42-2) (3-7 %)
E	Bioact MSO (Petroferm, Fernandina Beach, FL)	d-Limonène (5989-27-5) (85-90 %) Sel sodique de l'acide di(2-éthylhexyl)-sulfosuccinique (577-11-7) (1-2 %) Eau (7732-18-5) (2-3 %) Éther nonylphénolique du polyoxyéthylène (26027-38-3) (7-10 %)
F	Bioact 105 (Petroferm, Fernandina Beach, FL)	Isoalcanes en C ₉ -C ₁₂ (90622-57-4) (40-60 %) 1-Propoxy-2-propanol (1569-01-3) (25-45 %) d-Limonène (5989-27-5) (10-25 %)
G	Aquamor HD (Avmor, Montréal, QC)	Eau (7732-18-5) Acide citrique (77-92-9) (< 1 %) Éther nonylphénolique du polyéthylène glycol (9016-45-9) (? %)
H	Pensolv R420 (West-Penetone, Anjou,	Hydrocarbures aromatiques en C ₉ -C ₁₁

Code	Solvant (Fournisseur)	Composition* (N ^o CAS) (Proportion)
	QC)	(70693-06-0) (35-50 %) Acétate de 1-méthoxy-2-propanol (108-65-6) (10-20 %) 1-Butoxy-2-propanol (5131-66-8) (7-15 %) 1-Propoxy-2-propanol (1569-01-3) (7-15 %) d-Limonène (5989-27-5) (5-10 %) Glutarate diméthylique (1119-40-0) (5-10) Adipate diméthylique (627-93-0) (1-5 %) Succinate diméthylique (106-65-0) (1-5 %) Salicylate de méthyle (119-36-8) (1-5 %)
<i>I</i>	Citrikleen HD (West-Penetone, Anjou, QC)	d-Limonène (5989-27-5) (15-40 %) Éthanolamine (141-43-5) (5-10 %) Éther monobutylique du diéthylène glycol (112-34-5) (5-10 %) Diéthanolamine (111-42-2) (1-5 %) Éther nonylphénolique du polyéthylène glycol (9016-45-9) (1-5 %)
<i>J</i>	Citrikleen XPC (West-Penetone, Anjou, QC)	d-Limonène (5989-27-5) (70-90 %) Éther méthylique du tripropylène glycol (25498-49-1) (7-13 %) Éther nonylphénolique du polyéthylène glycol (9016-45-9) (5-10 %)
<i>K</i>	Grafikleen E844 (West-Penetone, Anjou, QC)	Éther monométhylique du dipropylène glycol (34590-94-8) (5-10 %) d-Limonène (5989-27-5) (5-10 %)
<i>L</i>	Grafikleen R845 (West-Penetone, Anjou, QC)	Hydrocarbures aromatiques en C ₉ -C ₁₆ (64742-94-5) (75-90 %) Diacétone alcool (123-42-2) (10-25 %)
<i>M</i>	Tarksol SC-4000 (Storchem / Terpene Technologies, Burlington, ON)	Eau (7732-18-5) Terpène hydroxylé Alcools en C ₉ -C ₁₁ éthoxylés (68439-46-3) (7-13 %) Esters d'acides dicarboxyliques (7-13 %) incluant : Glutarate diméthylique (1119-40-0) Succinate diméthylique (106-65-0) Adipate diméthylique (627-93-0)
<i>N**</i>	PDN 80907 (E.Q.U.I.P., Baie d'Urfé, QC)	N-Méthyl-2-pyrrolidone (872-50-4) (30-60 %) Esters d'acides dicarboxyliques (15-40 %) incluant : Glutarate diméthylique (1119-40-0) Succinate diméthylique (106-65-0) Adipate diméthylique (627-93-0) d-Limonène (5989-27-5) (7-13) Nonylphénol éthoxylé (127087-87-0) (1-5 %) Éther monométhylique du tripropylène glycol (25498-49-1) (? %)

Code	Solvant (Fournisseur)	Composition* (N° CAS) (Proportion)
<i>O</i>	Strimix 100 (Elf-Atochem, Philadelphia, PA)	Diméthylsulfoxyde (67-68-5) (40-70 %) Acétate de 1-méthoxy-2-propanol (108-65-6) (20-60 %)
<i>P</i>	DBE (Dupont Canada, Mississauga, ON)	Glutarate diméthylique (1119-40-0) (45-65 %) Succinate diméthylique (106-65-0) (20-30 %) Adipate diméthylique (627-93-0) (10-25 %)
<i>Q</i>	M-Pyrol (International Specialty Products, Wayne, NJ)	N-Méthyl-2-pyrrolidone (872-50-4) (> 99 %)
<i>R</i>	d-Limonène (Cedarome Canada, Brossard, QC)	d-Limonène (5989-27-5) (> 93 %)
<i>S**</i>	Strimix 110 (Elf-Atochem, Philadelphia, PA)	Diméthylsulfoxyde (67-68-5) (20-60 %) Acétate de 1-méthoxy-2-propanol (108-65-6) (10-60 %) o-Chlorotoluène (95-49-8) (10-60 %)
<i>SI**</i>	S1 (Sentinel Canada, Montréal, QC)	N-Méthyl-2-pyrrolidone (872-50-4) (0-50 %) γ-Butyrolactone (96-48-0) (0-25 %) Glutarate diméthylique (1119-40-0) (0-15 %) Succinate diméthylique (106-65-0) (0-8 %) Adipate diméthylique (627-93-0) (0-8 %) N-Octyl-2-pyrrolidone (2687-94-7) (0-2 %)
<i>S2**</i>	S2 (Sentinel Canada, Montréal, QC)	Mêmes ingrédients que S1 mais dans des proportions différentes

* À partir des fiches signalétiques respectives

** Produits expérimentaux

D'autres façons que la substitution ont été identifiées pour réduire l'exposition des nettoyeurs de matériel aux solvants mais ces méthodes ne consistent pas à remplacer le Thinrec-00V par un produit ou un procédé moins dangereux mais simplement à maîtriser les émissions par divers moyens (p. ex. système de nettoyage en circuit fermé).

5.0 Évaluation des conséquences de l'utilisation de chaque option

Afin d'éviter d'étudier les conséquences de l'utilisation de chacun des 20 solvants proposés et notamment leur toxicité, des tests en laboratoire ont d'abord été effectués pour permettre de choisir les candidats les plus techniquement performants.

5.1 Essais en laboratoire

Une procédure de test des solvants proposés a été élaborée par Polyval avec l'aide de l'UdeM. Les 20 solvants du tableau XXVI ont été testés sur 11 revêtements fabriqués chez Polyval incluant 4 polyisocyanates, 2 laques alkyde/nitrate de cellulose, 1 vinylique, 1 polyol, 1 époxy, 1 polyamide et 1 acrylate époxydique. Les solvants S1 et S2 n'ont été testés que sur deux revêtements. Le solvant Thinrec-00V agissait comme témoin. Les revêtements étaient appliqués au pistolet pulvérisateur sur de petites plaques d'acier doux puis séchés à la température ambiante

pendant 2 jours. Certains solvants n'ont pas été testés sur certains revêtements en raison de problèmes d'incompatibilité : les solvants contenant de l'eau (tableau XXVI : C, E, G, I, M) n'ont pas été mis à l'essai sur les revêtements à base d'isocyanates (réaction de l'eau avec la fonction isocyanate), un solvant acide (C) n'a pas été testé sur un revêtement riche en zinc (libération d'hydrogène) et un solvant (I) n'a pas été testé sur les laques (réaction des amines avec le nitrate de cellulose). Les solvants ont été évalués à l'aide de cotes semi-quantitatives pour leur efficacité à enlever les revêtements (par simple trempage, nettoyage au chiffon, récurage à la brosse et à la laine d'acier, au grattoir). Leur odeur a également été cotée par trois personnes (un chimiste, une ingénieure, un travailleur).

Les solvants les plus performants par ordre décroissant de performance de nettoyage étaient les suivants : A, S, B, O, Q, N, D (voir le tableau XXVI). Les solvants les plus acceptables du point de vue de l'odeur étaient les suivants par ordre décroissant d'acceptabilité : D, B, N, O, S, A, Q.

5.2 Étude des conséquences en SST et pour l'environnement des solvants les plus performants

Mis à part le solvant témoin (A : Thinrec-00V), les 6 solvants suivants ont été étudiés quant à leurs conséquences sur la SST et l'environnement : Strimix 110, Safe Strip, Strimix 100, M-Pyrol, PDN 80907, Bioact 200.

5.2.1 Strimix 110

Le Strimix 110 est un produit expérimental combustible ($42^{\circ}\text{C} \leq \text{point d'éclair} \leq 47^{\circ}\text{C}$).

5.2.1.1 SST

Constituant principal du Strimix 110, le diméthylsulfoxyde (DMSO) est un liquide qui passe facilement à travers la peau et qui génère une haleine alliagée à petite dose. Cette propriété pénétrante du DMSO pourrait être un problème si les travailleurs ne sont pas adéquatement protégés. En effet d'autres substances toxiques pourraient être ainsi entraînées dans l'organisme lors du nettoyage des cuves souillées de peintures industrielles toxiques (44). Pratiquement non toxique par voie orale ($DL_{50}^{107} > 14,5 \text{ g/kg}$) et cutanée ($DL_{50} = 50 \text{ g/kg}$) chez le rat, le DMSO est métabolisé en sulfure de diméthyle (172). Dans une étude expérimentale chez 20 volontaires auxquels on a administré par voie cutanée 9 ml d'une solution à 90 % de DMSO sur le tronc entier à raison d'une application par jour pendant 26 semaines, aucun effet délétère n'a été décelé cliniquement ou à l'aide d'épreuves biologiques (hémogramme, analyse d'urine, vitesse de sédimentation sanguine, transaminase glutamique oxalo-acétique sérique (SGOT), azote uréique du sang, taux de glycémie) (205). Le DMSO est moins irritant pour la peau que les constituants du Thinrec-00V (MEK, toluène, xylène) mais il peut causer de l'urticaire (138). Les valeurs limites suédoise d'exposition professionnelle pour le DMSO sont les suivantes : 50 ppm ou 150 mg/m^3 (8h) et 150 ppm ou 500 mg/m^3 (15 min.) (183). L'effet critique considéré est la prévention de l'irritation des muqueuses (190).

L'acétate de 1-méthoxy-2-propanol serait très peu irritant pour la peau. Il pourrait cependant être un irritant oculaire d'après les essais chez l'animal mais l'on ne connaît pas l'ampleur de cet effet.

¹⁰⁷ Dose létale cinquante = quantité de substance qui provoque le décès de la moitié du groupe d'animaux

Si l'on se base sur la toxicité du 1-méthoxy-2-propanol, l'acétate de 1-méthoxy-2-propanol ne devrait pas avoir d'effets chroniques (46). L'acétate de 1-méthoxy-2-propanol ne serait pas tératogène, à l'encontre de l'isomère de position acétate de 2-méthoxy-1-propanol (isomère bêta), en raison de l'absence de formation d'acide 2-méthoxypropionique, le métabolite jugé responsable de la tératogénicité (127; 188). L'AIHA recommande une valeur limite égale à 100 ppm (8h) pour prévenir l'irritation des yeux et des voies respiratoires ainsi que la dépression du système nerveux central (12).

L'ACGIH rapporte une $DL_{50} > 1\ 600$ mg/kg par voie orale chez le rat pour l'o-chlorotoluène (5). D'après le tableau de classification de la toxicité aiguë que donne Lauwerys, cette substance pourrait être classée au plus comme « légèrement toxique » (135). L'o-chlorotoluène possède une norme d'exposition professionnelle québécoise égale à 50 ppm (8h), laquelle est basée sur la recommandation de l'ACGIH pour prévenir l'irritation des yeux et de la peau (5; 98).

5.2.1.2 Environnement

Le DMSO est produit naturellement dans l'environnement par oxydation du sulfure de diméthyle généré dans le sol, l'eau et la végétation. Il ne serait pas facilement biodégradable (205). La CL_{50}^{108} pour dix espèces de poissons se situe entre 32 000 et 43 000 ppm. La CL_{50} pour deux espèces de protozoaires est de 32 000 et 38 000 ppm. La concentration nécessaire pour inhiber la croissance (CE_{50}^{109}) de six espèces d'algues se situe entre 0,4 et 4,0 %. Le DMSO n'est pas un polluant bioaccumulatif. Le trempage de graines de tomate, concombre et haricot pendant 18h dans une solution de DMSO de concentration maximale de 8 % n'a pas d'effet sur la germination. Le DMSO n'a pas d'effet sur le taux de croissance du maïs lorsqu'il est pulvérisé à un taux maximal de 28 ml/m² (30 gal US/acre). À une concentration de 10 ppm de DMSO, la demande théorique en oxygène (DThO) est égale à 123 mg/L, la demande chimique en oxygène (DCO) est égale à 107 mg/L et la demande biochimique en oxygène, 5 jours (DBO_5) est inférieure à 1,0 mg/L (90). Le potentiel de formation d'ozone urbain (PFO^{110}) du DMSO est égal à 0,23. La faible tension de vapeur du DMSO implique cependant que peu de vapeur serait évacuée dans l'air atmosphérique.

L'acétate de 1-méthoxy-2-propanol serait "facilement biodégradable" d'après les résultats des essais n^o 301E et 301F de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Cet éther de glycol serait pratiquement non toxique pour les organismes aquatiques sur une base aiguë ($CL_{50} > 100$ mg/L chez les espèces les plus sensibles). La CL_{50} pour la tête-de-boule est égale à 161 mg/L. La CL_{50} pour la puce d'eau se situe de 408 à plus de 500 mg/L. La CL_{50} pour la truite arc-en-ciel se situe entre 100 et 180 mg/L (66; 69). Le PFO de l'acétate de 1-méthoxy-2-propanol est égal à 0,25 (150).

La demi-vie de l'o-chlorotoluène dans l'air atmosphérique est d'environ 9 jours. Cette substance pourrait être résistante à la biodégradation. Les valeurs du coefficient de partage octanol-eau

¹⁰⁸ Concentration létale cinquante = concentration d'exposition causant l'effet considéré chez 50 % de la population étudiée

¹⁰⁹ Concentration effective cinquante = concentration de substance qui affecte la moitié d'un groupe d'organisme

¹¹⁰ PFO = la propension de la vapeur d'un solvant organique à former de l'ozone troposphérique dans un environnement urbain relativement à celle de l'éthylène ($C_2H_4 = 1$; g O₃/g solvant ÷ g O₃/g éthylène).

(170 à 880) indiquent que l'o-chlorotoluène peut s'adsorber sur les sédiments et la matière en suspension dans l'eau (204). Les valeurs du facteur de bioconcentration¹¹¹ variant de 20 à 112, mesurés chez la carpe, indiquent que l'o-chlorotoluène s'accumulerait de façon faible à modérée dans les organismes aquatiques (22; 204).

5.2.2 Safe Strip

Le solvant Safe Strip est un mélange combustible (point d'éclair = 88 °C) dont la tension de vapeur est très faible (< 0,13 kPa ou < 0,98 mm Hg @ 14 °C).

5.2.2.1 SST

Bégin et Gérin rapportent que la N-méthyl-2-pyrrolidone (NMP), constituant principal du Safe Strip, est un irritant cutané, soluble dans l'eau, dont les vapeurs peuvent se condenser sur la peau et qui passe facilement la barrière cutanée. Une concentration atmosphérique de 50 mg/m³ n'a pas provoqué d'irritation des yeux et des voies respiratoires chez des volontaires. Il doit être considéré fœtotoxique. Aucune réglementation des niveaux d'exposition professionnelle n'existe pour cette substance en Amérique du Nord. L'Allemagne a adopté une valeur limite de 80 mg/m³ (semaine de 40h) qui protégerait le fœtus d'une femme enceinte à condition qu'il n'y ait pas de contact cutané. Pour sa part, l'American Industrial Hygiene Association (AIHA) considère qu'une valeur limite de 40 mg/m³ (8h) est nécessaire pour protéger adéquatement contre les effets délétères sur le développement (31).

L'éther diméthylrique du dipropylène glycol, constituant mineur du Safe Strip, est un irritant oculaire modéré. Il serait fœtotoxique chez l'animal en présence de toxicité maternelle. Cet éther de glycol aurait des effets hépatiques, rénaux et surrénaux non spécifiés chez l'animal (67). À part ces données issues de la fiche signalétique d'un fabricant de cet éther de glycol, aucune information n'a été rapportée dans la littérature. L'absence de fonction chimique hydroxyle dans la structure moléculaire de cet éther de glycol est cependant rassurante. Cela pourrait expliquer l'absence de tératogénicité. En effet les éthers de glycol tératogènes basés sur le propylène glycol possèdent un tel groupe hydroxyle. De plus cette fonction doit constituer un alcool primaire sinon l'oxydation métabolique en acide alkoxypropionique, métabolite jugé responsable de la tératogénicité, est impossible (188).

5.2.2.2 Environnement

Howard rapporte un facteur de bioconcentration calculé égal à 0,16 pour la NMP, indiquant que cette substance n'aurait pas tendance à s'accumuler significativement dans les poissons et les autres organismes aquatiques ni de s'adsorber sur les sédiments ou la matière organique en suspension (105). Les effets environnementaux de la NMP sont peu documentés dans la littérature scientifique. Verschueren rapporte une LD₀¹¹² égale à 5 g/L chez une espèce d'algue (218). Un fabricant de NMP rapporte des CL₅₀ de 832 mg/L, 1 072 mg/L et 3 048 mg/L

¹¹¹ En anglais « bioconcentration factor » (BCF) = une mesure de l'absorption et de la rétention d'une substance par un organisme aquatique à partir de son environnement et de sa nourriture; concentration de la substance dans l'organisme à l'équilibre divisé par la concentration de la substance dans l'eau.

¹¹² la plus petite dose à laquelle la mort survient

respectivement chez le crapet arlequin, la tête-de-boule et la truite (122). La demi-vie de cette substance dans l'environnement serait inférieure à 15 jours d'après le Ministère de l'environnement de l'Ontario (31). Le PFO de la NMP est égal à 0,21. Les valeurs de PFO pour les constituants du Thinrec-00V sont les suivantes : MEK = 0,04; toluène = 0,24; xylènes = 1,13 (150).

D'après la fiche signalétique d'un fabricant, l'éther diméthylique du dipropylène glycol serait pratiquement non toxique pour les organismes aquatiques sur une base aiguë ($CL_{50} > 100$ mg/L chez les espèces les plus sensibles). Dans l'essai de dégagement de CO_2 n° 301 B de l'OCDE, un test de respirométrie, la biodégradation a atteint 18 à 32 % après 28 jours (67). Ce résultat signifie que cet éther de glycol n'est pas « facilement biodégradable » d'après les niveaux de seuil exigés par l'OCDE (156).

5.2.3 Strimix 100

Le Strimix 100 est un solvant combustible (point d'éclair = $42^{\circ}C$) peu volatil (tension de vapeur < 5 hPa ou 3,75 mm Hg @ $20^{\circ}C$).

5.2.3.1 SST

Le DMSO est le constituant principal du Strimix 100. Le lecteur est référé au § 5.2.1.1 pour les questions de SST en rapport avec le DMSO et l'acétate de 1-méthoxy-2-propanol.

5.2.3.2 Environnement

Le lecteur est référé au § 5.2.1.2 pour les questions environnementales en rapport avec le DMSO et l'acétate de 1-méthoxy-2-propanol.

5.2.4 M-Pyrol

Le M-Pyrol est constitué uniquement de NMP, un solvant combustible (point d'éclair = $93^{\circ}C$) et peu volatil (tension de vapeur = 0,38 hPa ou 0,29 mm Hg @ $20^{\circ}C$).

5.2.4.1 SST

Le lecteur est référé au § 5.2.2.1 pour les questions de SST reliées à la NMP.

5.2.4.2 Environnement

Le lecteur est référé au § 5.2.2.2 pour les questions environnementales reliées à la NMP.

5.2.5 PDN 80907

Le PDN 80907 est un mélange expérimental de solvants combustibles (point d'éclair = $66^{\circ}C$) peu volatil (tension de vapeur = 0,73 hPa ou 0,55 mm Hg @ $20^{\circ}C$) dérivé du produit commercial Greensolv 270 G du même fabricant. Pour réduire la toxicité du mélange, le fournisseur a substitué, à la demande de l'UdeM, un éther de glycol basé sur le propylène glycol à l'acétate de 2-éthoxyéthanol présent dans le Greensolv 270 G.

5.2.5.1 SST

La NMP constitue l'ingrédient principal du PDN 80907. Le lecteur est référé au § 5.2.2.1 pour les questions de SST reliées à la NMP.

Les esters d'acides dicarboxyliques (DBE) constituent le deuxième ingrédient en importance. Il s'agit d'un mélange des esters diméthyliques des acides adipique, glutarique et succinique. Il existe très peu de données toxicologiques sur les DBE. Les principaux effets toxiques rapportés portent sur des lésions nasales par inhalation observées chez le rat. Une étude indique l'absence de reprotoxicité chez le rat. Une vision brouillée serait associée chez l'humain à un niveau excessif d'exposition aux DBE. Sur la base de cet effet le fabricant DuPont propose une valeur limite d'exposition professionnelle sur 8 heures de 10 mg/m^3 pour les DBE totaux (33).

Le d-limonène constitue le troisième ingrédient en importance dans le PDN 80907. Il s'agit d'un hydrocarbure de la famille des terpènes. Le d-limonène est un irritant cutané. Des dermatites de contact allergiques peuvent se développer lorsque le produit est dégradé par oxydation. Sa toxicité systémique est considérée faible chez l'humain. La Suède a promulgué une valeur limite d'exposition professionnelle de 150 mg/m^3 sur 8 heures et 300 mg/m^3 sur 15 minutes. L'AIHA recommande pour sa part une valeur limite de 166 mg/m^3 (8h) pour prévenir les effets délétères sur le foie (32).

En administration aiguë, l'éther monométhyle du tripropylène glycol est légèrement toxique par voie orale ($DL_{50} = 3\,300 \text{ mg/kg}$) chez le rat et pratiquement non toxique par voie cutanée chez le lapin ($DL_{50} > 19\,220 \text{ mg/kg}$). Dans une étude ancienne de toxicité subchronique rapportée par Stringer où des lapins ont été exposés pendant 13 semaines à 65 doses de 0, 1, 3, 5 et 10 ml/kg par voie cutanée, le LOAEL¹¹³ était de $0,965 \text{ mg/kg}$ (1 ml/kg) pour la toxicité rénale (188). Cet éther de glycol peut causer une légère irritation des yeux et une forte exposition peut provoquer de la somnolence (70).

Le nonylphénol éthoxylé est un agent tensioactif non ionique. Le numéro CAS indiqué sur la fiche signalétique du PDN 80907 pour le nonylphénol éthoxylé ne permet pas de connaître l'entité chimique précise du produit en question. Talmage considère les éthoxylates d'alkylphénol peu toxiques pour l'humain suite à une revue de leurs effets chez les mammifères par voie orale, cutanée et par inhalation (192).

5.2.5.2 Environnement

Le lecteur est référé au § 5.2.2.2 pour les questions environnementales reliées à la NMP.

Les DBE ne devraient pas s'accumuler de façon significative dans les organismes aquatiques. Le facteur de bioconcentration du diméthyl succinate est en effet estimé à 1,1. Les DBE sont facilement biodégradables. Le PFO des DBE est égal à 0,05, donc plus faible que ceux des hydrocarbures aromatiques présents dans le Thinrec-00V. Les DBE seraient nocifs pour la tête-de-boule mais peu nocifs pour la daphnie (33).

¹¹³ Lowest Observed Adverse Effect Level = la plus petite dose observée provoquant un effet

Le d-limonène peut s'accumuler dans les organismes aquatiques. Une étude rapporte une CL_{50} de 782 $\mu\text{g/L}$ chez le vairon et la daphnie (32), ce qui rendrait le d-limonène « très toxique » d'après la classification européenne pour les organismes aquatiques (22). Le PFO du d-limonène, égal à 0,95, est élevé (150).

Le facteur de bioconcentration de l'éther monométhyle du tripropylène glycol serait faible, c'est-à-dire en deçà de 100. Cet éther de glycol serait « facilement biodégradable » d'après les critères de l'OCDE. Il serait peu toxique pour les organismes aquatiques : la CL_{50} pour la daphnie se situe au delà de 10 g/L alors qu'elle est de 11,6 g/L pour la tête-de-boule (70).

Un des produits de dégradation du nonylphénol éthoxylé, le p-nonylphénol, est résistant à toute dégradation ultérieure. Cette substance persiste dans l'environnement et est considérée comme un perturbateur endocrinien. Les produits de dégradation des éthoxylates d'alkylphénol seraient toxiques pour les espèces aquatiques. Le Royaume Uni a décidé d'éliminer les éthoxylates d'alkylphénol dans les nettoyants industriels à partir de l'an 2000 (116).

5.2.6 Bioact 200

Le Bioact 200 est un solvant combustible (point d'éclair = 94 °C), peu volatil (tension de vapeur < 2,7 hPa ou 2 mm Hg @ 20 °C). Il est composé principalement de NMP et secondairement de deux amines.

5.2.6.1 SST

Le lecteur est référé au § 5.2.2.1 pour les questions de SST liées à la NMP.

La triéthanolamine est pratiquement non toxique par voie orale chez le rat en administration aiguë (DL_{50} = 8 680 et 9 110 mg/kg). Cette amine tertiaire est irritante pour les yeux et la peau. Elle peut provoquer une dermatite de contact allergique et de l'eczéma. L'administration subchronique par voie orale et cutanée chez l'animal provoque des dommages hépatiques, rénaux et sur le système nerveux. L'ACGIH recommande une valeur limite de 5 mg/m^3 (8h) pour prévenir l'irritation des yeux et de la peau ainsi que les divers effets chroniques (9). Il n'y a pas de valeur limite québécoise. La norme suédoise est de 5 mg/m^3 (8h) et 10 mg/m^3 (15 min.) accompagnée d'une mention à l'effet que cette substance est sensibilisante (183). Cette substance est classée dans le groupe 3 (non classifiable quant sa cancérogénicité) du CIRC (115).

La diéthanolamine est légèrement toxique par voie orale chez le rat en administration aiguë (DL_{50} de 1 410 à 3 460 mg/kg). Plusieurs études subchroniques chez le rat et la souris ont mis en évidence de la toxicité hépatique, rénale ou hématologique. La toxicité cutanée de cette amine secondaire est très élevée chez ces animaux. L'ACGIH recommande une valeur limite de 2 mg/m^3 (8h), accompagnée d'une notation « peau », pour prévenir les effets délétères sur le foie, les reins et le sang (8). La norme québécoise est égale à 13 mg/m^3 (8h) (98). Cette substance est classée dans le groupe 3 (non classifiable quant sa cancérogénicité) du CIRC (114).

Un fabricant de triéthanolamine et de diéthanolamine considère ces produits comme corrosifs pour la peau et pouvant causer de sérieuses brûlures (68).

5.2.6.2 Environnement

Le lecteur est référé au § 5.2.2.2 pour les questions environnementales reliées à la NMP.

Les facteurs de bioconcentration pour les deux alcanolamines sont faibles de sorte que l'on ne s'attend pas à ce qu'elles s'accumulent dans les organismes aquatiques. Ces amines sont « facilement biodégradables » selon les critères des essais de l'OCDE. La diéthanolamine est légèrement toxique alors que la triéthanolamine est pratiquement atoxique pour la majorité des organismes aquatiques (63). Le PFO pour la diéthanolamine est égal à 0,01 alors que celui de la triéthanolamine est égal à 0,14 (150).

6.0 Comparaison des options

Cette section présente une comparaison des diverses solutions entre elles et avec la situation originale afin de choisir celles qui devaient être testées en usine. Le tableau XXVII présente de façon synthétique les aspects santé, sécurité, environnement et péculiaires pour chacun des six solvants qui ont démontré le plus grand pouvoir de nettoyage lors des essais en laboratoire (voir § 5.1) par ordre décroissant d'efficacité de nettoyage.

Tableau XXVII
Comparaison des solvants de substitution potentiels

Solvant	Santé	Sécurité	Environnement	Prix (\$/L)
Thinrec-00V	Surexposition par la voie respiratoire. Atteinte du SNC, irritation (yeux, peau, muqueuses)	Inflammable	Smog; Recyclage facile et peu dispendieux	0,54
Strimix 110	Contact cutané à surveiller, irritation (yeux, peau, muqueuses)	Combustible	Pas facilement biodégradable, recyclage complexe et coûteux. Élimination très coûteuse (présence d'un hydrocarbure halogéné)	Non disponible mais probablement proche de celui du Strimix 100
Safe Strip	Contact cutané à surveiller, irritation de la peau,	Combustible	Smog (mais peu volatil), recyclage possible mais	11,65

Solvant	Santé	Sécurité	Environnement	Prix (\$/L)
	fœtotoxicité		dispendieux	
Strimix 100	Contact cutané à surveiller, irritation (yeux, peau, muqueuses)	Combustible	Pas facilement biodégradable, recyclage coûteux	4,52
M-Pyrol	Contact cutané à surveiller, irritation de la peau, fœtotoxicité	Combustible	Smog (mais peu volatil), recyclage possible mais dispendieux	8,00
PDN 80907	Contact cutané à surveiller, irritation et allergie cutanées, fœtotoxicité	Combustible	Smog, non recyclable	14,96*
Bioact 200	Contact cutané à surveiller, irritation de la peau et des yeux, fœtotoxique	Combustible	Smog (mais peu volatil), non recyclable	11,54

* ce prix correspond au solvant Greensolv 270 G qui contient les mêmes ingrédients (sauf pour l'éther de glycol) dans les mêmes proportions que le PDN 80907

Le solvant Strimix 110 n'a pas été retenu surtout à cause de la présence d'un hydrocarbure aromatique chloré dans sa composition (o-chlorotoluène), rendant ainsi son recyclage ou son élimination très dispendieux. Les solvants PDN 80907 et Bioact 200¹¹⁴ contiennent des agents tensioactifs, ce qui les rend difficilement recyclables. Il n'ont donc pas été retenus. Malgré le fait que le solvant Safe Strip ait été jugé acceptable des points de vue technique et sanitaire, il n'a pas été retenu par Polyval en raison de son prix élevé. Les deux solvants retenus étaient donc les suivants : Strimix 100 et M-Pyrol. L'odeur désagréable du M-Pyrol (cf. § 5.1) pourrait être un frein à son utilisation par les travailleurs. Le grade de M-Pyrol utilisé régulièrement chez Polyval ainsi que dans l'évaluation d'odeur était cependant de qualité inférieure. Son prix (6,58 \$/L) était d'ailleurs inférieur au prix indiqué dans le tableau XXVII pour du M-Pyrol neuf. Il est probable que cette odeur repoussante soit due à la présence d'impuretés aminées présentes dans certains grades de NMP recyclée (Lettre de W.H. Logan, Swing Paints Ltd, Montréal, QC, au D^f Don Irvine le 97/10/10, obtenue le 97/12/30 de Ed Wituschek, Environnement Canada, North Vancouver, BC).

7.0 Essai sur le terrain

¹¹⁴ <http://www.petroferm.com/ptf-053/pdf/tds/petroferm/bio200tds.pdf>

Cette étape n'a pas été réalisée malgré l'intention déclarée de Polyval de procéder à des tests en usine avec les solvants substitutifs proposés (voir le compte-rendu de la réunion du 99/05/06 du comité de santé et sécurité de Polyval, rédigé par Mme Heidi Brown, à laquelle participait les intervenants du CLSC Jean-Olivier-Chénier et l'inspecteur Paul-André Bélanger de la CSST).

8.0 Implantation

Cette étape n'a pas été réalisée avec l'UdeM.

Des efforts récents ont été consentis par l'entreprise afin d'utiliser la N-méthyl-2-pyrrolidone pour les opérations de trempage de certains instruments et un éther de glycol pour le nettoyage manuel des cuves souillées de peinture. Les travailleurs effectuant le nettoyage auraient cependant toujours tendance à ajouter des quantités importantes de MEK à l'éther de glycol pour accélérer leur travail (Communication personnelle, Paul-André Bélanger, CSST, Saint-Jérôme, 2000/08/16). Des mesurages de l'éther de glycol (éther monométhyle du propylène glycol) dans l'air des locaux de travail ont été effectués en juillet 2000 (Communication personnelle, Richard Miron, CLSC Jean-Olivier-Chénier, 2000/08/17).

9.0 Évaluation

Cette étape n'a pas été réalisée

Annexe VII

Fabricant de circuits imprimés

1.0 Identification du problème

À la suite d’une suggestion de l’ASPME¹¹⁵, un premier contact avait été établi en 1996 entre l’UdeM et un fabricant de circuits imprimés (FCI¹¹⁶), concernant une éventuelle collaboration pour le remplacement de certains solvants jugés dangereux chez cette société. À l’automne 1998, deux visites d’usine et une rencontre avec les responsables de la SST et de l’environnement de l’entreprise ont permis d’identifier une problématique de remplacement de solvant sur laquelle ceux-ci désiraient concentrer leurs efforts : l’utilisation d’un mélange de solvants (toluène, méthyléthylcétone, acétate d’éthyle, méthanol) pour le nettoyage de masques de soudure sur divers appareils et instruments. FCI a officiellement accepté de collaborer avec l’UdeM en août 1999.

2.0 Rédaction d’un plan d’action

Le 16 juillet 1999, un plan d’action est adressé au chef de service environnement. Ce plan comprenait la formation d’un comité de substitution constitué des personnes suivantes :

Technicien en assainissement et représentant des employés sur le comité de SST, FCI

Chef de service environnement, FCI

Paul Dubé, conseiller technique, ASPME, puis Guy Comtois, hygiéniste industriel, CLSC Lac Saint-Louis

Denis Bégin, agent de recherche, Université de Montréal

Le plan stipulait également que la collaboration d’autres personnes pouvait être sollicitée par le comité de substitution. La démarche de substitution mise en œuvre serait celle en neuf étapes présentée à la réunion du 16 novembre 1998. L’entreprise devait appuyer cette démarche et accepter que les résultats du projet soient publiés, après approbation par FCI, sous forme de rapports scientifiques tout en respectant son anonymat si désiré. Le plan d’action a été contresigné par le chef de service environnement en août 1999.

3.0 Collecte des informations sur le procédé

L’objectif de cette étape était de formuler de façon précise le problème à résoudre. Cette section présente donc une description du procédé de fabrication des circuits imprimés, du nettoyage des appareils et instruments utilisés pour l’enduction des circuits imprimés par les masques de soudure et de l’exposition des travailleurs au mélange de solvants utilisés pour ce nettoyage. Une description des tâches accomplies pour rassembler ces informations est également présentée afin de comprendre comment ces données ont été recueillies.

¹¹⁵ Association sectorielle paritaire Secteur fabrication de produits en métal et de produits électriques, Saint-Léonard (Québec)

¹¹⁶ À sa demande, le nom du fabricant n’est pas révélé

3.1 Méthodologie

Les informations sur les différentes étapes de la fabrication des circuits imprimés et sur le nettoyage des appareils et instruments ont été colligées à l’aide de la fiche de collecte de renseignements élaborée spécifiquement pour cette étape du processus de substitution (voir l’annexe I), à l’occasion de diverses rencontres avec le technicien en assainissement, les travailleurs effectuant le nettoyage et autres employés spécialisés ainsi qu’à l’occasion de plusieurs visites d’usine. Le tableau XXVIII présente les principaux événements de la recherche d’une solution de rechange chez FCI.

Tableau XXVIII
Chronologie des principaux événements de la recherche
d’une solution de rechange chez FCI

Date	Remarques
27 juin 1996	Conversation téléphonique avec le technicien en assainissement concernant les solvants que FCI désire remplacer
6 octobre 1998	1 ^{ière} visite du service du LPISM*
16 novembre 1998	Réunion avec les responsables SST et Environnement de FCI et 2 ^{ième} visite du LPISM
16 mars 1999	Mesurage de l’exposition de 4 travailleurs au solvant de nettoyage
19 mai 1999	Mesurage de l’exposition d’un travailleur au solvant de nettoyage
16 juillet 1999	Rencontre avec le chef de service environnement pour discuter du plan de travail
Août 1999	Approbation officielle du projet de recherche par FCI. Paul Dubé quitte l’ASPME
16 septembre 1999	Réunion chez FCI pour planifier l’étude du procédé
22 septembre 1999	Étude du procédé avec le technicien en assainissement. Guy Comtois remplace Paul Dubé
24 septembre 1999	Poursuite de l’étude du procédé Entrevue avec le technicien spécialiste du procédé LPISM
23 novembre 1999	Visite de l’usine (LPISM, sérigraphie) avec le chimiste de Deane & Cie
25 janvier 2000	Essais de nettoyage avec 7 solvants
10 février 2000	Essais en situation réelle avec 3 solvants
27 mars 2000	Réunion chez FCI. Un ruban adhésif plus résistant au solvant a été identifié et un

Date	Remarques
	échantillon est transmis au technicien en assainissement dans la semaine suivante pour effectuer des essais

* Liquid Photo-Imageable Solder Mask = masque de soudure photosensible

3.2 Description générale de FCI

FCI est classé dans la catégorie 3352¹¹⁷ de l’ancienne Classification des activités économiques du Québec (CAEQ) (39). Le code 334410¹¹⁸ définit sa position dans le nouveau Système de classification des industries de l’Amérique du Nord (SCIAN) (187). FCI fabrique des circuits imprimés multicouches qui sont utilisés dans une grande variété d’applications, notamment dans les télécommunications (p. ex. téléchasseurs numériques miniatures), l’informatique (p. ex. modules de mémoire intégrée), l’automobile (p. ex. modules de contrôle du moteur) et dans l’industrie en général (p. ex. lecteurs optiques). L’usine de FCI a débuté ses opérations à l’endroit actuel en 1982 et compte actuellement 650 employés.

3.3 Fabrication des circuits imprimés

Le circuit imprimé est essentiellement constitué d’étroites bandes de cuivre adhérent à un substrat isolant en époxy stratifié à la fibre de verre. Le circuit imprimé multicouche est constitué de plusieurs plaquettes à circuit imprimé à simple face de faible épaisseur collées l’une sur l’autre. Les plaquettes de circuits imprimés mesurent 61 cm x 61 cm et peuvent contenir jusqu’à 30 couches. Le même motif de circuit imprimé peut être reproduit plusieurs fois sur ces plaquettes de sorte que leur découpage final peut engendrer des plaquettes individuelles de plus petites dimensions. Le procédé de fabrication utilisé par FCI peut être décrit par les neuf grandes étapes suivantes :

Étape 1 : Dépôt autocatalytique de cuivre (« electroless copper »)

Étape 2 : Transfert de l’image du circuit sur la plaquette par procédé photographique à l’aide d’une résine négative (« negative working resist »)

Étape 3 : Placage électrolytique de cuivre et d’étain

Étape 4 : Gravure et décapage (« Etch & Strip »)

Étape 5 : Masquage du circuit imprimé avec un revêtement photosensible et développement (système Probimer ou LPISM)

Étape 6 : Nivelage de brasure à l’air chaud (H.A.S.L.¹¹⁹) (optionnel) et sérigraphie (optionnel)

Étape 7 : Découpage des plaquettes et enduction d’une couche protectrice (optionnel)

Étape 8 : Placage d’or (optionnel)

Étape 9 : Découpage des plaquettes, tests, emballage et livraison

Les étapes 6 à 9 ne se suivent pas toujours systématiquement car il y a des choix à faire dans les traitements subséquents en fonction des exigences des clients. Le procédé est complexe et met en œuvre une grande diversité de produits chimiques. Pour plus de détails sur les différentes étapes

¹¹⁷ Industries des pièces et des composantes électroniques

¹¹⁸ Fabrication de semi-conducteurs et d’autres composants électroniques

¹¹⁹ Hot Air Solder Levelling

de la fabrication des circuits imprimés, le lecteur est référé aux monographies de Coombs (56) et de Jawitz (126).

3.4 LPISM et nettoyage

Le LPISM est une étape de la finition des circuits imprimés; c’est aussi le nom par lequel les employés de FCI désignent le local où est effectuée l’opération en question. Cette étape suit l’opération dite « Etch & Strip » (gravure et décapage). Elle consiste à appliquer un revêtement organique (le masque) sur les plaquettes de circuits imprimés. Le revêtement est destiné à protéger les parties de la plaquette qui ne doivent pas être affectées par l’étape de brasage tendre des composants ajoutés ultérieurement chez le client. Le revêtement sert notamment à réduire les courts-circuits et la quantité d’alliage de brasage utilisé, à protéger les plaquettes lors des manipulations et constitue une barrière environnementale.

Les étapes du procédé LPISM sont les suivantes :

- 1- *Préparation de surface* : avant d’appliquer le masque, les plaquettes subissent un nettoyage chimique à l’acide sulfurique et abrasif à l’oxyde d’aluminium qui rend le substrat adhérent pour le masque.
- 2- *Application du masque* : dépôt d’une mince couche (5 à 15 μm) de revêtement sur les plaquettes à l’aide de machines utilisant un procédé sérigraphique.
- 3- *Séchage* : passage des plaquettes dans un séchoir afin de rendre le feuil du revêtement sec hors-poisse (« tack free »).
- 4- *Insolation* : exposition des plaquettes à la radiation ultraviolette à travers un pochoir qui laisse passer la lumière dans les zones qui ne devront pas être débarrassées du masque.
- 5- *Développement* : exposition des plaquettes dans un développateur qui élimine le masque non polymérisé dans les zones qui n’ont pas été exposées à la lumière ultraviolette. Le révélateur, composé d’une solution aqueuse de carbonate de potassium et d’hydroxyde de sodium à un pH égal à 11,8, est chauffé à 39 °C et appliqué par aspersion en circuit fermé.
- 6- *Cuisson* : durcissement à cœur (sec dans toute son épaisseur) du masque en plaçant les plaquettes dans un four à 73 °C pendant 50 minutes.

La figure 1 présente le plan de l’aménagement des lieux au LPISM. On y indique notamment les emplacements des machines d’application des masques de soudure (DP10, DP-2000, SMT-200).

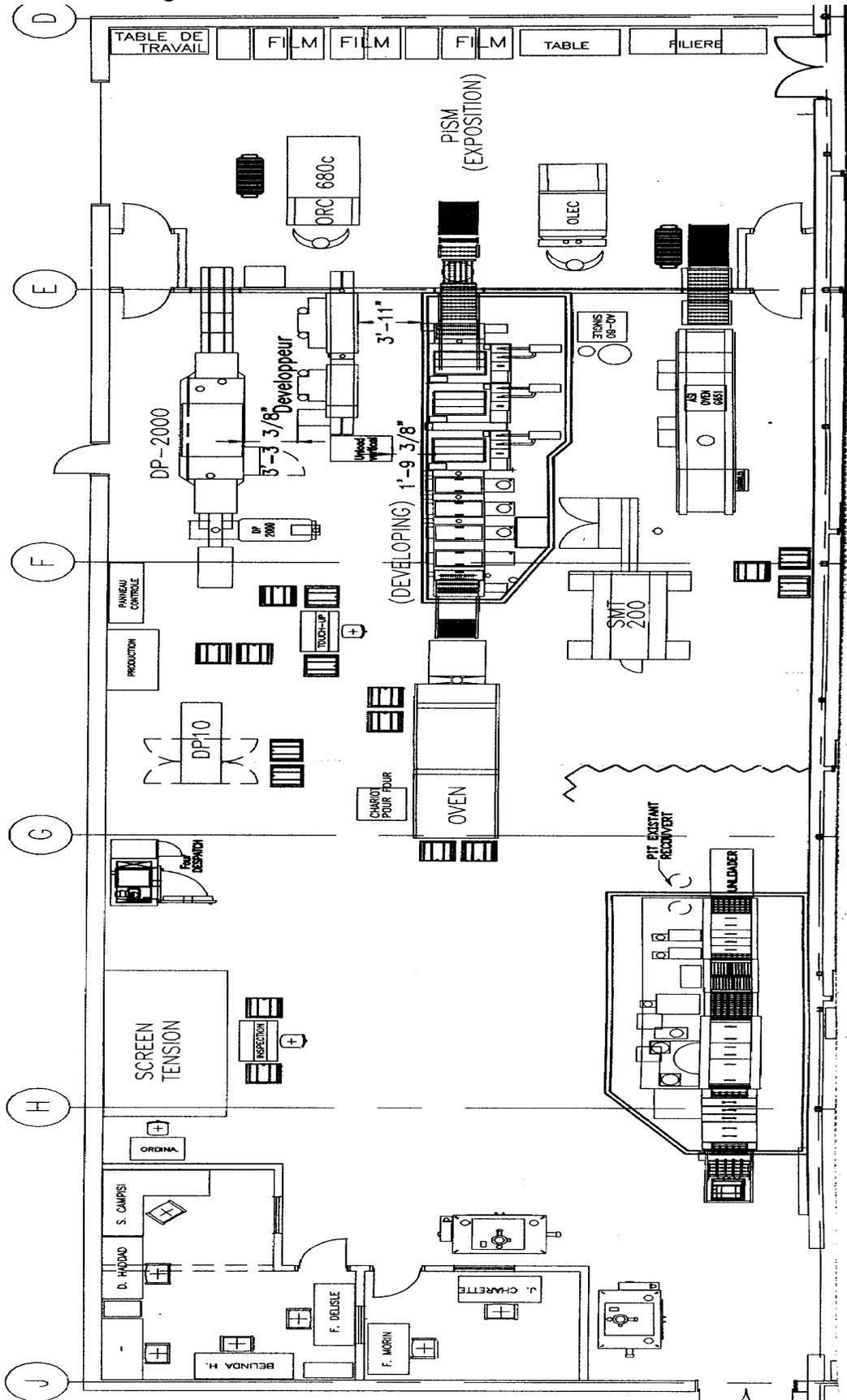
L’application des masques constitue l’étape où l’utilisation des solvants entraîne une surexposition des travailleurs du LPISM. Une dizaine de travailleurs différents peuvent être affectés à cette tâche mais on n’en retrouve que deux ou trois à la fois par quart de travail. Les travailleurs qui appliquent le masque doivent régulièrement nettoyer l’intérieur des machines, les cadres, épandeurs de masque, raclettes, grattoirs et rails pour les débarrasser du masque. Le nettoyage se fait manuellement par frottage à l’aide d’un chiffon imbibé de Vanblend 918-8 (Van Waters & Rogers Ltée, Richmond, BC), qui est un mélange de toluène (40-70 %) et de

méthyléthylcétone (21-47 %) avec une faible proportion d’acétate d’éthyle (6-17 %) et de méthanol (7-13 %) ainsi que des traces d’autres alcools. Cette opération doit être effectuée à chaque fois qu’il faut changer de masque de soudure. Il y a huit masques différents. Les masques se différencient soit par leur couleur ou par leur composition chimique qui détermine les propriétés physico-chimiques du feuil sec désirées par le client. Les masques ont à peu près la même consistance qu’une encre offset. Ils se présentent en deux parties, base et durcisseur, qui doivent être préalablement mélangées avant leur utilisation. La durée de vie des mélanges varie de 2 à 5 jours en fonction de la nature des masques. La composition chimique des masques de soudure constitue des secrets industriels sauf pour les solvants qui sont généralement des éthers de glycol. On sait toutefois qu’ils sont composés de résines époxy, d’acrylates, d’initiateur de polymérisation et de photosensibilisateurs (132).

Les tâches effectuées par les opérateurs lors de l’application du masque sont décrites en détails dans un document à usage contrôlé de FCI intitulé « Application du masque de soudure photoimageable - SMT200 et DP2000 ». La procédure de nettoyage au solvant est décrite dans des manuels distincts pour les différentes machines.

FCI utilise environ un fût de 205 litres de Vanblend 918-8 par semaine dont 80 % est utilisé au LPISM pour le nettoyage des masques. Le nettoyage pour la mise en train lors d’un changement de masque nécessite l’utilisation d’environ 3 litres de solvant.

Figure 4 : Plan du local de travail au LPISM chez FCI



3.5 Exposition des travailleurs au solvant

Le nettoyage au solvant d’une machine comme la SMT-200, ses instruments et les pochoirs peut prendre jusqu’à une heure de travail. Il y a cependant de petites tâches de nettoyage, d’une durée d’environ 5 minutes à chaque période de 2 heures, qui sont effectuées pendant l’opération d’application du masque dans la machine. Deux sessions d’échantillonnage de solvants dans la zone respiratoire de travailleurs ont été effectuées les 16 mars et 19 mai 1999. Lors des mesurages du 16 mars, quatre travailleurs ont été échantillonnés pour l’acétate d’éthyle, la méthyléthylcétone et le toluène. Le tableau XXIX présente les résultats de l’analyse environnementale.

Tableau XXIX
Échantillonnage du 16 mars 1999
Service du LPISM chez FCI

<i>Travailleur/machine/ durée (minutes)</i>	<i>Acétate d'éthyle (mg/m³)</i>	<i>Méthyléthylcétone (mg/m³)</i>	<i>Toluène (mg/m³)</i>
M.S. / DP-2000 / 405	10	22	24
S.T. / DP-10 / 305	6	10	15
E.W. / SMT-200 / 105	10	15	25
G.C. / SMT-200 / 24	105	220	280
<i>Normes*</i>			
VEMP**	1 440	150	377
VECD***	-	300	565

* Règlement sur la qualité du milieu de travail (RQMT) (98); ** Valeur d’exposition moyenne pondérée; *** Valeur d’exposition de courte durée

Les trois premiers travailleurs étaient faiblement exposés aux solvants en raison du peu de travail de nettoyage effectué durant la journée. Toutefois l’opérateur G.C. de la machine SMT-200 était fortement exposé à la méthyléthylcétone durant une période de nettoyage de sa machine d’une durée de 24 minutes.

Lors du mesurage du 19 mai, seul l’opérateur de la machine SMT-200 a été échantillonné pour la méthyléthylcétone et le toluène. Le tableau XXX présente les résultats de l’analyse environnementale.

Tableau XXX
Échantillonnage de l'opérateur SMT-200, le 19 mai 1999
Service du LPISM chez FCI

<i>Durée (minutes)</i>	<i>Méthyléthylcétone (mg/m³)</i>	<i>Toluène (mg/m³)</i>
15	25	46
15	90	235
15	195	385
10	205	345
<i>Normes*</i>		
VEMP**	150	377
VECD***	300	565

* RQMT (98); ** Valeur d'exposition moyenne pondérée; *** Valeur d'exposition de courte durée

Le travailleur était fortement exposé à la méthyléthylcétone lors des deux dernières périodes consécutives d'échantillonnage. On remarque une augmentation progressive du niveau d'exposition aux solvants lors des quatre échantillonnages successifs. Les deux premiers échantillons correspondent aux mesurages lors du nettoyage de l'intérieur de la machine alors que les deux derniers mesurages correspondent au nettoyage des pochoirs et instruments sur la table de travail adjacente à la machine. L'opérateur a utilisé une quantité de solvant nettement plus importante pour le nettoyage des pochoirs que pour l'intérieur de la machine.

La norme du RQMT n'est pas respectée pour la méthyléthylcétone lors des deux journées d'échantillonnage. En effet le RQMT stipule que « Les expositions supérieures à la valeur d'exposition moyenne pondérée et inférieure à la valeur d'exposition de courte durée doivent être d'une durée d'au plus 15 minutes consécutives... » (98).

Certains travailleurs ne portent pas les gants de caoutchouc nitrile recommandés par FCI pour le nettoyage des machines au solvant. Aucun travailleur ne portait de respirateur lors des deux journées d'échantillonnage.

Les machines DP-2000 et SMT-200 possèdent chacune un système d'aspiration des vapeurs situé à l'intérieur de leur enceinte. L'utilisation de tubes fumigènes lors des journées d'échantillonnage a cependant fait apparaître la faible efficacité de cette ventilation locale. Il semble que l'aspiration locale ne puisse être augmentée en raison des problèmes que cela causerait par l'évaporation trop rapide des solvants contenus dans les masques lors de l'induction des circuits à l'intérieur des machines.

3.6 Efforts antérieurs pour remplacer le Vanblend 918-8

FCI a tenté par le passé de substituer le Glycol Ether EB¹²⁰ (Van Waters & Rogers Ltée, Richmond, BC) et le Screen Cleaner 9004¹²¹ (PRATTA Electronic Materials Inc., Manchester, NH) au Vanblend 918-8. Ces tentatives ont été infructueuses en raison de leur temps de séchage trop long. Par ailleurs, le technicien spécialiste du procédé LPISM aurait également considéré

¹²⁰ synonyme de butyl carbitol (n° CAS : 112-34-5)

¹²¹ un mélange d'esters d'acides dicarboxyliques additionné d'un tensio-actif

l’utilisation d’une machine qui nettoie automatiquement les pochoirs mais de façon non satisfaisante (communication personnelle, 99/09/22).

4.0 Propositions d’options de rechange

Cette section présente les efforts du comité de substitution pour identifier des solutions de rechange à l’utilisation du Vanblend 918-8 pour le nettoyage des masques.

4.1 Critères de sélection

FCI désirait une solution de remplacement qui ne modifie aucunement le procédé, notamment les masques. La nature du masque est en effet spécifiée par contrat entre FCI et le client de sorte qu’il n’est pas possible de changer de masque à l’intérieur de la durée d’un même contrat. La solution de rechange devait donc être limitée au remplacement du solvant Vanblend 918-8 par un autre solvant moins dangereux. Ce nouveau solvant devait enlever toutes la salissure essentiellement constituée de masque, sécher rapidement et ne laisser aucun résidu sur l’écran (pochoir constituée d’un cadre métallique sur lequel est tendu un tissu en polyester finement maillé). Le nouveau solvant ne devait pas abîmer le tissu maillé. L’acceptabilité finale du solvant serait jugée en procédant à des essais en situation réelle. Des plaquettes seraient produites en utilisant le nouveau solvant de nettoyage et elles seraient contrôlées quant à la qualité du feuil de masque et son adhérence au substrat.

4.2 Source d’information

Plusieurs sources d’information ont été consultées afin d’identifier des options de rechange.

4.2.1 Littérature

Des recherches documentaires traditionnelles ont été entreprises dans les bases de données bibliographiques suivantes : Medline (200), Toxline (201), Current Contents (121), ISST (60), NIOSHTIC (152), HSELINE (106), CISILO (51). Des recherches de monographies ont été entreprises dans plusieurs catalogues de bibliothèques universitaires, notamment Atrium (UdeM), BADADUQ (UQAM), CLUES (Concordia), École Polytechnique, MUSE (McGill).

4.2.2 Internet

4.2.2.1 Sites Web

Des recherches ont été menées dans plusieurs sites Web, notamment :

Institute of Interconnecting and Packaging Electronic Circuits (IPC)¹²²

Printed Wiring Board Resource Center¹²³

¹²² <http://www.ipc.org/>

¹²³ <http://www.pwbr.org/>

Semiconductor Safety Association¹²⁴

United States Environmental Protection Agency (Printed Wiring Board Project)¹²⁵

Les sites Web des fabricants de masques Enthone-OMI¹²⁶ et Dexter¹²⁷ ont été compulsés ainsi que ceux de fabricants de nettoyants tels que Kyzen¹²⁸ et Polywater¹²⁹.

4.2.2.2 Groupes de discussion

Des groupes de discussion par gestionnaire de courrier électronique tels que TechNet de IPC¹³⁰ ou directement sur les sites Web tels que « Protonique Solvents Forum »¹³¹ ont été mis à contribution pour discuter avec des spécialistes de l’industrie des circuits imprimés.

4.2.3 Autres fabricant de circuits imprimés et formulateur de solvants

Un fabricant étasunien de circuits imprimés a été contacté : Electronic Controls Design, Inc. (ECD), Milwaukie, OR. Un formulateur local de solvants industriels a été contacté : Deane & Cie, Pointe-Claire, QC.

4.3 Options préliminaires

Une avenue intéressante pour éliminer l’utilisation des solvants dans le nettoyage des masques est proposée par Johnson. Cet auteur rapporte en effet le développement de masques en phase aqueuse qui peuvent être nettoyés à l’eau (128). Cette solution ne pouvait cependant pas être envisagée dans le cadre de la présente recherche en raison des contraintes du contrat actuel liant FCI aux clients.

Une autre solution a été proposée par le fabricant de masque Enthone-OMI : l’application d’un revêtement anti-étalement (Enplate Stop-Off No. 1) sur toutes les surfaces autres que le tissu maillé du pochoir. Ce revêtement pourrait ensuite être enlevé par simple pelage, évitant ainsi le besoin de nettoyer au solvant ces diverses surfaces. Attrayante à première vue, cette procédure n’a pas été retenue pour plusieurs raisons. Elle n’élimine pas complètement le besoin d’utiliser le solvant Vanblend 918-8 qui demeure nécessaire pour nettoyer le tissu maillé. De plus, la fiche technique de ce revêtement indique qu’il faut utiliser de la méthyléthylcétone pour enlever le revêtement dans les recoins. Enfin la fiche signalétique du revêtement indique qu’il contient du toluène et du tétrachloroéthylène¹³². Ce dernier est classé « probablement cancérigène pour l’humain » par le Centre international de recherche sur le cancer (112).

¹²⁴ <http://www.semiconductorsafety.org/>

¹²⁵ <http://www.epa.gov/opptintr/dfe/pwb/pwb.html>

¹²⁶ <http://205.181.179.3/>

¹²⁷ <http://www.dexelec.com/>

¹²⁸ <http://www.kyzen.com/>

¹²⁹ <http://www.polywater.com/>

¹³⁰ <http://www.ipc.org/html/forum.htm>

¹³¹ http://www.protonique.com/solvents_forum/disc1_welc.htm

¹³² <http://msds.eomi.com/>

Le fabricant de circuits imprimés ECD utilise le 2-butoxyéthanol et l’acétate de 2-éthoxyéthanol couplés à un séchage à l’air libre d’une durée de 10 min. pour le nettoyage de ses masques photosensibles (Thimothy Reeves, ECD Inc., Milwaukie, OR, courriel le 99/11/12). Ces deux éthers de glycol sont dérivés de l’éthylène glycol. En conséquence ils n’ont pas été retenus en raison de leur toxicité (50).

Le fabricant de masque Taiyo a suggéré l’utilisation d’un mélange d’acétate de l’éther monométhyle du propylène glycol (CAS 108-65-6) et d’isopropanol (Communication personnelle d’un représentant de Taiyo, Carson City, NV, avec Guy Comtois du CLSC Lac Saint-Louis, 99/11/18). La société Taiyo ne fabrique pas de tels mélanges mais en suggère l’utilisation à ses clients. Ce mélange n’a donc pas été recherché comme tel commercialement mais cette « recette » a cependant servi au formateur local (Deane & Cie) pour l’élaboration de ses produits expérimentaux.

Une étude de cas de prévention de la pollution dans le nettoyage des écrans en sérigraphie, rendue public par le United States Environmental Protection Agency (USEPA), a permis d’identifier un mélange de trois solvants (Naphte aromatique/1-méthoxy-2-propanol/éther monométhyle du dipropylène glycol¹³³) qui nettoie aussi bien les encres traditionnelles que celles à séchage ultraviolet (214). Les encres à séchage ultraviolet contiennent des polymères semblables à ceux contenus dans les masques dont le durcissement est réalisée à la radiation ultraviolette. Le mélange de solvants indiqué pourrait donc être efficace dans le nettoyage au LPISM. Ce mélange n’a pas été obtenu comme tel commercialement mais sa composition a cependant servi au formateur local (Deane & Cie) pour l’élaboration de ses produits expérimentaux.

Un spécialiste européen du nettoyage des circuits imprimés a suggéré de nettoyer toutes les pièces transportables dans une machine de dégraissage qui n’émet aucun composé organique volatil (COV) (Brian Ellis, Protonique SA, Romanel-sur-Lausanne, Suisse, courriel le 99/11/09). Ces appareils fermés, à émission nulle de COV, sont populaires en Europe, particulièrement en Allemagne. Cependant ces machines mettent en œuvre des hydrocarbures chlorés et sont très dispendieuses (87). En outre le passage à cette technologie n’éliminerait pas le nettoyage au solvant de l’intérieur des appareils d’application de masque.

Le tableau XXXI présente les solvants les plus prometteurs proposés par diverses sociétés pour le nettoyage des masques au LPISM chez FCI.

Tableau XXXI
Solvants commerciaux potentiellement substitutifs (FCI)

Code	Solvant (Fournisseur)	Composition (n° CAS)
A	SC1703 (Dexter Electronic Materials, Industry, CA)	Glutarate diméthyle (1119-40-0) (40-70 %) Éther monobutyle du diéthylène glycol (112-34-5) (40-70 %)

¹³³ Numéros CAS : 64742-95-6 / 107-98-2 / 34590-94-8

Code	Solvant (Fournisseur)	Composition (n° CAS)
B	SC1710 (Dexter Electronic Materials, Industry, CA)	Glutarate diméthylque (1119-40-0) (30-60 %) Éther monobutylique de l'éthylène glycol (111-76-2) (40-70 %)
C	Enplate Solvent 33 (Enthone-OMI, Pointe-Claire, QC)	Hydrocarbures aromatiques en C ₈ -C ₁₀ (64742-95-6) (< 35 %) 1,2,3,4-Tétrahydronaphtalène (119-64-2) (< 30 %) 2-Butoxyéthanol (111-76-2) (< 30 %)
D	EB Acetate (Enthone-OMI, Pointe-Claire, QC)	Acétate de 2-butoxyéthanol (112-07-2) (100 %)
E	Cybersolv I3412PW (Kyzen, Nashville, TN) (chiffons pré-imprégnés)	Hydrocarbures isoparaffiniques synthétiques (non spécifié*) (40-60 %) 1-Propoxy-2-propanol (1569-01-3) (40-60 %)
F	M-1-D/0-35** (Deane & Cie, Pointe-Claire, QC)	1-Méthoxy-2-propanol (107-98-2) (50-80 %) Hydrocarbures aromatiques en C ₈ -C ₁₀ (64742-95-6) (20-50 %)
G	J-7-0-35*** (Deane & Cie, Pointe-Claire, QC)	Éther butylique du diéthylène glycol (112-34-5) (50-80 %) Hydrocarbures aromatiques en C ₈ -C ₁₀ (64742-95-6) (20-50 %)

* possiblement CAS 64742-48-9 (série Isopar[®] de Exxon, Houston, TX)

** produit expérimental (nouveau nom : Deanco 956)

*** produit expérimental

5.0 Évaluation des conséquences de l'utilisation de chaque option

Afin de réduire le travail d'évaluation des conséquences, des tests préliminaires ont d'abord été effectués pour permettre de choisir les candidats les plus techniquement performants.

5.1 Essais préliminaires

Le chimiste de Deane & Cie a procédé à plusieurs essais de nettoyage chez FCI pour le développement de ses produits F et G. Les autres solvants ont été commandés directement des fournisseurs respectifs par FCI. Un chiffon propre imbibé d'une même quantité de solvant servait à nettoyer manuellement un masque (Enplate DSR-3241 A-G, Enthone-OMI, Pointe-Claire, QC) appliqué manuellement à la spatule sur un écran préalablement nettoyé au Vanblend 918-8. Tous les solvants testés ont permis de nettoyer le masque avec plus ou moins de facilité, de rapidité et d'efficacité sauf pour les chiffons pré-imprégnés Cybersolv I3241PW. En effet les

chiffons ne contenaient pas suffisamment de solvant pour solubiliser le masque. Les trois solvants les plus performants étaient les suivants : A, C, F.

5.2 Essais en situation réelle

Afin de tester les solvants en situation réelle, une vingtaine de plaquettes de circuits imprimés ont été mis à la disposition du comité de substitution. Les deux masques suivants (10 plaquettes par masque) ont été utilisés : Enplate DSR-3241 MD (Enthone-OMI, Pointe-Claire, QC) et PSR-4000 (MP) (Taiyo, Carson City, NV).

Deux mises en train ont été effectuées, une pour chacun des masques. La procédure lors de la première mise en train (DSR-3241) était la suivante : Un écran propre est d’abord préparé en y plaçant le ruban adhésif rouge (Furon¹³⁴) sur le pourtour et de chaque côté. L’opérateur utilise également deux petits morceaux de ruban adhésif 3M placés sur l’extrémité inférieure du ruban rouge vertical afin de prévenir son décollement lors de la remontée de la raclette. L’écran est ensuite nettoyé des deux côtés à l’aide d’un chiffon fortement imbibé du solvant à évaluer. Les instruments sont également nettoyés de la même façon. Une fois l’écran et les instruments placés dans la machine DP-10, un panneau de cuivre sans circuit imprimé est introduit et enduit de masque. Cette étape est nécessaire pour éliminer les filaments de tissu laissés par le chiffon. Suivent ensuite les trois (ou quatre) panneaux de circuits imprimés.

La procédure pour la deuxième mise en train (PSR-4000) était la même que la première sauf que le ruban adhésif rouge a été mis en place quelques minutes seulement après le nettoyage de l’écran au solvant (dans la première mise en train, le ruban a été placé sur un écran propre sans nettoyage préalable au solvant). Cette procédure a été répétée pour chaque solvant afin de voir si le ruban adhérait bien au substrat.

Le tableau XXXII présente la liste des masques et des solvants utilisés pour les nettoyer ainsi que les diverses remarques de l’opérateur.

Tableau XXXII
Essais de nettoyage de masque aux solvants avec la machine DP-10

Masques et solvants utilisés pour le nettoyage (nombre de panneaux enduits *)	Remarques de l’opérateur
Enthone MD + SC1703 (3)	Solvant lent à sécher : essuyage avec chiffon sec nécessaire; 45 min s’est écoulé entre le nettoyage au solvant et l’application du masque; solvant fait décoller le ruban adhésif 3M; le solvant rend le plancher glissant (solvant qui dégoutte du chiffon)
Enthone MD + Enplate Solvent 33 (3)	Nettoie bien; odeur moins forte que le Vandblend 918-8; laisse un film huileux;

¹³⁴ Le fabricant de ruban adhésif Furon a récemment été renommé Saint-Gobain Performance Plastics, Wayne, NJ

Masques et solvants utilisés pour le nettoyage (nombre de panneaux enduits*)	Remarques de l'opérateur
	solvant fait décoller le ruban adhésif 3M
Enthone MD + Deanco 956 (4)	Nettoie bien; le ruban adhésif rouge et le ruban adhésif 3M se décollent de l'écran; laisse un film huileux
Taiyo MP + Deanco 956 (3)	Nettoie bien; solvant ne fait pas décoller le ruban rouge vertical mais enlève légèrement le ruban 3M
Taiyo MP + Enplate Solvent 33 (3)	Nettoie bien; solvant ne fait pas décoller le ruban rouge vertical mais enlève légèrement le ruban 3M
Taiyo MP + SC1703 (0)	Le ruban adhésif rouge n'adhère pas sur l'écran préalablement nettoyé au solvant : impossible de poursuivre car le solvant ne s'évapore pas assez rapidement

* sans compter les panneaux de cuivre sans circuits imprimés

Les panneaux enduits de masque ont ensuite subi une première cuisson au four (DSR-3241 : 77 °C pour 50 min; PSR-4000 : 79 °C pour 50 min) puis ont été ventilés à l'extérieur. L'inspection visuelle en compagnie du technicien spécialiste du procédé LPISM n'a pas permis de déceler d'yeux de poisson ou autres imperfections sur les panneaux. Enfin aucun problème n'a été rapporté aux étapes subséquentes (insolation, développement, nivelage).

Le Deanco 956 et le Enplate Solvent 33 sont donc acceptables du point de vue technique. Cependant, du point de vue toxicologique, seul le Deanco 956 est acceptable. Rappelons en effet que le Enplate Solvent 33 contient un éther de glycol (2-butoxyéthanol) jugé inacceptable du point de vue sanitaire. Le Deanco 956 contient un autre éther de glycol (1-méthoxy-2-propanol) moins toxique. Le décollement du ruban adhésif rouge (Furon) demeure un problème à régler. Un ruban adhésif potentiellement substitutif (Finite 573, Scapa Tapes, Windsor, CT) a été identifié et fourni à FCI. Des tests préliminaires auraient indiqué que le nouveau ruban adhésif serait techniquement acceptable malgré qu'il soit plus difficile d'application en raison de sa minceur (Courriel du technicien en assainissement de FCI à D. Bégin, 2000/08/14).

5.3 Étude des conséquences pour la SST et l'environnement de l'utilisation du Deanco 956

Le solvant Deanco 956 est un mélange combustible expérimental. Le point d'éclair n'a pas été mesuré mais se situe certainement au delà 38 °C sur la base de ses constituants.

5.3.1 SST

Le solvant Deanco 956 est composé d'un éther de glycol et d'un mélange d'hydrocarbures aromatiques. Le 1-méthoxy-2-propanol est le constituant majoritaire. C'est un irritant des yeux et des voies respiratoires. Il n'est cependant pas irritant pour la peau mais est facilement absorbé par voie cutanée. Il n'y a pas d'effets chroniques chez l'humain rapporté dans la littérature (47).

Le 1-méthoxy-2-propanol ne serait pas tératogène, à l'encontre de l'isomère de position 2-méthoxy-1-propanol (isomère bêta), en raison de l'absence de formation d'acide 2-méthoxypropionique, le métabolite jugé responsable de la tératogénicité (127; 188). Les valeurs limites d'exposition professionnelle au Québec sont les suivantes : 369 mg/m³ (8h) et 553 mg/m³ (15 min.) (98). Cette norme correspond à la recommandation de l'ACGIH qui vise à protéger contre l'irritation des voies respiratoires et la dépression du système nerveux central (10).

Le deuxième composant du Deanco 956 est le même mélange d'hydrocarbures contenu dans le solvant Deanco 792. Le lecteur est référé au § 5.3.1 de l'annexe III pour les questions de SST concernant ce mélange complexe.

5.3.2 Environnement

Le 1-méthoxy-2-propanol est « facilement biodégradable » d'après les résultats de l'essai n^o 301E de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Un fabricant de 1-méthoxy-2-propanol rapporte les données écotoxicologiques suivantes pour cet éther de glycol : CL₅₀ = 4 600 à 10 000 mg/L chez le guppy, 20 800 mg/L chez la tête-de-boule et 23 300 mg/L chez la daphnie magna, ce qui en ferait une substance pratiquement non toxique pour ces organismes aquatiques sur une base aiguë (66). Le potentiel de formation d'ozone urbain (PFO) du 1-méthoxy-2-propanol est égal à 0,39 (150). Cette valeur est substantiellement plus élevée que celles des deux composants principaux du Vanblend 918-8, c'est-à-dire le toluène (PFO = 0,24) et la méthyléthylcétone (PFO = 0,04).

Le lecteur est référé au § 5.3.2 de l'annexe III pour les questions environnementales concernant le mélange d'hydrocarbures aromatiques contenu dans le solvant Deanco 956.

6.0 Comparaison des options

Cette section présente une comparaison de la seule solution finalement envisagée avec la situation originale afin d'apprécier si cette solution est globalement acceptable. Le tableau XXXIII présente donc une comparaison du Deanco 956 et du Vanblend 918-8 pour les questions SST, environnement et technique.

Tableau XXXIII
Comparaison Vanblend 918-8 et Deanco 956

Éléments de comparaison	Vanblend 918-8	Deanco 956
Santé	Irritation des yeux, des muqueuses et de la peau; atteinte aiguë du système nerveux central	Irritation des yeux, des muqueuses et de la peau; fœtotoxicité possible
Sécurité	Inflammable (point d'éclair < 38 °C)	Combustible
Environnement	Smog photochimique ++ Toxicité aquatique	Smog photochimique +++ Toxicité aquatique

Éléments de comparaison	Vanblend 918-8	Deanco 956
Technique	Excellent	Excellent

Les dangers pour la santé des deux solvants sont semblables mais en raison de la volatilité moins grande du Deanco 956, le risque sanitaire global est plus faible pour ce dernier. Le Deanco 956 est moins dangereux pour la sécurité que le Vanblend 918-8 à cause de son point d'éclair plus élevé. Les effets sur les environnements atmosphérique et aquatique sont un peu plus prononcés pour le Deanco 956. La volatilité réduite du Deanco 956 minimise cependant les quantités de solvant qui seraient émises dans l'atmosphère. Le Deanco 956 est aussi performant que le Vanblend 918-8 du point de vue technique.

7.0 Essai sur le terrain

Les essais rapportés au § 5.2 sont en fait ceux qui devaient être effectués à l'étape 7.0.

8.0 Implantation

Cette étape n'a pas encore été réalisée. FCI doit effectuer une analyse des coûts de l'utilisation éventuelle du solvant Deanco 956.

9.0 Évaluation

Cette étape n'a pas été réalisée.

Annexe VIII



1.0 Identification

En septembre 1998, l’ASFETM¹³⁵ suggère à l’UdeM de travailler à la résolution du cas de Doral International¹³⁶ (anciennement Cadorette Marine). Certains travailleurs sont surexposés au dichlorométhane (DCM) lors de l’utilisation d’un adhésif employé pour coller diverses pièces (tapis, mousse) dans les bateaux en fibre de verre fabriqués par l’entreprise. Une première réunion a eu lieu à Grand-Mère en octobre 1998 et l’entreprise accepte formellement de participer au projet de recherche de substitution par la signature, au début de décembre suivant, d’une lettre d’entente avec l’UdeM.

2.0 Rédaction d’un plan d’action

Le 21 octobre 1998, un plan d’action est adressé à Mme Linda Normandin, responsable de la santé et de la sécurité du travail (SST) chez Doral. Ce plan comprenait la formation d’un comité de substitution constitué des personnes suivantes :

Linda Normandin, responsable de la santé et de la sécurité du travail, Doral international
Richard Lajoie, responsable du service du rembourrage, Doral international
Daniel Bellemarre, représentant à la prévention, Doral international
Jean-Guy Landry fils, représentant à la prévention, Doral international
Paule Pelletier, hygiéniste industrielle, ASFETM
Marcel Jacob, technicien en hygiène industrielle, CLSC du Centre-de-la-Mauricie
Denis Bégin, agent de recherche, Université de Montréal
Chad Bradley, hygiéniste industrielle, consultante pour l’Université de Montréal

Le plan stipulait également que la collaboration d’autres personnes pouvait être sollicitée par le comité de substitution. La démarche de substitution mise en œuvre serait celle en neuf étapes présentée à la réunion du 15 octobre 1998. L’entreprise devait appuyer cette démarche et accepter que les résultats du projet soient publiés sous forme de rapports scientifiques tout en respectant son anonymat si désiré. Le plan d’action a été contresigné par Mme Normandin le 8 décembre 1998.

3.0 Collecte des informations sur le procédé

L’objectif de cette étape était de formuler de façon précise le problème à résoudre. Cette section présente donc une description du procédé de fabrication des bateaux, des opérations de collage des diverses pièces et de l’exposition des travailleurs au DCM contenu dans l’adhésif

¹³⁵ Association sectorielle fabrication d’équipement de transport et de machines, Montréal, QC

¹³⁶ 1991-3e Avenue, Grand-Mère (Québec) G9T 2W6 <http://www.doralboat.com>

problématique. Une description des tâches accomplies pour rassembler ces informations est également présentée afin de comprendre comment ces données ont été recueillies.

3.1 Méthodologie

Les informations sur les différentes étapes de la fabrication des bateaux et sur le collage ont été colligées à l'aide de la fiche de collecte de renseignements élaborée spécifiquement pour cette étape du processus de substitution (voir l'annexe I), à l'occasion de diverses rencontres avec les contremaîtres et les travailleurs effectuant le collage et autres employés spécialisés ainsi qu'à l'occasion de plusieurs visites d'usine. Le tableau XXXIV présente les principaux événements de la recherche d'une solution de rechange chez Doral.

Tableau XXXIV
Chronologie des principaux événements de la recherche
d'une solution de rechange chez Doral

Date	Remarques
28 septembre 1998	Paule Pelletier suggère le cas de Doral à l'UdeM
15 octobre 1998	Première réunion et visite de l'usine de Doral
8 décembre 1998	Approbation officielle du projet de recherche par Doral
20 janvier 1999	Première visite de l'usine par C. Bradley et début du travail pratique (étape 3 et suivantes)
Février-mars-avril 1999	La progression des travaux est lente; la communication avec les personnes-contacts de Doral est difficile
12 avril 1999	Réorganisation des responsabilités en SST chez Doral
Mai 1999	Des tests effectués par Alfa Adhesives et au laboratoire de Doral indiquent que l'adhésif Simalfa 309 colle de façon satisfaisante 80 % des pièces à assembler. Le collage du tapis et des flotteurs serait problématique.
Juin 1999	Doral soumet à l'UdeM un court rapport sur les tests de collage avec trois adhésifs (3M et Nacan) chez Doral. Pierre Hébert, coordonnateur R&D chez Doral, apparaît comme la personne de choix pour mener à terme le projet de substitution d'adhésif.
8 septembre 1999	Réunion chez Doral avec D. Gilmore de Alfa Adhesives, les intervenants du CLSC et de l'UdeM
22 septembre 1999	Doral soumet un court rapport à l'UdeM sur les tests effectués en situation réelle avec l'adhésif Simalfa

Date	Remarques
13 octobre 1999	Marcel Jacob affirme que le coût élevé de l’adhésif Simalfa et des pistolets de pulvérisation serait la cause du blocage du dossier de substitution de l’adhésif chez Doral
18 octobre 1999	L’UdeM adresse une lettre à Doral pour expliquer en détails les raisons et les façons de procéder au remplacement de l’adhésif à base de DCM par un adhésif en phase aqueuse
2 novembre 1999	Pierre Hébert affirme que le nouvel adhésif DM30145 (Adchem) colle de façon satisfaisante 100 % des pièces à assembler
3 novembre 1999	Après l’étude de la fiche signalétique de l’adhésif DM30145, l’UdeM recommande son utilisation sur la base de critères sanitaires
23 novembre 1999	À la demande de Doral, l’UdeM produit, à l’intention des travailleurs, un texte de vulgarisation des effets délétères du DCM, afin de les convaincre du bien-fondé de la substitution
17 décembre 1999	À la demande de Doral, l’UdeM produit, à l’intention des travailleurs, un texte de vulgarisation du risque cancérogène lié à l’utilisation d’un adhésif en phase aqueuse contenant des traces de bêta-chloroprène
11 janvier 2000	Richard Lajoie informe l’UdeM qu’il y a eu gélification de l’adhésif DM30145 dans son contenant d’origine. Doral décide de retourner à l’utilisation de l’adhésif Simalfa pour ses essais ultérieurs.
Février 2000	Grève chez Doral au début du mois. La compagnie identifie un pistolet de pulvérisation HVLP beaucoup moins dispendieux que celui suggéré par Alfa Adhesives. Les essais se poursuivent avec Simalfa mais également avec l’adhésif Fastbond 100 (3M).
17 mars 2000	Jean-Guy Landry fils informe l’UdeM que l’adhésif à base de DCM est toujours le produit principalement utilisé chez Doral
1 ^{er} juin 2000	Linda Normandin informe l’UdeM qu’elle redémarre le projet de substitution. L’entreprise est toujours à la recherche d’un adhésif satisfaisant pour le collage du tapis sur le substrat en fibre de verre.

3.2 Description générale de Doral

La société Doral International est classée dans la catégorie 3281¹³⁷ de l'ancienne Classification des activités économiques du Québec (CAEQ) (39). Le code 336612¹³⁸ définit sa position dans le nouveau Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN) (187). L'entreprise, qui a changé plusieurs fois de raison sociale et de propriétaire, est située à l'emplacement actuel depuis 1985 mais a été fondée à l'origine par Moïse Cadorette à Saint-Jean-des-Piles dans les années 30 (20). Doral emploie 325 personnes dont 180 travailleurs qui fabriquent, principalement de jour, environ 1000 bateaux de plaisance en polyester stratifié à la fibre de verre par année. Ces yachts à moteur mesurent de 5 à 11 m de longueur et de 2 à 4 m de largeur. Certains modèles possèdent une cabine comprenant deux chambres avec couchettes, cuisinette, douche et toilette d'où la présence de divers matériaux pour le rembourrage et la finition.

3.3 Fabrication des bateaux

La fabrication du pont et de la coque des bateaux en fibre de verre est réalisée par moulage au contact. Un enduit gélifié (« gel coat ») est appliqué par pulvérisation sur un moule. Une résine thermodurcissable (mélange d'un polyester insaturé et de styrène) et un tissu de renfort fibreux sont ensuite appliqués manuellement ou à l'aide d'un pistolet-hachoir sur le moule. Suivent une imprégnation manuelle au moyen d'un pinceau et le débullage avec un rouleau. Après le durcissement de la résine, les pièces sont démoulées puis sablées et percées à l'aide d'outils pneumatiques. Le tapis et la cuvette sont collés sur la fibre de verre puis le pont et la coque sont assemblés. Les équipements tels que douche, banc, moteur, tableau de bord sont enfin fixés à l'intérieur du bateau.

3.4 Les opérations de collage

La construction du yacht exige l'utilisation d'un adhésif pour fixer le tapis, le feutre et la cuvette sur l'intérieur du bateau. L'adhésif est ainsi utilisé aux services de l'assemblage (p. ex. pose du tapis et de la cuvette) et du rembourrage (p. ex. fabrication de sièges et dos de chaises à l'aide de mousse de polyuréthane, de cuvette et d'un substrat rigide). Les travailleurs qui utilisent l'adhésif comprennent une quinzaine de rembourreurs, les poseurs de tapis et autres assembleurs.

Les travailleurs utilisent actuellement l'adhésif Adbond 8706-1 (Adhésif Adchem, St-Laurent, QC), un mélange de polychloroprène, DCM (60-80 %) et d'un naphte¹³⁹ (5 à 10 %). Les rembourreurs appliquent l'adhésif à l'aide d'un pistolet de pulvérisation actionné pneumatiquement (118 Siphon Gun, Critter Spray Products, London, ON) muni d'un récipient en verre¹⁴⁰. Le poseur de tapis et les autres assembleurs utilisent un pistolet de pulvérisation légèrement plus gros, muni d'un godet en aluminium. Doral consomme environ 3 fûts de 204 L d'adhésif par mois.

¹³⁷ Industrie de la construction et de la réparation d'embarcations

¹³⁸ Construction d'embarcations

¹³⁹ N° CAS 64742-89-8 : un mélange composé principalement d'hydrocarbures saturés en C₅ à C₁₀

¹⁴⁰ de type « bocal Mason » d'une capacité de 16 oz (455 ml)

Les rembourreurs assemblent par collage des planches de bois et de polyéthylène, des morceaux de mousse de polyuréthane ainsi que des revêtements flexibles (tapis, minces couches de mousse, cuirette). L’assemblage se fait par l’application d’une mince couche d’adhésif sur l’un des deux substrats suivie d’une brève pression des deux pièces l’une contre l’autre. Chaque rembourreur évolue à un poste de travail qui lui est propre et assemble des morceaux spécifiques. Entre un et trois litres de colle sont utilisés en moyenne par poste et quart de travail en fonction de la nature des pièces à assembler.

Le travail de pose du feutre sur les petits bateaux nécessite l’utilisation d’environ 0,5 L de colle par jour. Le collage du tapis sur les grands bateaux dure environ 3 heures. L’une des tâches consiste à poser du tapis à l’intérieur des espaces de rangement dans les grands bateaux. Cette tâche dure seulement de 30 à 60 min. par jour mais l’employé doit travailler en espace confiné lorsqu’il pulvérise la colle et fixe le tapis. Enfin, environ 2 L de colle est utilisée pour le collage de la cuirette sur ces grands yachts. Comme au rembourrage, l’encollage ne se fait que sur l’un des deux substrats, suivi par l’application d’une pression (et d’étirement dans le cas de la cuirette) des deux pièces l’une contre l’autre.

La figure 5 présente le plan de l’usine de Doral. Les opérations de collage sont effectuées dans la section n° 3 (rembourrage) et les aires n° 7 (assemblage 1 où l’on assemble les petits bateaux) et n° 8 (assemblage 2 où l’on assemble les grands bateaux).

3.5 Exposition des travailleurs au DCM

Jacob a mesuré les niveaux de DCM dans la zone respiratoire d’un travailleur (journalier à l’assemblage) posant du tapis dans un espace de rangement d’un grand bateau (124). L’exposition au solvant chloré de deux rembourreurs et d’un journalier au rembourrage a également été mesurée. Le tableau XXXV présente les résultats de ces mesurages. Toutes les périodes d’échantillonnage, pour un même travailleur, sont consécutives.

Tableau XXXV
Niveaux d’exposition des travailleurs au DCM
lors de l’utilisation de l’adhésif Adbond 8706-1

Travailleur	Durée (min.)	Concentration (mg/m ³)	Date
Journalier à l’assemblage n° 2	15	465	97/12/02
Journalier à l’assemblage n° 2	15	1400	97/12/02
Journalier à l’assemblage n° 2	15	2850	97/12/02
Rembourreur A	29	95	97/12/04
Rembourreur A	30	85	97/12/04
Rembourreur A	30	135	97/12/04
Rembourreur A	48	110	97/12/04
Rembourreur B	30	115	97/12/04
Rembourreur B	30	65	97/12/04
Rembourreur B	30	190	97/12/04
Rembourreur B	42	130	97/12/04

Travailleur	Durée (min.)	Concentration (mg/m ³)	Date
Journalier au rembourrage	15	145	97/12/04
Journalier au rembourrage	30	120	97/12/04
Journalier au rembourrage	30	145	97/12/04
Journalier au rembourrage	30	235	97/12/04
Journalier au rembourrage	15	145	97/12/04
Journalier au rembourrage	15	80	97/12/04
Journalier au rembourrage	30	170	97/12/04
Journalier au rembourrage	28	70	97/12/04

La valeur limite d'exposition professionnelle en vigueur au Québec pour le DCM est égale à 174 mg/m³ (8 h) (98). L'absence d'une norme spécifique pour les expositions de courtes durées (15 min.) implique que le concept de la limite d'excursion s'applique. Aucune excursion ne devant dépasser 5 fois la valeur d'exposition moyenne pondérée ($5 \times 174 = 870 \text{ mg/m}^3$), il s'en suit que la norme n'est pas respectée pour le journalier à l'assemblage. Ce dernier travaillait dans un espace confiné. La norme n'est cependant pas violée dans le cas des travailleurs œuvrant au service du rembourrage. Les travailleurs étaient concurremment exposés à l'acétone à des niveaux de l'ordre de la centaine de mg/m³ pour le rembourrage et du double au triple pour le journalier à l'assemblage. Certains travailleurs étaient enfin exposés aussi à une dizaine de mg/m³ de styrène. Dans ses recommandations à l'entreprise, Jacob proposait la substitution de l'adhésif actuellement utilisé par un produit moins toxique comme solution à privilégier pour régler le problème de la forte exposition des travailleurs au DCM (124).

3.6 Effort antérieur pour remplacer l'adhésif Adbond 8706-1

Aucune tentative de substitution de l'adhésif 8706-1 n'a été réalisée dans le passé par l'entreprise. Cet adhésif contenait autrefois du 1,1,1-trichloroéthane, remplacé par le fabricant au milieu des années 90 par le DCM.

4.0 Proposition d'options de rechange

Cette section présente les efforts du comité de substitution pour identifier des solutions de rechange à l'utilisation de l'adhésif Adbond 8706-1 pour les opérations de collage.

4.1 Critères de sélection

Doral exige un adhésif substitutif possédant un temps de séchage et d'adhérence rapides, un film de colle sec flexible et translucide.

4.2 Sources d'information

Plusieurs sources d'information ont été consultées afin d'identifier des options de rechange.

4.2.1 Littérature

Des recherches documentaires ont été entreprises dans diverses base de données bibliographiques (p. ex. NIOSHTIC) et dans les bibliothèques universitaires. Ainsi plusieurs monographies et articles techniques ont été compulsés pour identifier un adhésif substitutif (54; 89; 104; 118; 133; 139; 141; 182; 191; 199; 206; 210; 217).

4.2.2 Internet

4.2.2.1 Sites Web

Des recherches ont été menées dans plusieurs sites Web.

4.2.2.1.1 Base de données sur les adhésifs :

Adhesives Mart, Inc., Newton, MA

<http://www.adhesivesmart.com/>

Waterbased Adhesives Technology Review, Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center, Seattle, WA

<http://www.pprc.org/pprc/p2tech/waterbsd/wbintro.html>

4.2.2.1.2 Distributeurs d’adhésifs :

Adheco Ltd, Scarborough, ON <http://www.adheco.com/>

Adhere Distributors, Winnipeg, MB <http://www.adheredist.com/>

Adhesive for Industry Tech Center <http://www.gluguru.com/>

4.2.2.1.3 Fabricants d’adhésifs

Advanced Adhesive Technology Inc., Dalton, GA <http://www.aatglue.com/boat.html>

American Chemical Inc., Minneapolis, MN <http://www.glueit.com>

Chembond Adhesives Inc., Tiffin, OH <http://www.chembondadhesives.com>

Crispin Adhesives Ltd, Leicester, UK <http://www.crispin-adhesives.co.uk>

Master Adhesives Inc., Norcross, GA <http://www.masteradhesives.com>

4.2.2.2 Groupes de discussion

Des groupes de discussion par gestionnaire de courrier électronique tels que Safety¹⁴¹, AIHAIH-list¹⁴² et HS-Canada¹⁴³ ont été mis à contribution. Un groupe de discussion sur site Web¹⁴⁴, spécialisé dans le domaine des adhésifs a aussi été utilisé ainsi qu'un groupe de discussion Usenet¹⁴⁵ (sci.engr.chem).

4.2.3 Personnes-ressources

4.2.3.1 Fabricants

Plusieurs fabricants d'adhésifs ont été contactés par téléphone :

ALFA Adhesives Inc., North Haledon, NJ (<http://www.simalfa.com>)
Darren Gilmore, 973-423-9266

BF Goodrich, Cleveland, OH (<http://www.bfgsolutions.com>)
Dave Egan, 216-447-5714

Custom-Pak Adhesives, Newark, OH (<http://www.custompak.com>)
800-454-4583

Helmitin Canada Inc., Montréal, QC, Mike Curren, 416-239-3105

Imperial Adhesives Inc., Cincinnati, OH (<http://www.imperialadhesives.com>)
Bill Grammer 513-351-1300; Tom Cox, 800-365-1301 poste 353

3M Canada, London, ON (<http://www.mmm.com>)
Pascal Roberge, 800-265-1840

Nacan Products Ltd, Boucherville, QC (<http://www.nacan.com>)
450-655-2220

PPG Industries Inc., Pittsburgh, PA (<http://www.ppg.com>)
Scott Robbins, 248-641-2116

4.2.3.2 Associations

Les associations industrielles suivantes ont été contactées par téléphone :

Adhesive Society (Virginia), 540-231-7257

¹⁴¹ <http://siri.org>

¹⁴² <http://www.aiha1.org/Committees/CAC/ih-list-FAQ.htm>

¹⁴³ <http://www.cchst.ca/hscanada/hscanada.html>

¹⁴⁴ http://www.adhesivesandsealants.com/content/forums/discussion_home.asp

¹⁴⁵ Le lecteur est référé au site Web suivant pour apprendre à utiliser les « News » ou Nouvelles Usenet :
http://ungi.clg.qc.ca/chap10.htm#_0

Adhesives Manufacturing Association, North Riverside, IL (<http://www.adhesives.org>)
312-644-6610

Association des fabricants d’adhésifs et scellants du Canada, Scarborough, ON
John Martin, 416-431-1330

4.3 Options préliminaires

Les technologies retrouvées peuvent être divisées en trois catégories :

- Les adhésifs contenant des solvants inflammables ou halogénés
- Les adhésifs en phase aqueuse, sans ou avec peu de solvant
- Les thermofusibles, sans solvant

Le tableau XXXVI présente les adhésifs qui ont été proposés par les diverses sources consultées.

Tableau XXXVI
Liste des principales options préliminaires pour remplacer l’adhésif à base de DCM chez Doral*

N°	Nom commercial (fournisseur)	Composition (%)	Source	Remarques
0	Adbond 8706-1 (Adchem, St-Laurent, QC)	Polychloroprène + Dichlorométhane (60-80) + Naphte (CAS : 64742-89-8) (5-10)	Adhésif <u>à remplacer</u> chez Doral	Surexposition des travailleurs Cancérogène soupçonné
1	Adbond DM30145 (Adchem, St-Laurent, QC)	Élastomères synthétiques non spécifiés (polychloroprène + ?) + H ₂ O (45) + β-chloroprène (0,1-1)	Doral	Ininflammable Sans solvant
2	Simalfa 309 (ALFA Adhesives, North Haledon, NJ)	Polychloroprène + copolymère d’ester acrylique + H ₂ O (46)	Domfoam	Ininflammable Sans solvant
3	Fastbond 2000 (3M Canada, London, ON)	<i>Base</i> : Polychloroprène (30-40) + ester de colophane (5-10) + copolymère phénolique et terpénique (5-10) + toluène (< 3) + méthanol (< 2,5) + oxyde de zinc (< 1,25) + H ₂ O (50) <i>Activateur</i> : H ₂ O (80-90) + sulfate de zinc (10-20)	Mike Mueller, Southwest Industrial Supply, Springfield, MO	Ininflammable Peu de solvant Deux composants Équipement spécial
4	Fastbond 100 (3M Canada, London, ON)	Polychloroprène (40-50) + acides résiniques (1-5) + H ₂ O (51-55)	Pascal Roberge, 3M Canada	Ininflammable Sans solvant
5	Boat Carpet Spray AAT-1167 (Advanced Adhesive Technology, Dalton, GA)	H ₂ O (23-27) + Toluène (18-22) + liant non spécifié	Site Web du fabricant (§ 4.2.2.1.3) Gregory P. Wood (800-228-4583)	Point d’éclair non spécifié Quantité appréciable de solvant
6	MA 440 Water Borne Marine Carpet Adhesive (TACC International, Rockland, MA)	H ₂ O (32) + Toluène (6) + polychloroprène	Mike Mueller, Southwest Industrial Supply, Springfield, MO et John Piwnica/Leonard Gilman (TACC, 800-503-6991)	Point d’éclair = 54 °C Peu de solvant
7	CB 2727 Contact Adhesive (TACC International, Rockland, MA)	Heptane (20-50) + acétone (20-50) + liant non spécifié	Mike Mueller, Southwest Industrial Supply, Springfield, MO	Inflammable : point d’éclair = - 20 °C Quantité importante de solvant
8	Bondmaster 40-0626/40-0623 (Nacan, Boucherville, QC)	<i>Base</i> : Polychloroprène + H ₂ O (45) <i>Activateur</i> : acide citrique + H ₂ O (70)	Doral	Ininflammable, sans solvant, deux composants, équipement spécial, activateur corrosif

* Les données présentées sont issues des fiches techniques et signalétiques des adhésifs respectifs

5.0 Évaluation des conséquences de chaque option

Afin d’éviter d’avoir à évaluer les conséquences de l’utilisation de chaque option préliminaire des points de vue SST et environnement, un jugement initial a été porté sur les options préliminaires du tableau XXXVI afin d’une part d’éliminer les adhésifs qui apparaissaient d’emblée inacceptables et d’autre part de tester les autres adhésifs quant à leur acceptabilité technique. C’est ainsi que l’option 7 n’a pas été jugée acceptable en raison de la présence exclusive de solvants inflammables. Cette option aurait nécessité l’installation d’équipements antidéflagrants afin de prévenir les incendies. Cette exigence, couplée à la nécessité d’évacuer mécaniquement les vapeurs de solvants à l’extérieur des locaux de travail aurait été très coûteuse afin de respecter notamment la Norme sur la pulvérisation de matières inflammables ou combustibles (151).

L’option 5, un adhésif contenant une quantité appréciable de toluène ($\approx 20\%$), a quand même été jugée acceptable, étant le premier adhésif « en phase aqueuse » identifié par le comité de substitution et formulé spécifiquement pour le collage de tapis sur les bateaux. Deux autres adhésifs (options 3 et 6) contiennent également des solvants mais en proportions moindres. Ils ont donc été jugés convenables. Les options 1, 2, 4 et 8 sont des adhésifs exclusivement en phase aqueuse, donc acceptables.

Certains fabricants d’adhésifs proposent des produits à base de 1-bromopropane (non listés dans le tableau XXXVI). Les propriétés toxicologiques et écotoxicologiques de ce « nouveau » solvant étant mal connues, il a été décidé de ne pas poursuivre dans cette voie à la lumière de l’expérience de Domfoam (voir l’annexe V).

Les adhésifs thermofusibles sont constitués notamment d’une résine thermoplastique, sans solvant. Ils sont appliqués à l’état fondu et font prise lors du refroidissement. Le repositionnement des pièces encollées et assemblées est difficile. La mise en œuvre exige un équipement dispendieux (voir le § 5.6 de l’annexe V). Le grand nombre de postes de travail chez Doral a milité en faveur du rejet de cette piste de solution (non documentée dans le tableau XXXVI).

En conclusion, les options 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 8 ont été retenues pour les tests.

5.1 Essais en usine et chez les fabricants d’adhésifs

Les résultats des essais ont été communiqués à l’UdeM sans les détails techniques de leurs conditions d’opération.

5.1.1 Option 1

Dans un premier temps, l’adhésif DM30145 avait réussi à coller de façon acceptable la totalité des pièces à assembler (Pierre Hébert, conversation téléphonique, 99/11/02). L’adhésif a cependant gélifié dans son contenant d’origine après quelques semaines suivant sa livraison par le fabricant (Richard Lajoie, conversation téléphonique, 2000/01/11).

5.1.2 Option 2

Des échantillons de divers substrats ont été expédiés au fabricant de l'adhésif Simalfa afin qu'il procède à l'encollage et l'assemblage des pièces et les retourne chez Doral pour vérification de l'adhérence. L'adhésif Simalfa colle adéquatement la majorité des pièces à assembler. Ce produit n'est cependant pas acceptable pour le collage du tapis sur le polyester stratifié à la fibre de verre¹⁴⁶.

5.1.3 Option 3

L'adhésif Fastbond 2000 avait un temps de séchage à la limite de l'acceptabilité. Les résultats des tests d'adhérence sur divers substrats étaient bons. L'application du produit génère cependant un brouillard de particules important, nécessitant l'installation éventuelle d'un système d'aspiration pour maîtriser l'aérosol à chaque poste de travail¹⁴⁷.

5.1.4 Option 4

L'adhésif Fastbond 100 avait un temps de séchage trop long et a donc été jugé inacceptable par Doral¹⁵⁹.

5.1.5 Option 5

Des échantillons de divers substrats ont été expédiés au fabricant de l'adhésif AAT-1167 afin qu'il procède à l'encollage et l'assemblage des pièces et les retourne chez Doral pour vérification de l'adhérence (Lettre de Chad Bradley à Gregory Wood, Advanced Adhesives Technology, Dalton, GA, 99/04/07). Les pièces n'aurait jamais été retournées chez Doral.

5.1.6 Option 6

L'adhésif MA 440 reste à être évalué.

5.1.7 Option 8

L'adhésif Bondmaster 40-0626/40-0623 avait un temps de séchage acceptable. L'évaporation de l'eau sur les substrats tels que le polyester stratifié à la fibre de verre est cependant lente (adhérence maximale \approx 12 h). Cet adhésif nécessite l'utilisation d'un nouvel équipement de pulvérisation dispendieux¹⁵⁹.

En conclusion, aucune des options n'est totalement acceptable. L'option 2 (Simalfa 309) est envisageable si l'on trouve une solution pour le collage du tapis. Le fabricant ALFA Adhesives avait d'ailleurs suggéré à Doral de travailler en collaboration son fournisseur de tapis (Sparta Carpets, Dalton, GA) afin de modifier l'endos en caoutchouc naturel et synthétique du tapis pour le rendre compatible avec son adhésif (Darren Gilmore, ALFA Adhesives, réunion chez Doral, 99/09/08). Les options 3 (Fastbond 2000) et 8 (Bondmaster 40-0626/40-0623) pourraient être

¹⁴⁶ Télécopie de Pierre Hébert (Doral) à Denis Bégin (UdeM) le 99/09/22

¹⁴⁷ Télécopie de Pierre Hébert (Doral) à Chad Bradley (UdeM) le 99/06/21

envisagées moyennant un investissement important pour la ventilation ou l’équipement de pulvérisation.

5.2 Évaluation des conséquences en SST et environnement

L’évaluation des conséquences en SST et environnement n’a pas été réalisée. Doral serait toujours à la recherche d’une autre option de rechange (Linda Normandin, conversation téléphonique, 2000/06/01).

6.0 Comparaison des options

Cette étape n’a pas été réalisée.

7.0 Essais sur le terrain et choix

Une partie de cette étape a été réalisée. Voir le § 5.1.

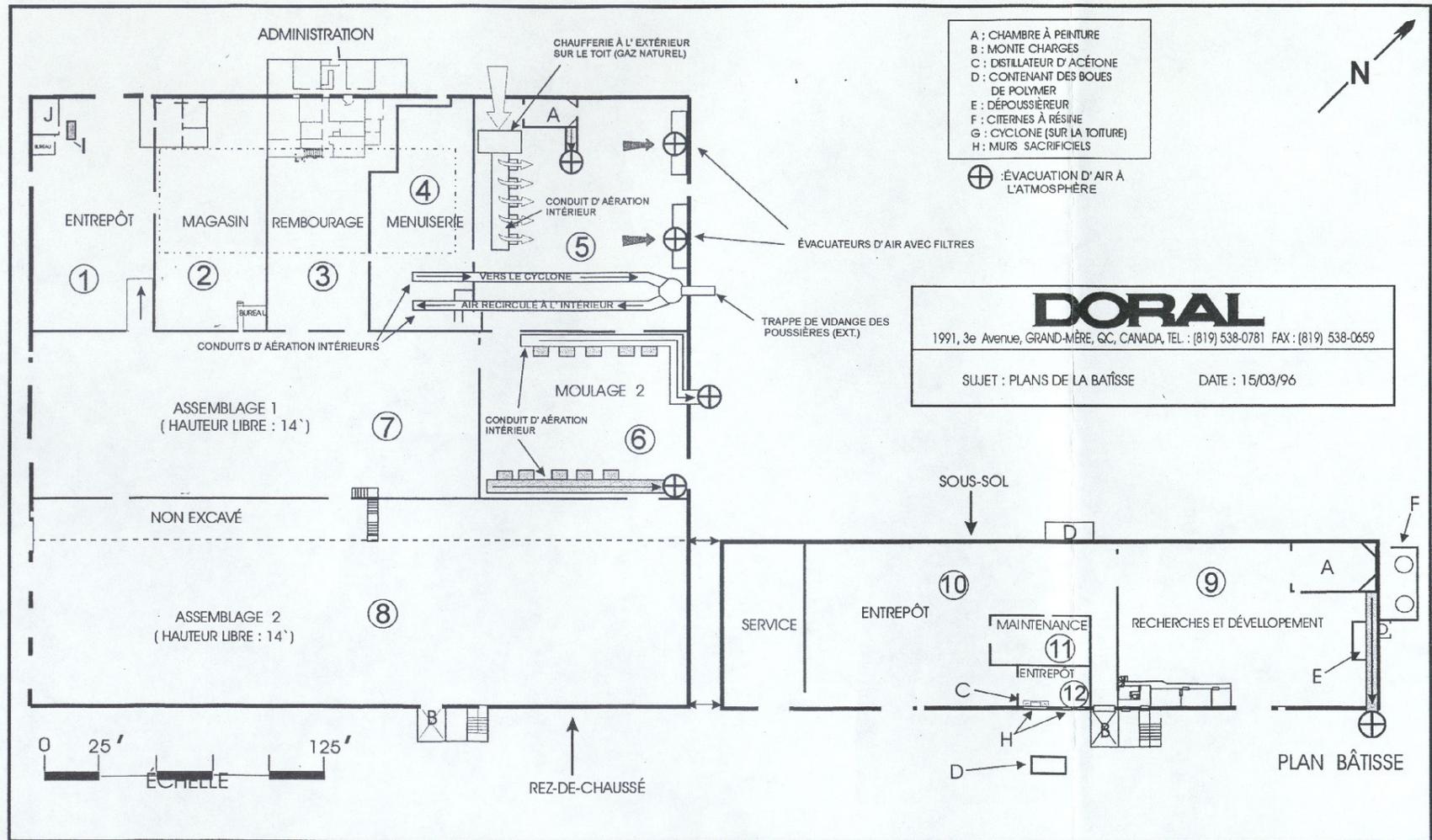
8.0 Implantation

Cette étape n’a pas été réalisée.

9.0 Évaluation et recommandation

Cette étape n’a pas été réalisée.

Figure 5
Plan de l’usine de Doral



Annexe IX

Explication détaillée de la démarche corrigée de la substitution des solvants

Cette démarche est rédigée du point de vue d'un intervenant de l'extérieur de l'entreprise, qu'il soit du secteur privé ou public, appelé à résoudre un cas de substitution de solvant. Toutefois les grandes lignes de la démarche sont également applicables dans le cas d'une prise en charge complète du projet de substitution par l'entreprise elle-même.

Première étape : Identification du problème

L'objectif de cette étape est de circonscrire le problème à résoudre. Cette étape comprend essentiellement l'établissement des premiers contacts avec l'entreprise et la discussion du problème à l'origine de l'idée de substitution d'un solvant. L'entreprise explicite les raisons motivant son désir d'éliminer le solvant incriminé : santé, sécurité, environnement, réglementation, coûts ou autres. Une visite de reconnaissance des locaux de travail est effectuée afin de rencontrer les personnes intéressées comme les ingénieurs, contremaîtres et les travailleurs qui effectuent le travail impliquant le(s) solvant(s) incriminé(s).

Deuxième étape : Formation du comité de substitution

L'objectif de cette étape est d'assurer une assise administrative solide au projet de substitution. Il s'agit de constituer un comité de substitution et de signer une lettre d'entente entre l'entreprise en question et le ou les organismes externes. Le comité de substitution est composé au minimum d'un responsable, idéalement technique, de la compagnie et d'un hygiéniste ou technicien en hygiène industrielle de l'organisme externe. L'inspecteur de la CSSST devrait être invité à participer au comité. De plus l'équipe comprend diverses personnes appelées à s'impliquer de façon ponctuelle comme un contremaître, un délégué des employés, un représentant du service de l'assurance-qualité, une personne du service des achats ou un spécialiste du service des finances de l'entreprise. Les objectifs et la démarche du projet de substitution sont clairement présentés dans la lettre d'entente ainsi que la liste des membres du comité de substitution. L'obtention de l'appui ferme de la *haute* direction de l'entreprise pour la réalisation du projet est essentielle.

Troisième étape : Étude du problème et définition des critères de sélection

Cette étape comprend l'étude détaillée du procédé et des tâches où l'on retrouve le solvant à remplacer. L'annexe I sert de rappel des différents points à contrôler dans la collecte d'information sur le procédé. La littérature apporte un complément d'information pour assurer une compréhension optimale dans le cas des procédés complexes. Le comité de substitution effectue une analyse fonctionnelle du solvant à remplacer, c'est-à-dire se penche notamment sur les raisons de l'utilisation du solvant et sur les procédures de travail. Plusieurs visites d'usine sont nécessaires afin d'observer le procédé et les employés à différents moments. Des interviews d'employés peuvent s'avérer nécessaires afin d'obtenir des renseignements non documentés. Les rapports d'hygiène industrielle pertinents sont étudiés et des mesurages sont effectués au besoin pour documenter les niveaux d'exposition des

travailleurs au solvant à remplacer. Les données quantitatives sur l'utilisation des solvants sont obtenues des services concernés. Cette étape se poursuit par la rédaction d'un texte décrivant le procédé et les méthodes de travail, l'utilisation du solvant et l'exposition des travailleurs. Les critères de sélection d'un nouveau solvant ou d'un changement de procédé sont également définis par le comité de substitution à la lumière des aspects techniques du procédé, des coûts, du cahier des charges des produits finis mais également des facteurs sanitaires, sécuritaires et environnementaux.

Quatrième étape : Proposition d'options de rechange

L'objectif de cette étape est de faire un inventaire aussi large que possible des solutions envisageables. C'est la phase des idées faisant appel à un remue-méninges et une remise en question approfondis. La série d'options, que ce soit des produits de remplacement ou des procédés de substitution, doit être la plus large possible. Cette étape fait appel à une panoplie de sources d'information résumées dans l'annexe X. De nombreuses personnes-ressources sont contactées, notamment le personnel technique de l'entreprise en question et des autres usines affiliées, les travailleurs utilisant les solvants à remplacer, les concurrents, les membres d'associations industrielles et les spécialistes chez les fournisseurs de solvants. Des recherches documentaires sont effectuées dans des bases de données bibliographiques et factuelles, générales et spécialisées. Des recherches dans Internet sur des sites Web en SST mais également en prévention de la pollution sont également effectuées. Des groupes de discussion par Internet dans les mêmes domaines sont aussi mis à contribution. Les logiciels spécialisés peuvent être utilisés pour trouver des pistes de solution si le problème étudié s'y prête. Les § 4.2 des annexes II à VIII donnent le détail de diverses sources d'information spécialisées. Les options sont ensuite sélectionnées sur la base de critères sécuritaires, sanitaires, environnementaux ou techniques évidents, p. ex. inflammabilité du MEK, cancérogénicité du perchloréthylène, destruction de la couche d'ozone par les chlorofluorocarbures, temps de gommage inadéquat d'un adhésif.

Cinquième étape : Essais à petite échelle

Lorsqu'il y a une multiplicité d'options retenue à l'étape précédente, il peut être nécessaire de procéder à la réduction de leur nombre par des tests de laboratoire. Dans certains cas les essais peuvent être effectués directement au poste de travail mais toujours à petite échelle. Un protocole de test est élaboré par le comité de substitution en collaboration avec le laboratoire de R&D ou le service de l'assurance qualité de l'entreprise. Les tests sont effectués en prenant toutes les précautions nécessaires pour éviter une exposition indue des travailleurs par toutes les voies d'absorption. Les options sont alors sélectionnées sur la base de leur aptitude à satisfaire les exigences techniques de l'entreprise.

Sixième étape : Évaluation des conséquences des options retenues

L'objectif de cette étape est de documenter les impacts potentiels des options retenues. Ces dernières sont évaluées quant à leurs conséquences sur les divers facteurs suivants : SST, ergonomie, environnement, qualité technique, coûts, méthode de travail, formation des employés. Une recherche dans les bases de données bibliographiques et les banques de données factuelles est effectuée pour chacune des solutions envisagées. Par ailleurs, les fiches signalétiques et techniques et autre documentation sont obtenues des fournisseurs des solvants et autres produits substitutifs. L'expérience collective d'hygiénistes industriels, ingénieurs et chimistes étrangers est mis à contribution par l'intermédiaire des groupes de discussion dans Internet spécialisés en SST, prévention de la pollution et technologie pour s'enquérir des problèmes potentiels avec les « nouveaux » solvants ou procédés (annexe X). Des visites peuvent être organisées dans des entreprises où le solvant ou le procédé a déjà été mis en œuvre avec succès. Les fournisseurs de solvants peuvent servir de personnes-ressources pour établir ces contacts. Il peut aussi être nécessaire de contacter les clients de l'entreprise afin de discuter de leurs exigences quant au produit fini.

Septième étape : Comparaison des options et choix

L'objectif de cette étape est de comparer les diverses solutions entre elles et avec la situation originale afin de procéder au choix final. L'information est synthétisée de façon à faire ressortir les principaux avantages et inconvénients, par exemple sous la forme de tableaux. La meilleure option est sélectionnée en fonction des critères définis à la troisième étape.

Huitième étape : Implantation

L'objectif de cette étape est de mettre en œuvre la solution retenue. L'entreprise sollicite le support du fournisseur pour la formation des utilisateurs. L'implantation est faite de façon graduelle sur un poste de travail puis sur l'ensemble. L'exposition des travailleurs au nouveau produit est mesurée afin de s'assurer de la salubrité du milieu de travail. Lors de l'implantation, étape essentiellement technique, il faut néanmoins s'assurer de respecter l'ensemble des règles de l'art de l'hygiène et de la sécurité applicables à la nouvelle situation (p. ex. ventilation, protection personnelle). La collecte des commentaires techniques sur l'utilisation d'un nouveau produit ou procédé est effectuée systématiquement par les contremaîtres.

Neuvième étape : Évaluation

L'objectif de cette dernière étape est de mesurer l'atteinte des objectifs de départ et d'apporter possiblement des correctifs. Un bilan des divers aspects reliés à la nouvelle procédure est rassemblé et comprend notamment la qualité technique, les résultats de mesurage de contaminants nouveaux et le bilan de masse des solvants, en comparaison avec la situation originale. La survenue éventuelle de nouveaux problèmes de SST doit être documentée notamment par une surveillance sanitaire.

Annexe X

Sources d'information pour réaliser une substitution de solvant

Les sources d'information listées dans cette annexe servent à la *quatrième* (proposition d'options de rechange) et à la *sixième* (évaluation des conséquences des options retenues) étapes de la démarche de substitution, détaillée dans l'annexe IX. Le rapport de Gérin et coll. (91), maintenant disponible dans Internet¹⁴⁸, constitue encore une source importante d'information à consulter avant de procéder à des recherches plus avancées.

10.1 Littérature traditionnelle

Quatrième étape

ISST : <http://centredoc.csst.qc.ca/>

NIOSH TIC, HSELINE, CISDOC : <http://ccinfoweb.ccohs.ca/>

Bases de données technologiques spécialisées. Pour les identifier, consulter le « Gale Directory of Online, Portable, and Internet Databases » :
<http://library.dialog.com/bluesheets/html/bl0230.html>

Sixième étape

Toxline : <http://igm.nlm.nih.gov/>

RTECS, ChemInfo : <http://ccinfoweb.ccohs.ca/>

HSDB : <http://toxnet.nlm.nih.gov/>

Répertoire toxicologique : <http://www.reptox.csst.qc.ca/>

SOLVDB : <http://solvdb.ncms.org/>

10.2 Littérature grise¹⁴⁹

Quatrième étape

USEPA : <http://www.epa.gov/clariton/clhtml/pubtitle.html>

<http://es.epa.gov/oeca/sector/index.html>

ETBPP : <http://www.etbpp.gov.uk/html/pubs.html>

¹⁴⁸ http://esi25.ESI.UMontreal.CA:80/~begin/la_substitution_des_solvants.htm

¹⁴⁹ Document produit à l'intention d'un public restreint ou spécialisé, en dehors des circuits commerciaux de l'édition et de la diffusion, et non répertorié dans les bases de données bibliographiques.

Sixième étape

Certains instituts européens de recherche en SST publient des études toxicologiques sur les nouveaux solvants. Surveiller notamment « Arbete och Hälsa » (Work and Health) : http://www.niwl.se/ah/default_en.htm

10.3 Personnes-ressources

AIHA : <http://aiha.ags.com/>

Associations industrielles spécifiques au domaine étudié : demander au personnel technique des entreprises ou consulter dans une bibliothèque universitaire le périodique annuel « Associations Canada : an encyclopedic directory » publié par Canadian Almanac & Directory Pub. Co., Toronto, ON

10.4 Internet (Web)

Quatrième étape

Moteurs de recherche généralistes comme AltaVista : <http://www.altavista.com/>

Portails spécialisés en SST :

<http://www.presst.qc.ca>

<http://osh.net/>

Portails spécialisés (exemples dans le domaine du nettoyage de surfaces métalliques)

<http://www.partscleaningweb.com/>

<http://www.nmfrc.org/>

Logiciels :

Solvents Alternatives Guide : <http://clean.rti.org/>

Coatings Alternatives Guide : <http://cage.rti.org/>

Sixième étape

Fiches signalétiques :

FTSS/MSDS : <http://ccinfoweb.ccohs.ca/>

SIRI : <http://siri.uvm.edu/msds/>

MSDS-Search : <http://www.msdssearch.com/>

Répertoire toxicologique par téléphone : (514) 873-6374

10.5 Internet (groupes de discussion)

SST

Safety : <http://siri.uvm.edu/mail/safety/join.html>

OEM-L : <http://occ-env-med.mc.duke.edu/oem/occ-env-.htm>

AIHA ih-list : <http://www.AIHA1.org/Committees/CAC/ih-list-FAQ.htm>

HS-Canada : <http://www.cchst.ca/hscanada/hscanada.html>

Technologiques

Voir <http://tile.net> pour une liste exhaustive des groupes de discussion spécialisés

10.6 Visites d'usine

Les compétiteurs ou entreprises connexes à visiter peuvent être identifiées par l'entreprise étudiée ou par les intervenants du réseau public de SST

10.7 Fournisseurs

Répertoires industriels québécois et canadiens :

Centre de recherche industrielle du Québec : <http://www.icriq.com/>

(Le « Répertoire des produits disponibles au Québec », est aussi disponible en format papier au Centre de documentation de la CSST, 1199, rue de Bleury, Montréal, QC et dans les grandes bibliothèques)

Frasers Canadian Trade Directory : <http://www.frasers.com>

Guide Zipcom des entreprises du Québec : <http://www.tamec.com>

Scott's Directories : <http://www.scottsinfo.com/>

Environnement Canada : <http://www.ec.gc.ca/ozone/altlist/download/altlistf.pdf>

Répertoires industriels étasuniens :

Thomas Register : <http://www.thomasregister.com/>

USEPA : <http://es.epa.gov/vendors/index.html>

<http://www.epa.gov/spdpublic/title6/snap/lists/index.html>

TURI (198) : <http://www.turi.org/HTMLSrc/Publications.html>

10.8 Ressources générales en substitution des solvants

http://hjem.get2net.dk/frode_sorensen/index.htm

<http://es.epa.gov/issds/>

<http://pages.infinit.net/dbmg/> (page Web créée par les auteurs de ce rapport)