Substances chimiques et agents biologiques

Études et recherches

Rapport **R-098**

Substitution des solvants de milieu de travail
Élaboration d'un outil pour l'intervention

Michel Gérin
Denis Bégin

irsst
Université de Montréal

Solidement implanté au Québec depuis l980, 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 nationale du Québec
1995
ISBN: 2-551-13502-8
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 1995

Substances chimiques et agents biologiques

Études et recherches

Rapport **R-098**

Substitution des solvants en milieu de travail
Élaboration d'un outil pour l'intervention

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.

Michel Gérin[1]
Denis Bégin[1]

[1]*Département de médecine du travail et d'hygiène du milieu, Université de Montréal*

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

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

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

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.

RÉSUMÉ

La substitution des solvants en milieu de travail: élaboration d'un outil pour l'intervention

Les solvants sont parmi les substances toxiques que l'on retrouve le plus fréquemment en milieu de travail. La substitution peut servir à remplacer un solvant toxique ou inflammable par un produit moins dangereux. Elle peut aussi consister en un changement de procédé éliminant l'utilisation de la substance. Ce sont maintenant de plus en plus des considérations environnementales qui motivent la substitution (depletion de la couche d'ozone, smog photochimique). L'objectif de cette étude était de produire un bilan de connaissances sur la substitution des solvants. Une enquête dans le milieu industriel québécois a permis d'identifier les besoins prioritaires de substitution (peinture, imprimerie, adhésifs, dégraissage et nettoyage de surfaces métalliques, décapage, polyesters renforcés). Les facteurs critiques d'une analyse de substitution sont la faisabilité technique, la santé et la sécurité du travail, l'environnement, les coûts ainsi que les facteurs humains et organisationnels. Une analyse comparative des dangers entre substances ou procédés s'avère nécessaire mais peut être complexe. Les diverses solutions retrouvées dans la littérature scientifique et technique sont présentées pour les besoins prioritaires. On retrouve notamment l'utilisation de nettoyants alcalins, de terpènes, d'esters de diacides et d'esters dérivés d'huiles végétales, de solvants oxygénés en général, de revêtements à base d'eau ou de poudre, de méthodes physiques de nettoyage et de décapage. Des cas concrets de substitution de solvants sont présentés de façon détaillée. Une démarche préventive valide implique que l'ensemble des méthodes de prévention soit considéré de façon globale.

ABSTRACT

Solvent substitution in the workplace: development of a tool for intervention

Solvents are among the toxic agents that occur most frequently in the workplace. Substitution may help replace a toxic or flammable solvent by a less dangerous substance. It may also consist of a process change eliminating the use of the solvent. Substitution is increasingly motivated by environmental concerns (ozone layer depletion, photochemical smog). The objective of this study was to critically review the current knowledge on solvent substitution. A survey of the industrial sector in Québec permitted to identify priority needs for solvent substitution (painting, printing, glueing, metal cleaning and degreasing, paint stripping, reinforced polyesters). The critical factors in a substitution analysis are: occupational health and safety, environmental concerns, technical feasibility, costs, human and organizational factors. A comparative analysis of hazards due to substances or processes is necessary but may be complex. The various solutions documented in the technical and scientific literature are presented for the principal uses. The main solutions consist of the use of alkaline cleaners, terpenes, dibasic esters, vegetable oil derived esters, oxygenated solvents in general, water-based or powder coatings and physical cleaning and stripping methods. Actual cases of solvent substitution are presented in detail. A valid preventive approach implies that all prevention methods be considered globally.

SOMMAIRE

La substitution des solvants en milieu de travail: Élaboration d'un outil pour l'intervention

1 ORIGINE ET PROBLÉMATIQUE

Les solvants, liquides volatils utilisés pour extraire, dissoudre ou suspendre des substances insolubles dans l'eau, sont parmi les agents agresseurs les plus fréquents en milieu de travail. Historiquement plusieurs solvants parmi les plus dangereux ont été éliminés dans un certain nombre d'applications. Cependant le développement des connaissances en toxicologie amène de nouvelles contraintes sur l'utilisation des solvants. De plus, les effets environnementaux de nombre d'entre eux (depletion de la couche d'ozone, smog photochimique, pollution de l'eau) amènent à une réglementation de plus en plus sévère poussant à leur élimination. Le présent travail, mené avec la collaboration du milieu de la santé et de la sécurité du travail du Québec, visait à faire le point des connaissances dans le domaine de la substitution des solvants. La substitution est définie ici comme 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.

2 UTILISATION, EXPOSITION ET EFFETS

La consommation canadienne de solvants a été estimée en 1991 à 746 Kilotonnes. Par ordre décroissant d'importance, l'on retrouve les hydrocarbures, les alcools, les glycols, les solvants halogènes, les cétones et les esters. Mis à part certains usages non industriels, les quantités les plus importantes se retrouvent, au Québec, dans les utilisations suivantes, par ordre décroissant d'importance: peintures, encres, dégraissage des métaux. Par extrapolation de données obtenues dans d'autres pays, il est possible d'estimer que de 150 000 à 320 000 travailleurs québécois sont exposés aux solvants. Les données publiques indiquent plusieurs situations de surexposition dans divers secteurs d'activité économique. Les solvants sont associés à divers dangers en milieu de travail: incendies et explosions pour certains solvants volatils, effets neurotoxiques aigus et chroniques, irritations de la peau et des muqueuses, hépatotoxicité, reprotoxicité et cancérogénicité dans certains cas. Diverses législations requièrent ou favorisent l'élimination des dangers à la source notamment par la substitution. Du côté environnemental, le 1, 1, 1-trichloroéthane et le CFC-113 sont des substances appauvrissant la couche d'ozone, et dont la disparition du milieu de travail est programmée dans diverses législations. D'autre part de très nombreux solvants contribuent à la formation de smog photochimique et sont l'objet de réglementations de plus en plus strictes sur leur rejet dans l'atmosphère.

3 ENQUÊTES AUPRÈS D'HYGIÉNISTES DU SECTEUR PRIVÉ ET PUBLIC

Lors d'une enquête dans le milieu industriel québécois, une cinquantaine d'intervenants ont été rencontrés. Nous constatons que les solvants sont présents dans presque tous les secteurs d'activité économique, principalement comme dégraissants, dans les peintures et les diluants. Les intervenants sont préoccupés par les risques à la santé et à la sécurité des travailleurs mais aussi par la législation environnementale concernant les solvants. Pour les professionnels du milieu, la problématique de la substitution réside dans la complexité du processus, le temps disponible, les ressources limitées, ainsi que les coûts entraînés. À l'occasion d'une enquête par questionnaire auprès des hygiénistes industriels du réseau public de santé au travail, nous avons recueilli plusieurs cas réels de substitution de solvants, vécus dans des entreprises québécoises. Ces cas se rapportent surtout aux domaines de la peinture, des adhésifs, de l'imprimerie et du dégraissage.

L'ensemble des données sur l'utilisation des solvants, l'exposition professionnelle et les résultats des enquêtes ont permis de cibler un certain nombre d'utilisations prioritaires des solvants au Québec sur lesquelles une recherche bibliographique poussée a été effectuée. D'autre part 260 cas concrets de substitution ont été saisis sous la forme d'une banque de données et sont présentés dans ce rapport.

4 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, la protection de l'environnement, les facteurs économiques ainsi que les facteurs humains et organisationnels. Il faut procéder à une analyse poussée des besoins satisfaits par le solvant que l'on veut éliminer afin de générer une série d'alternatives dont on évaluera puis comparera les conséquences. Certains outils sont disponibles pour aider à trouver des choix techniquement viables et pour comparer les conséquences toxico-environnementales des diverses alternatives. Il apparaît d'autre part que la démarche en entreprise doit être la plus englobante possible, impliquant la participation notamment des travailleurs, des ingénieurs et techniciens.

5 PEINTURES ET ADHÉSIFS

Les esters de diacides, le d-limonène, les acétates, les solvants oxygénés et les éthers de glycol dérivés du propylène glycol sont les solvants les plus couramment utilisés pour la substitution dans le domaine des revêtements. La N-méthylpyrrolidone est employée à cet effet dans le domaine des adhésifs.

Les revêtements substitutifs les plus utilisés sont à base de poudres, à base d'eau ou à haute teneur en solides. Les peintures en poudre sont appliquées surtout sur les métaux. Les revêtements à base d'eau sont très courants dans le bâtiment. Ils sont aussi utilisés sur les métaux, notamment comme revêtements de base et même comme couche de finition. Les revêtements à haute teneur en solides sont utilisés sur les métaux et peuvent être employés sur le bois et le plastique. Les adhésifs substitutifs recommandés sont notamment ceux à base

d'eau et les thermofusibles.

6 IMPRIMERIE

Le procédé offset domine l'industrie de l'imprimerie québécoise qui emploie 34 000 travailleurs. La substitution des solvants en offset vise principalement les nettoyants de presses ainsi que les solutions de fontaine. La solution ayant le plus grand potentiel de réussite tant du point de vue de la santé, de la sécurité que de l'environnement est l'utilisation d'esters d'acides gras dérivés d'huiles végétales pour le nettoyage des presses. Ces nouveaux nettoyants ont été élaborés au Danemark et leur utilisation se répand en Europe. Les solutions de fontaine contiennent généralement de l'isopropanol qui pollue l'atmosphère de travail. L'emploi de nouveaux clichés à sec peut éliminer complètement l'utilisation de la solution de fontaine.

7 DÉGRAISSAGE-NETTOYAGE-DÉCAPAGE

Il existe plusieurs alternatives aux dégraissage des métaux par le 1, 1, 1-trichloroéthaneet le CFC-113 ou par les solvants volatils ou toxiques comme le trichloroéthylène. Les nettoyants alcalins peuvent les remplacer en grande partie. En outre, de nouveaux produits à base de terpènes, d'hydrocarbures aliphatiques peu volatils, d'éthers de glycol ou de N-méthylpyrrolidone semblent également prometteurs. D'autres méthodes de dégraissage font appel à l'eau sous pression, aux fluides supercritiques, à ('electrolyse et à la projection d'abrasifs de diverses natures. Les cas particuliers du nettoyage des instruments de précision et des composants électroniques en cours de fabrication sont également abordés. En ce qui concerne le décapage, le dichlorométhane, toxique, peut être remplacé notamment par des produits à base d'esters de diacides, de N-méthylpyrrolidone ou par des procédés de projection d'abrasifs particulièrement dans le cas de grandes surfaces.

8 LE STYRÈNE DANS LA MISE EN OEUVRE DES POLYESTERS STRATIFIÉS

Les polyesters stratifiés sont mis en oeuvre à partir d'une résine de type polyester insaturé en solution dans le styrène et d'un renfort de fibre de verre. Le styrène sert à la fois de solvant pour la résine et de comonomère pour le durcissement du produit. Certaines alternatives au styrène, par exemple les vinyltoluènes, font l'objet de travaux de développement, mais il reste des incertitudes aux niveaux technique comme toxicologique. D'autres avenues de prévention sont à privilégier dans l'immédiat, notamment les résines dites à faible émission de styrène (LSE), la ventilation et les moules fermés.

9 CONCLUSION

La substitution des solvants est une méthode de choix de prévention primaire, visant à réduire à la source même les dangers auxquels s'exposent les travailleurs. Les approches, outils, sources d'information, pistes et solutions présentés dans ce bilan de connaissances peuvent servir de guide à la décision lors d'une démarche de substitution profitable à la fois pour l'environnement de travail et pour le milieu en général. Cependant les solutions présentées ne

constituent pas systématiquement des recommandations et les agents de prévention doivent exercer une grande prudence dans leur éventuelle implantation, à cause notamment des dangers spécifiques associés à divers moyens de substitution, lesquels sont parfois mal documentés. Des compromis sont souvent nécessaires entre les différents facteurs sanitaires, environnementaux, économiques et humains à considérer. De plus les règles de l'art impliquent que l'ensemble des moyens de prévention soit envisagé dans une optique de complémentarité.

LES AUTEURS

Ce rapport est le résultat d'un travail d'équipe. Le rôle et la contribution spécifique de chacun des auteurs sont précisés ci-dessous.

Michel Gérin, Ph.D.

- professeur titulaire, Département de médecine du travail et d'hygiène du milieu, Université de Montréal;
- directeur du projet;
- contribution: chapitres 1, 4, 12, 13 et 14, annexes 4 et 5.

Denis Begin, M.Sc.

- agent de recherche. Département de médecine du travail et d'hygiène du milieu, Université de Montréal;
- coordonnateur de l'étude;
- contribution: chapitres 1, 2, 6, 13 et 14, annexes 1, 2, 3 et 5

Josée Goupil, B.Sc.

- conseillère en toxicologie, Service Hygiène Environnement Québec, Alcan, Jonquière, Québec;
- collaboratrice du secteur industriel;
- contribution: chapitre 3, annexes 2 et 3

René Garneau, M.Sc.

- assistant de recherche, Département de médecine du travail et d'hygiène du milieu, Université de Montréal;
- contribution: chapitres 5, 11 et 13, annexe 3

Steven Sacks, M.Sc.(A)

- assistant de recherche, Département de médecine du travail et d'hygiène du milieu Université de Montréal;
- contribution: chapitres 7, 8, 9, 10 et 13, annexe 5

LE GROUPE D'APPUI

Dès l'origine, cette étude a bénéficié du soutien d'un groupe d'appui dont le mandat était l'optimisation des contacts entre l'équipe de recherche et le milieu industriel ainsi que le milieu de la santé et de la sécurité du travail du Québec en général. Ce groupe d'appui, dont la composition est précisée ci-dessous, a été consulté à diverses reprises lors du déroulement de cette étude, ce qui a permis un ajustement continu des travaux de l'équipe avec les besoins des divers milieux concernés.

Claude Ostiguy, Directeur du Programme hygiène et toxicologie, Direction des laboratoires, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec. Monsieur Ostiguy présidait le groupe d'appui.

Marc Baril, Directeur de l'information en santé et sécurité du travail, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec.

Daniel Huet, Hygiéniste industriel, IBM Canada Ltée, Bromont, Québec. Monsieur Huet représentait le Comité interentreprises en hygiène industrielle de la région de Montréal dont la demande auprès de l'équipe de l'Université de Montréal a été à l'origine de cette étude.

Richard Lapointe, Chef de service, Toxicologie, Service Hygiène Environnement Québec, Société d'electrolyse et de chimie Alcan, Jonquière, Québec.

Charles Prévost, Conseiller syndical, Service de génie industriel, Confédération des syndicats nationaux.

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 en santé et en sécurité du travail du Québec qui a financé ce projet de recherche, notamment M. Pierre Dussault, Directeur de la recherche externe, qui a facilité la mise en place du projet et M. Claude Ostiguy, directeur du Programme hygiène et toxicologie, qui a présidé le Groupe d'appui;

- les membres du Comité interentreprises en hygiène industrielle de la région de Montréal, dont les préoccupations sont à l'origine de cette étude, notamment Mme Lise Mallette, M. Yves Morissette et M. Daniel Huet;

- les membres du Groupe d'appui au projet déjà cités en préliminaire à ce rapport;

- les diverses entreprises, organismes, associations, équipes de santé au travail du réseau public et leurs représentants qui ont participé aux enquêtes que nous avons entreprises dans le milieu du travail québécois;

- les personnes suivantes rencontrées par Michel Gérin à Copenhague au Danemark et qui ont bien voulu partager leur expérience approfondie de la substitution: Gitte Goldschmidt (Services de santé de Copenhague), Lone Wibroe (Services de santé en entreprise de Copenhague-Est), Frode Sorensen, Hans Jorgen Styrh Petersen et Thomas Jacobsen (Université technique du Danemark) ainsi que Erik Olsen (Institut national de la santé au travail);

- Mme Garette Clark et M. Ben Youcef Megherbi du Centre d'activité du programme industrie-environnement du Programme des Nations unies pour l'environnement à Paris pour leur assistance et leur intérêt dans ce travail;

- M. Léon Anderson, agent de recherche et développement du Centre de recherche industrielle du Québec;

- M. Claude Payette, Directeur général de l'Association sectorielle paritaire de santé et de sécurité du travail, secteur de l'imprimerie et activités connexes.

- Le Fonds de recherche en santé du Québec pour l'octroi d'une bourse de perfectionnement pour Michel Gérin durant son année sabbatique (1994).

- L'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM), unité 88 à Saint-Maurice (France) pour avoir accueilli Michel Gérin pendant son année sabbatique.

DE L'USAGE DE CE RAPPORT

Ce rapport est un bilan de connaissances sur la substitution comme méthode de prévention dans un certain nombre de situations de travail faisant appel à des solvants. Bien qu'il fasse suite à une recherche extensive de la littérature scientifique et technique, l'information contenue n'est pas exhaustive et certains éléments pourront devenir progressivement obsolètes au fur et à mesure de l'évolution dans les domaines scientifique, technique et législatif. Les auteurs se dégagent de toute responsabilité suite à l'utilisation qui peut être faite de tout élément de ce rapport. Ils encouragent les lecteurs à consulter les documents originaux cités dans le texte, lesquels sont accessibles en partie au Centre de documentation de la CSST. D'autre part les sources d'information habituelles, ainsi que celles citées dans le rapport, devront être consultées pour la mise à jour des connaissances dans ce domaine.

Il ne rentrait pas dans les objectifs de ce projet d'effectuer une analyse de la valeur des solutions spécifiques de substitution proposées dans les nombreux documents consultés. Nous n'avons donc pas procédé à une interprétation toxicologique ou environnementale détaillées ni à une évaluation des performances techniques des diverses substances; lorsqu'une information de cette nature se retrouve dans le texte il s'agit généralement des données telles que présentées dans le document source.

Il arrive que des noms de marque, de fabricants ou de fournisseurs soient cités dans le texte car présents dans certains documents originaux. Ceci ne constitue en aucun cas un appui de notre part à utiliser ou non ces produits particuliers. Il faut savoir, par ailleurs, que plusieurs fournisseurs sont souvent à même de procurer des produits relativement équivalents.

Les diverses parties du rapport sont fortement reliées entre elles et nous invitons les lecteurs à consulter l'ensemble du document même lorsqu'ils sont à la recherche d'une information très spécifique. En aucun cas d'ailleurs le rapport ne devrait-il être perçu comme un «livre de recettes». Il doit être vu plutôt comme une solide base de départ permettant d'initier des démarches qui devront cheminer et aboutir en fonction de critères qui peuvent être très divers selon les situations.

La substitution, qu'elle porte sur une substance seulement ou un procédé au complet, est une méthode de prévention potentiellement très efficace aussi bien pour la protection de la santé, de la sécurité que de l'environnement. Simple conceptuellement, elle nécessite cependant une analyse systématique de ses impacts. Nous recommandons donc à nos lecteurs de tenir compte des divers facteurs rentrant dans l'analyse de substitution qui se retrouvent explicités dans le chapitre 4. Rappelons de plus que, bien entendu, la substitution n'est qu'une des méthodes à la disposition du préventeur; ce rapport documente d'ailleurs en de nombreux endroits les limites de cette approche.

Finalement nous faisons appel aux utilisateurs de cet ouvrage pour qu'ils nous communiquent, par écrit, leurs commentaires sur ce travail. La continuation possible et la mise à jour de cette démarche s'en trouveront grandement facilitées.

TABLE DES MATIÈRES

PAGES LIMINAIRES

RÉSUMÉ i

SOMMAIRE

1 Origine et problématique ii

2 Utilisation, exposition et effets ii

3 Enquêtes auprès d'hygiénistes du secteur privé et public iii

4 Analyse de substitution iii

5 Peintures et adhésifs iii

6 Imprimerie iv

7 Dégraissage-nettoyage-décapage iv

8 Le styrène dans la mise en oeuvre des polyesters stratifiés iv

9 Conclusion iv

LES AUTEURS vi

LE GROUPE D'APPUI vii

REMERCIEMENTS viii

DE L'USAGE DE CE RAPPORT ix

TABLE DES MATIÈRES x

LISTE DES TABLEAUX xxix

LISTE DES FIGURES xxxi

LISTE DES ABRÉVIATIONS xxxii

PREMIÈRE PARTIE - SUBSTITUTION DES SOLVANTS: ÉLÉMENTS GÉNÉRAUX

CHAPITRE 1. INTRODUCTION À L'ÉTUDE

1.1 Origine et contexte de l'étude 3

1.2 Problématique 3

1.3 Objectif de l'étude 4

1.4 Description générale des méthodes et structure du rapport 4

1.5 Critères de sélection de la documentation 5

CHAPITRE 2. LES SOLVANTS: UTILISATION, EXPOSITION ET EFFETS

2.1 Utilisation des solvants et exposition professionnelle 7

2.1.1 Définition d'un solvant 7

2.1.2 Utilisation des solvants 7

2.2 Exposition aux solvants 9

2.2.1 La littérature internationale 9

2.2.2 Les données québécoises d'exposition 10

2.2.2.1 Les données de l'IRSST 10

2.2.2.2 Les données de l'Opération Bilan (CPST, 1987) 11

2.3 Situation actuelle: les «nouveaux» solvants 11

2.4 Solvants: sécurité, santé et environnement 13

2.4.1 Solvants et sécurité 13

2.4.2 Solvants et santé 14

2.4.2.1 Toxicité aiguë 14

2.4.2.2 Toxicité chronique 15

2.4.3 Solvants et environnement 15

2.4.3.1 Air 16

2.4.3.2 Eau et sol 17

CHAPITRE 3. ENQUÊTE DANS LES SECTEURS D'ACTIVITÉ ÉCONOMIQUE DU QUÉBEC

3.1 Objectif 19

3.2 Méthodologie 19

3.2.1 Les participants 19

3.2.2 L'information recherchée 19

3.3 Résultats 21

3.4 Conclusion 25

CHAPITRE 4. SUBSTITUTION: BASES THÉORIQUES, MODÈLES ET OUTILS

4.1 Définition, place et historique de la substitution en santé et en sécurité du travail 27

4.2 Substitution et protection de l'environnement 29

4.3 Modèles et outils pour l'analyse de substitution 30

4.3.1 Introduction 30

4.3.2 Approches globales à la substitution 31

4.4 Coûts et facteurs techniques 33

4.5 Facteurs de santé et sécurité du travail 34

4.5.1 Introduction 34

4.5.2 Dangers physiques 35

4.5.3 Utilisation des valeurs limites d'exposition 35

4.5.4 Évaluation toxicologique 36

4.6 Facteurs environnementaux 37

4.7 Facteurs humains et organisationnels 38

4.8 Liste synthétique des facteurs à considérer 39

4.9 Discussion, le choix des alternatives 39

DEUXIÈME PARTIE - LA SUBSTITUTION DES SOLVANTS DANS LES UTILISATIONS PRIORITAIRES

Introduction à la deuxième partie 43

CHAPITRE 5. PEINTURES, VERNIS ET LAQUES

5.1 Introduction 45

5.2 Revêtements à base de solvants 46

5.2.1 Définition des termes et composition 46

5.2.2 Description des liants ou résines 47

5.2.3 Description des solvants 47

5.3 Revêtements substitutifs 49

5.3.1 Les revêtements à base d'eau 49

5.3.2 Les revêtements en poudre 52

5.3.3 Les revêtements à haute teneur en solides 54

5.3.4 Les revêtements réactifs aux rayons ultraviolets (UV) et au faisceau d'électrons (EB) 56

5.3.5 Les revêtements avec CO_2 supercritique (Unicarb^{MD}) 57

5.4 Technologies d'application des revêtements 58

5.4.1 Système de pulvérisation standard 58

5.4.2 Système de pulvérisation sans air ("airless") 60

5.4.3 Système de pulvérisation à air assisté ("air assisted airless") 60

5.4.4 Système de pulvérisation à haut volume et à basse pression (HVPB) 60

5.4.5 Système de pulvérisation électrostatique 60
5.4.6 Autres techniques d'application 62
5.5 Nettoyage de l'équipement de pulvérisation 62
5.6 Substitution et formulation de peintures 62
5.7 Substitution selon le type de produits 64
5.7.1 Peintures automobiles 64
5.7.2 Peintures anticorrosives 65
5.7.3 Peintures pour appareils électroménagers 65
5.7.4 Peintures pour bâtiments 65
5.7.5 Peintures résistantes à la chaleur 66
5.7.6 Peintures pour divers substrats métalliques 66
5.7.7 Vernis pour boîtes et fûts métalliques 67
5.7.8 Vernis pour isolation électrique 67
5.7.9 Revêtements pour meubles 67
5.8 Changement de technologie d'application de revêtements 68
5.9 Conclusion 69

CHAPITRE 6. L'IMPRIMERIE

6.1 Introduction 71
6.2 Les procédés d'impression 71
6.2.1 Offset 71
6.2.2 Sérigraphie 73
6.2.3 Typographie 73
6.2.4 Flexographie 74

6.2.5 Rotogravure 74
6.2.6 Le travail du clicheur 75
6.3 Problématique générale de la substitution des solvants en imprimerie 75
6.4 Description des techniques de substitution 75
6.4.1 Offset 76
6.4.1.1 Les encres 76
6.4.1.1.1 Huile minérale et huile végétale 76
6.4.1.1.2 Encres réactives 76
6.4.1.1.3 Encres solubles dans l'eau 77
6.4.1.2 La solution de fontaine 77
6.4.1.3 La lithographie sans eau ou offset à sec 77
6.4.1.4 Les solvants de nettoyage des presses 79
6.4.1.4.1 Les nettoyants à base d'huile végétale 80
6.4.2 Sérigraphie 81
6.4.2.1 Les encres 81
6.4.2.1.1 Encres à solvant 81
6.4.2.1.2 Encres aqueuses 82
6.4.2.1.3 Encres UV 82
6.4.2.1.4Plastisols 82
6.4.2.2 Les solvants de nettoyage 83
6.4.3 Flexographie 83
6.4.3.1 Les encres 83
6.4.3.1.1 Composition des encres aqueuses 83

6.4.3.1.2 Conversion aux encres aqueuses 84
6.4.3.1.3 Encres réactives 84
6.4.3.2 Les solvants de nettoyage 85
6.4.4 Rotogravure 85
6.4.4.1 Les encres 85
6.4.4.1.1 Encres aqueuses 85
6.4.4.1.2 Encres réactives 86
6.4.4.2 Les solvants de nettoyage 86
6.5 Conclusion 87

CHAPITRE 7. LE DÉGRAISSAGE ET LE NETTOYAGE DES SURFACES MÉTALLIQUES

7.1 Introduction 89
7.1.1 Sujets couverts dans ce chapitre 89
7.1.2 Principaux solvants traditionnels 89
7.1.3 Techniques d'application 89
7.2 Produits de substitution 91
7.2.1 Propriétés recherchées 91
7.2.2 Généralités au sujet des hydrocarbures halogènes 92
7.2.3 Perfluorocarbures 92
7.2.4 Trichloroéthylène, perchloroéthylène 92
7.2.5 HCFC 93
7.2.6 Hydrocarbures aliphatiques 94
7.2.6.1 Hydrocarbures aliphatiques synthétiques 95
7.2.7 Solvants peu volatils 96

7.2.8 Terpènes 96
7.2.9 Alcools et cétones 99
7.2.10 Nettoyants aqueux alcalins 100
7.2.11 Nettoyants aqueux acides 106
7.2.12 Nettoyants semi-aqueux 106
7.2.13 Éthers de glycol 108
7.2.14 N-méthylpyrrolidone 109
7.3 Procédés de substitution 109
7.3.1 Déhuilage thermique sous vide 109
7.3.2 Dégraissage électrolytique 109
7.3.3 Fluides supercritiques 109
7.3.4 Eau à haute pression 110
7.3.5 Projection d'abrasifs 110
7.3.6 Récurage à sec 111
7.3.7 Technologies sans nettoyage 111
7.4 Conclusion 111

CHAPITRE 8. LE DÉGRAISSAGE ET LE NETTOYAGE DES INSTRUMENTS DE PRÉCISION

8.1 Introduction 113
8.2 Produits de substitution 114
8.2.1 HCFC 114
8.2.2 Alcools 115
8.2.3 Perfluorocarbures 115
8.2.4 Hydrocarbures aliphatiques synthétiques 116

8.2.5 N-méthylpyrrolidone 116
8.2.6 Nettoyants aqueux 117
8.2.7 Nettoyants semi-aqueux 119
8.3 Procédés de substitution 120
8.3.1 Nettoyage au plasma 120
8.3.2 Gaz sous pression 120
8.3.3 Fluides supercritiques 121
8.3.4 Rayonnement ultraviolet/ozone 121
8.4 Conclusion 122

CHAPITRE 9. LE NETTOYAGE DES COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

9.1 Introduction 123
9.1.1 Facteurs à considérer 123
9.2 Produits de substitution 125
9.2.1 Eau 125
9.2.2 Nettoyants aqueux 125
9.2.3 Nettoyants semi-aqueux 126
9.2.4 Alcools et cétones 126
9.2.5HCFC 127
9.3 Technologies sans nettoyage 127
9.3.1 Flux hydrosolubles 128
9.3.2 Flux à faible teneur en solides 128
9.3.3 Soudage en atmosphère contrôlée 129
9.4 Modification des procédés de production 132

9.5 Conclusion 132

CHAPITRE 10. LE DÉCAPAGE

10.1 Introduction 133

10.2 Produits de substitution 134

10.2.1 Produits caustiques 134

10.2.2 Solvants aromatiques 134

10.2.3 N-méthylpyrrolidone (NMP) 135

10.2.4 Esters de diacides 136

10.2.5 Autres solvants 137

10.3 Procédés de substitution 138

10.3.1 Projection d'abrasifs 138

10.3.1.1 Généralités 138

10.3.1.2 Plastique 138

10.3. 1.3 Amidon de blé 142

10.3.1.4 Bicarbonate de sodium 143

10.3.1.5 Dioxyde de carbone 146

10.3 1 6 Eau à haute pression 148

10.3.1.7 Eau-glace 150

10.3.2 Méthodes physiques 151

10.3.2.1 Décapage à la chaleur 151

10.3.2.2 Décapage au laser 152

10.4 Conclusion 152

CHAPITRE 11. LES ADHÉSIFS

11.1 Introduction 155

11.1.1 Les utilisateurs 156

11.1.2 Description et composition 156

11.1.2.1 Adhésifs à base de solvants 157

11.2 Adhésifs substitutifs 159

11.2.1 Adhésifs à base d'eau 159

11.2.2 Adhésifs thermofusibles ("Hot melt adhesives") 160

11.2.3 Adhésifs autocollants 161

11.2.4 Adhésifs réagissant au rayonnement ultraviolet (UV) ou au faisceau d'électrons (EB) 162

11.2.5 Adhésifs à haute teneur en solides 163

11.2.6 Liquides réactifs 163

11.2.8 Poudres 164

11.3 Technologies d'application 164

11.4 Cas de substitution 164

11.5 Conclusion 165

CHAPITRE 12. LA FABRICATION D'OBJETS EN POLYESTER STRATIFIÉ

12.1 Introduction 167

12.2 Les procédés de mise en oeuvre des polyesters stratifiés 167

12.2.1 Composition des résines et autres matières premières 167

12.2.2 Les procédés de mise en oeuvre 168

12.2.2.1 Vue d'ensemble des procédés 168

12.2.2.2 Le moulage par contact 168

12.3 Effets toxiques du styrène et exposition professionnelle lors de la mise en oeuvre des polyesters stratifiés 169

12.3.1 Effets toxiques du styrène chez l'humain 169

12.3.2 Exposition professionnelle au styrène lors de la mise en oeuvre des polyesters stratifiés 169

12.4 La substitution du styrène par un autre solvant réactif dans la formulation de la résine 170

12.5 Les autres méthodes de prévention 171

12.5.1 Résines dites à faible émission de styrène 171

12.5.2 Procédé de moulage par transfert de résine 173

12.6 Autres modifications au procédé ou à l'équipement 173

12.7 La ventilation 173

12.8 Conclusion 174

TROISIÈME PARTIE - PRÉSENTATION DE CAS CONCRETS DE SUBSTITUTION DES SOLVANTS

CHAPITRE 13. CAS CONCRETS DE SUBSTITUTION

13.1 Introduction 177

13.2 Index des cas 178

13.3 Cas 180

CONCLUSION GÉNÉRALE

CHAPITRE 14. DISCUSSION ET CONCLUSION GÉNÉRALES

14.1 Introduction 267

14.2 Rappel et discussion des principaux résultats 267
14.2.1 La première partie du rapport 267
14.2.2 Enquêtes et recherches générales 267
14.2.2.1 Enquête dans les secteurs d'activité économique 267
14.2.2.2 Étude de l'exposition aux solvants 268
14.2.2.3 Le contexte législatif 268
14.2.2.4 Les bases théoriques de la substitution 268
14.2.2.5 Une liste des facteurs de l'analyse de substitution 269
14.2.3 Les utilisations prioritaires 269
14.2.3.1 Utilisations non couvertes 269
14.2.4 Principaux résultats dans les utilisations prioritaires 269
14.2.4.1 Spécificité des solutions 270
14.2.4.2 Les grands axes de substitution 270
14.2.4.3 Les grandes tendances 273
14.2.4.4 Information sur les dangers associés aux diverses solutions 273
14.2.4.5 Les solvants chlorés 273
14.2.4.6 Les limites de la recherche documentaire 274
14.2.5 La banque de données de cas 274
14.2.6 Diverses sources d'informations 274
14.3 Conclusion: vers une approche de la substitution 275
14.3.1 Place centrale de l'analyse de substitution 275
14.3.2 Pistes et solutions 275
14.3.3 La primauté du technique 275

14.3.4 Utilisateurs et formulateurs 276

14.3.5 Prudence dans l'implantation de la substitution 276

14.3.6 Complémentarité des méthodes de prévention 277

14.4 Retombées générales, exploitation et prolongement de cette recherche . . 277

ANNEXES

ANNEXE 1. INVENTAIRE ET DESCRIPTION DES SOURCES D'INFORMATION

A1.1 Introduction 281

A1.2 Sources de documents sur support papier 281

A1.2.1 Commission de la santé et de la sécurité du travail 281

A1.2.2 Répertoire toxicologique 281

A1.2.3 Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail 282

A1.2.4 Environnement Canada, Région du Québec 282

A1.2.5 Environnement Canada, Programme de choix environnemental 282

A1.2.6 Conseil canadien des ministres de l'environnement 283

A1.2.7 United States Environmental Protection Agency
Office of Pollution Prevention and Toxics 284

A1.2.8 United States Environmental Protection Agency
Risk Reduction Engineering Laboratory 284

A1.2.9 Industry Cooperative for Ozone Layer Protection (ICOLP) 285

A1.2.10 Toxics Use Reduction Institute (TURI) 285

A1.2.11 Pollution Probe Foundation 286

A1.2.12 Commission nord-américaine de coopération environnementale 286

A1.3 Sources d'information sur support informatique 286

A1.3.1 Bases de données bibliographiques 286

A1.3.2 Babillards électroniques (BBS) 287

A1.3.2.1 Prévention de la pollution et technologie propre 287

A1.3.2.2 BBS d'ordre général en SST 289

A1.3.2.2.1 OSH Exchange 289

A1.3.2.2.2 AIHA BBS 289

A1.3.2.2.3 CTC BBS 289

A1.3.3 Solvent Alternatives Guide (SAGE) 290

A1.4 Personnes-ressources 291

A1.4.1 Ozone 291

A1.4.2 Prévention de la pollution 292

A1.4.3 Personnes-ressources techniques 292

A1.5 Fabricants et revendeurs de solvants 294

ANNEXE 2. ENQUÊTES

A2.1 Enquête auprès des hygiénistes industriels du réseau public de santé au travail du Québec 295

A2.2 Enquête auprès des entreprises et associations 298

ANNEXE 3. ÉLÉMENTS LÉGISLATIFS ET RÉGLEMENTAIRES

A3.1 Introduction générale 301

A3.2 Législation de santé et de sécurité du travail et substitution des solvants 301

A3.2.1 Canada 301

A3.2.1.1 Règlement concernant la sécurité et la santé au travail pris en vertu de la Partie II du Code canadien du travail 301

A3.2.2 Québec 302

A3.2.2.1 Loi sur la santé et la sécurité du travail 302

A3.2.2.2 Règlement sur la qualité du milieu de travail 302

A3.2.2.3 Règlement sur les établissements industriels et commerciaux 303

A3.2.3 États-Unis 304

A3.2.4 Europe 304

A3.2.5 Allemagne 305

A3.2.6 Danemark 305

A3.3 Législation environnementale concernant les solvants 305

A3.3.1 Environnement global 306

A3.3.1.1 Canada 306

A3.3.1.1.1 Loi canadienne sur la protection de l'environnement 306

A3.3.1.1.2 Substances de l'inventaire national des rejets de polluants . . 307

A3.3.1.1.3 Liste des substances d'intérêt prioritaire 307

A3.3.1.1.4 Liste des substances toxiques 307

A3.3.1.1.5 Liste des substances interdites 307

A3.3.1.1.6 Liste pour l'exportation de substances toxiques 307

A3.3.1.2 Québec 307

A3.3.1.2.1 Loi sur la qualité de l'environnement 307

A3.3.1.3 États-Unis 308

A3.3.1.3.1 Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (CERCLA) and Superfund Amendments and Reauthorization Act 308

A3.3.1.3.2 Toxic Substances Control Act (TSCA) 309

A3.3.1.3.3 California Safe Drinking Water and Toxic Enforcement Act . . 309

A3.3.2 Contrôle des émissions atmosphériques 310

A3.3.2.1 Canada 310

A3.3.2.1.1 Loi canadienne sur la protection de l'environnement 310

A3.3.2.1.2 Objectifs nationaux pour la qualité de l'air ambiant 310

A3.3.2.2 Québec 310

A3.3.2.2.1 Loi sur la qualité de l'environnement 310

A3. 3.2.2.2 Règlement sur la qualité de l'atmosphère 310

A3.3.2.3 Montréal 311

A3.3.2.3.1 Loi sur la Communauté urbaine de Montréal 311

A3.3.2.4 États-Unis 311

A3.3.2.4.1 Clean Air Act (CAA) 311

A3.3.3 Appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique 312

A3.3.3.1 Problématique 312

A3.3.3.2 Canada 312

A3.3.3.2.1 Loi canadienne sur la protection de l'environnement 312

A3. 3.3.2.2 Liste des substances réglementées 313

A3.3.3.3 Québec 313

A3.3.3.3.3.1 Loi sur la qualité de l'environnement 313

A3.3.3.4 États-Unis 313

A3.3.3.4.1 Clean Air Act (CAA) 313

A3.3.4 COV et ozone troposphérique 314

A3.3.4.1 Problématique 314

A3. 3.4.2 Canada 314

A3.3.4.3 Québec 315

A3.3.4.4 États-Unis 316

A3.3.4.4.1 CAAA - Title I: Provisions for Attainment and Maintenance of National Ambient Air Quality Standards (Urban Air Pollution) 316

A3.3.5 Réchauffement global - effet de serre 316

A3.3.6 Eau 317

A3.3.6.1 Canada 317

A3.3.6.1.1 Loi sur les pêches 317

A3.3.6.1.2 Loi canadienne sur la protection de l'environnement 317

A3.3.6.2 Québec 317

A3. 3.6.3 Montréal 317

A3.3.6.4 États-Unis 318

A3.3.6.4.1 Clean Water Act (CWA) - 40 CFR Subchapter D (EPA) 318

A3.3.6.4.2 Safe Drinking Water Act (SDWA) - 40 CFR Subchapter D (EPA) 318

A3.3.7 Sols - Déchets 319

A3.3.7.1 Canada 319

A3.3.7.2 Québec 319

A3.3.7.3 États-Unis 319

A3.3.8 Tableau synoptique de la législation environnementale nord-américaine 320

ANNEXE 4. LISTE DE FACTEURS À CONSIDÉRER LORS D'UNE ANALYSE DE SUBSTITUTION DANS LE CAS DES SOLVANTS

A4.1 Introduction 323

A4.2 Santé et sécurité du travail 323

A4.3 Environnement 324

A4.4 Facteurs techniques 325

A4.5 Facteurs économiques 326

A4.6 Facteurs socio-organisationnels 327

ANNEXE 5. STRUCTURE DE LA BANQUE DE DONNÉES DE CAS

A5.1 Introduction 329

A5.2 Dictionnaire des données 331

BIBLIOGRAPHIE 337

INDEX ALPHABÉTIQUE DES PRINCIPAUX SUJETS 359

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Consommation de solvants au Canada en 1991 8

Tableau 2.2 Consommation de solvants au Québec en 1991, par secteur d'utilisation . . 9

Tableau 2.3 Pourcentage des analyses de solvants dépassant la moitié de la norme ou la norme en 1992 au Québec 12

Tableau 3.1 Nombre et type de participants contactés lors de l'enquête, en fonction des secteurs d'activités économiques au Québec 20

Tableau 4.1 Relation santé-environnement et continuum des activités de prévention . . 28

Tableau 4.2 Hiérarchie des méthodes de protection de l'environnement 31

Tableau 5.1 Description des principales résines utilisées dans les peintures et vernis . . 48

Tableau 5.2 Liste des solvants les plus utilisés dans les revêtements aux États-Unis en 1985 50

Tableau 5.3 Quelques exemples des applications des revêtements en poudre 55

Tableau 5.4 Caractéristiques des systèmes de pulvérisation 59

Tableau 5.5 Comparaison de l'efficacité des systèmes de pulvérisation avec ou sans composante électrostatique 61

Tableau 7.1 Consommation des solvants de dégraissage au Canada en 1991 90

Tableau 7.2 Profil du produit de substitution idéal 91

Tableau 7.3 Exemples de produits à base de terpènes actuellement disponibles 98

Tableau 7.4 Exemple des coûts associés à l'adoption d'un nettoyant à base de terpènes 100

Tableau 7.5 Composants typiques des nettoyants aqueux alcalins 102

Tableau 9.1 Comparaison des flux traditionnels aux flux à faible teneur en solides . . 129

Tableau 10.1 Paramètres opérationnels de la projection de plastique 141

Tableau 11.1 Proportion en solvants de quelques adhésifs vendus au Canada 158

Tableau 11.2 Cas de substitution d'adhésifs 166

Tableau 14.1 Principaux procédés de substitution des solvants retrouvés dans les huit secteurs prioritaires 271

Tableau 14.2 Principaux produits de substitution des solvants retrouvés dans les huit secteurs prioritaires 272

Tableau A3.1 Tableau synoptique de la législation environnementale nord-américaine . 321

LISTE DES FIGURES

Figure 6. 1 Illustration des surfaces d'impression par procédé 72

Figure A5. 1 Modèle des données de la banque 330

LISTE DES ABREVIATIONS

AFASC: Association des fabricants d'adhésifs et de scellants du Canada

AIHA: American Industrial Hygiene Association (États-Unis)

ALENA: Accord de libre échange nord-américain

ASP: Association sectorielle paritaire de santé et de sécurité du travail

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (États-Unis)

BACT: Best Available Control Technology

BBS: Bulletin Board Service (babillard électronique)

CAA: Clean Air Act (États-Unis)

CAAA: Clean Air Act Amendments of 1990 (États-Unis)

CAEQ: Classification des activités économiques du Québec

CAS: Chemical Abstracts Service de l'American Chemical Society

CCDP: Classification canadienne descriptive des professions

CCHST: Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail

CCME: Conseil canadien des ministres de l'environnement

CEE: Communauté économique européenne

CERCLA: Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (aussi connu sous le nom de Superfund) (États-Unis)

CFC: Chlorofluorocarbure

CFC-113: Chlorofluorocarbure-113 (1, 1, 2-trichlorotrifluroéthane)

CFR: Code of Federal Regulations (États-Unis)

CIRC: Centre international pour la recherche sur le cancer

CLSC: Centre local de services communautaires

CNUED: Conférence mondiale sur l'environnement et le développement

COV: Composés organiques volatils (attention: la définition de ces composés est différente aux États-Unis (USERA, 1994), au Canada (Environnement Canada, 1992), et au Québec (MEF, 1993).

CRIQ: Centre de recherche industrielle du Québec

CSST: Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec

CTC: Control Technology Center (États-Unis, EPA)

CUM: Communauté urbaine de Montréal

CWA: Clean Water Act (États-Unis)

CWQ: Corridor Windsor-Québec

DBO: Demande biochimique en oxygène

DCO: Demande chimique en oxygène

DHHS: Department of Health and Human Services (États-Unis)

DRHC: Développement des ressources humaines Canada (anciennement Travail Canada)

DSC: Département de santé communautaire (Les DSCs ont été remplacés aujourd'hui par les Directions de la santé publique des Régies régionales de la santé et des services sociaux)

DWPL: Drinking Water Priority List (en vertu du SDWA) (États-Unis)

EB: Electron beam (faisceau d'électrons)

EPA: Environmental Protection Agency (États-Unis)

EVAc: Copolymère éthylène/acétate de polyvinyle

FC: Fluorocarbure (perfluorocarbure)

FR: Federal Register (États-Unis)

FRGME: Federal Republic of Germany Ministry of the Environment

HAP: Hazardous Air Pollutants (en vertu du CAA) (États-Unis)

HCFC: Hydrochlorofluorocarbure

HCFC-22: Hydrochlorofluorocarbure-22 (chlorodifluorométhane)

HCFC-141b: Hydrochlorofluorocarbure-141b (1, 1-dichloro-1 -fluroéthane)

HCFC-225: Hydrochlorofluorocarbure-225 (dichloropentafluropropane)

HFC: Hydrofluorocarbure

HSE: Health and Safety Executive, organisme équivalent à la CSST au Royaume-Uni

HVBP: Haut volume basse pression

IARC: International Agency for Research on Cancer

ICOLP: Industry Cooperative for Ozone Layer Protection (États-Unis)

ICPIC: International Cleaner Production Information Clearinghouse

IMAC: concentration maximale acceptable intérimaire (Santé Canada)

INRP: Inventaire national des rejets de polluants

INRS: Institut national de recherche et de sécurité (France)

IRSST: Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec

ITC: Interagency Testing Committee (États-Unis)

Kb: Indice Kauri-butanol

kHz: Kilohertz

kPa: Kilopascal

kt: Kilotonne

LCPE: Loi canadienne de protection de l'environnement

LUE: Loi sur la qualité de l'environnement du Québec

LRC: Lois refondues du Canada

LRQ: Lois refondues du Québec

LSE: Low styrène emission resins (résines à faible émission de styrène)

MAC: concentration maximale acceptable (Santé Canada)

MACT: Maximum Achievable Control Technology

MAL: Maletekniske Arbejdshygienjniske Luftbekhov. Quantité d'air nécessaire à l'hygiène du travail (Danemark)

MCF: méthyl chloroforme = 1, 1, 1-trichloroéthane

MCL: Maximum Contaminant Level (en vertu du SDWA) (États-Unis)

MCLG: Maximum Contaminant Level Goal (en vertu du SDWA) (États-Unis)

MD: Marque déposée

MEF: Ministère de l'environnement et de la faune du Québec

MEK: Methyl ethyl ketone (méthyléthylcétone)

MIBK: Methyl isobutyl ketone (méthylisobutylcétone)

MIL: Spécification militaire américaine

mm de Hg: millimètre de mercure

NAPL: National Association of Printers and Lithographers (États-Unis)

NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health (États-Unis)

NMP: N-methylpyrrolidone

NO_X: Oxydes d'azote

OCDE: Organisation de coopération et de développement économique

OSHA: Occupational Safety and Health Administration (États-Unis)

Pa: Pascal

PDO: Potentiel de depletion de la couche d'ozone

PME: Petite et moyenne entreprise

PMS: p-Méthylstyrène

PNUE: Programme des Nations unies pour l'environnement

psi: pounds per squre inch (livres par pouce carré)

PVAc: Acétate de polyvinyle

PVC: Chlorure de polyvinyle

RCRA: Resource Conservation and Recovery Act (États-Unis)

RSJ: Région de St-Jean

RTM: Resin Transfer Molding (moulage par transfert de résine)

SACO: Substances appauvrissant la couche d'ozone

SAGE: Solvent Alternatives Guide

SARA: Superfund Amendments and Reauthorization Act (États-Unis)

SBR: Styrène butadiene rubber. Caoutchouc de styrène butadiene

SDWA: Safe Drinking Water Act (États-Unis)

SMC: Sheet Molding Compound

SMCL: Secondary Maximum Contaminant Level (en vertu du SDWA) (États-Unis)

SNAP: Significant New Alternatives Program (États-Unis, EPA)

SSPC: Steel Structures Painting Council (États-Unis)

TGIC: Isocyanurate de triglycidyle

THF: Tétrahydrofuranne

TLV^{MD}: Thershold limit value. Valeur limite d'exposition recommandée par l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (États-Unis)

TSCA: Toxic Substances Control Act (États-Unis)

TURI: Toxics Use Reduction Institute (États-Unis)

UNEP IEPAC: United Nations Environment Programme, Industry and Environment Programme Activity Centre (Paris)

USEPA: United States Environmental Protection Agency (États-Unis)

UV: Radiation ultraviolette

VHR: Vapour Hazard Ratio

VIF: Vallée intérieure du Fraser

VLE: Valeur limite d'exposition

VT: Vinyltoluène

Première partie

Substitution des solvants: éléments généraux

CHAPITRE 1. INTRODUCTION À L'ÉTUDE

1.1 ORIGINE ET CONTEXTE DE L'ÉTUDE

La Loi sur la santé et la sécurité du travail du Québec prône l'élimination à la source même des dangers pour la santé, la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs (Gouvernement du Québec, 1986). La substitution est un instrument privilégié d'élimination des dangers à la source.

Un pressant besoin de recherche et de développement dans ce domaine a amené le Comité interentreprise en hygiène industrielle de la région de Montréal à contacter en mars 1992 l'équipe de recherche en toxicologie industrielle de l'Université de Montréal sur cette question. Le comité interentreprise regroupe les hygiénistes industriels de plusieurs grandes compagnies manufacturières représentant divers secteurs économiques de la région métropolitaine. L'équipe universitaire a proposé un projet d'étude qui a reçu l'appui du comité. L'équipe s'est ensuite enrichie de l'apport de Mme Josée Goupil de la compagnie Alcan, entreprise qui avait engagé certains travaux sur le même thème. Le projet d'étude, appuyé également par le réseau public de santé au travail, a été soumis à l'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec et financé à partir de juillet 1993 pour une période de dix-huit mois par cet organisme.

Le soutien apporté par les diverses parties, y compris la partie syndicale, s'est manifesté par la création d'un groupe d'appui avec lequel l'équipe de recherche a été en interaction à diverses étapes du projet.

1.2 PROBLÉMATIQUE

Les solvants sont une classe de substances très largement utilisées dans la grande majorité des secteurs d'activité économique où ils jouent des rôles très divers, notamment pour le nettoyage ou le dégraissage de divers produits en cours de fabrication et comme véhicules pour pigments, teintures et résines synthétiques dans les produits de revêtement et les adhésifs. Leur présence dans de nombreux milieux de travail combinée avec le potentiel toxique et inflammable d'un grand nombre de ces solvants rend primordiale l'adoption de mesures de prévention afin d'éviter le développement de maladies professionnelles ou d'accidents du travail. Historiquement la substitution a été fréquemment utilisée pour remplacer un solvant par un autre moins dangereux au fur et à mesure du développement des connaissances, en toxicologie notamment, résultant en des normes plus strictes à respecter ou en l'interdiction de certains solvants. Ainsi le benzène a été remplacé par le toluène dans les peintures, le tétrachlorure de carbone a été remplacé par le trichloroéthylène dans le dégraissage des métaux, lequel a été lui-même substitué plus récemment par le 1,1,1-trichloroéthane également pour des raisons de santé au travail. Dans le nettoyage à sec le tétrachloroéthylène s'est substitué aux essences minérales inflammables. La substitution peut également consister à changer le procédé, en le remplaçant par un autre qui n'utilise pas de solvant.

Les raisons de santé et de sécurité du travail vont certainement continuer d'être à l'origine de substitutions de solvants. La substitution est alors vue comme une technique de choix de prévention à la source et répond en cela à l'objectif premier de la Loi sur la santé et la sécurité du travail. Or depuis quelques années des considérations environnementales viennent s'ajouter aux considérations de santé et de sécurité du travail comme justifications pour la substitution de solvants. Les solvants en effet contribuent de façon appréciable à l'appauvrissement de la couche d'ozone (solvants halogènes), à la formation de smog urbain et d'ozone troposphérique (hydrocarbures) ainsi qu'à la contamination des eaux et des sols. Ainsi la législation environnementale contraint les entreprises à envisager le remplacement de diverses catégories de solvants par des produits de substitution ou à utiliser des procédés sans solvant. Cependant la substitution «verte» ne doit pas se faire au détriment de la santé ni de la sécurité des travailleurs. Par exemple l'utilisation de solvants de type Stoddard à la place du 1, 1, 1-trichloroéthane (destructeur de la couche d'ozone) pour le dégraissage des métaux peut soit augmenter le risque d'accident à cause de son inflammabilité, soit entraîner des problèmes ergonomiques à cause de son application à la brosse.

Quel que soit le motif à la base de la volonté de substitution, d'autres facteurs doivent évidemment être pris en considération à savoir la faisabilité technique et les coûts. Ainsi une analyse complète de substitution englobe les quatre facteurs suivants: santé et sécurité du travail, environnement, acceptabilités technique et économique.

Face aux problèmes énoncés ci-dessus et aux exigences réglementaires nouvelles, les responsables de la santé et sécurité du travail en entreprise se doivent de développer des stratégies de substitution adéquates pour les solvants. Or ceux-ci ne disposent pas nécessairement d'une information complète et pertinente pour l'élaboration de ces stratégies. Il n'existe en effet aucun document qui fasse le bilan de cette problématique et qui permette d'orienter l'action de substitution.

1.3 OBJECTIF DE L'ÉTUDE

L'objectif de cette étude était de produire un bilan de connaissances dans le domaine de la substitution des solvants en terme d'impact sur la santé et la sécurité du travail et d'élaborer un outil d'intervention offrant un modèle d'approche des problèmes de substitution et des solutions applicables au milieu québécois.

1.4 DESCRIPTION GÉNÉRALE DES MÉTHODES ET STRUCTURE DU RAPPORT

Afin de répondre à l'objectif de produire un bilan de connaissances adapté au contexte québécois et fournissant des outils pour l'intervention, l'étude a été effectuée en trois grandes phases successives et complémentaires. La première phase visait à produire un inventaire de l'utilisation des solvants et des besoins de substitution qui y sont associés au Québec, et ce, afin de pouvoir identifier les utilisations des solvants sur lesquelles faire porter en priorité les recherches approfondies dans la littérature scientifique et technique. Pour arriver à ces fins une enquête a été réalisée auprès d'hygiénistes industriels du secteur privé. Ainsi le troisième chapitre présente les résultats de l'enquête menée dans divers secteurs d'activité économique

lors de contacts établis avec des entreprises et associations. De plus des données de nature générale sur l'utilisation des solvants et les niveaux d'exposition professionnelle ont été rassemblées à partir de la littérature internationale et de bases de données locales.

La deuxième phase de l'étude visait à constituer une base documentaire approfondie dans les divers secteurs d'intérêt: les bases théoriques de la substitution, les utilisations prioritaires identifiées dans la première phase ainsi que le contexte juridique. La section qui suit présente les critères qui ont été utilisés pour la sélection de la documentation. Cette étude a également bénéficié de l'apport de spécialistes de divers milieux gouvernementaux, universitaires comme privés qui ont été consultés au Québec, dans le reste du Canada ainsi qu'à l'étranger.

La troisième grande phase de cette étude a consisté à synthétiser l'information dans le rapport sous une forme qui soit accessible aux intervenants de façon souple selon leurs besoins. Le rapport est divisé en trois parties. La première partie présente des généralités sur les solvants et la substitution: utilisation, exposition, effets, inventaire des besoins de substitution, bases théoriques et analyse de substitution. La deuxième partie consiste en une série de chapitres présentant dans le détail les solutions publiées dans la littérature pour les diverses utilisations prioritaires des solvants au Québec. Finalement la troisième partie détaille sur papier quelques 260 cas particulièrement précis de substitution qui ont été saisis dans la structure d'une base de données au fur et à mesure de la consultation de la littérature ainsi que lors d'une enquête auprès d'hygiénistes industriels du secteur public. Cette dernière a permis de recueillir quelques cas concrets de substitution de solvants réalisés dans des entreprises québécoises. Le questionnaire ayant servi à cette enquête se retrouve en annexe. Divers éléments complémentaires d'information sont également présentés en annexe notamment le contexte législatif et réglementaire ainsi qu'un inventaire des sources d'information.

1.5 CRITÈRES DE SÉLECTION DE LA DOCUMENTATION

Nous avons effectué une recherche documentaire dans diverses bases de données bibliographiques. Plusieurs organismes de recherche en santé au travail et en environnement ont été contactés afin de recueillir de la documentation non répertoriée dans les banques de données habituelles et que nous qualifions de littérature «grise». Nous avons obtenu plus de cinq cent articles et monographies traitant de près ou de loin de la substitution des solvants. La majorité des sources d'information consultées pour obtenir l'ensemble de la documentation sont présentées dans le chapitre sur l'inventaire et la description des sources d'information (voir l'annexe 1).

Les documents cités dans le présent rapport ont été choisis en fonction de critères définis à l'avance. Les documents retenus sont de nature diverse:

- les documents de nature générale sur l'utilisation des solvants industriels et l'exposition professionnelle à ces substances;
- les documents portant sur la démarche, le processus et l'analyse de substitution;
- les cas concrets, documentés, de substitution de solvants dans les secteurs prioritaires de cette recherche;

- les documents techniques traitant de la fabrication ou de l'utilisation des produits contenant des solvants (peinture, encre, adhésif, nettoyant et dégraissant de métaux, décapant, résine de polyester stratifié à la fibre de verre);
- les documents techniques traitant des solvants de substitution ou des produits de substitution sans solvant;
- les documents techniques traitant des procédés d'utilisation plus efficaces des solvants ou des produits en contenant;
- les éléments traitant de substitution des substances toxiques dans la législation de santé et de sécurité du travail au Québec, au Canada et dans d'autres pays;
- les éléments traitant de substitution des substances toxiques dans la législation environnementale du Québec, du Canada et des États-Unis d'Amérique, et particulièrement concernant la suppression des substances appauvrissant la couche d'ozone et les composés organiques volatils. D'autres lois et règlements ont été inclus lorsque cela pouvait avoir des conséquences sur la substitution des solvants.

Nous n'avons pas retenu les documents traitant uniquement des questions suivantes:

- la toxicité des solvants sauf dans le cas de certains «nouveaux» solvants de substitution tels que le d-limonène ou pour mettre en garde le lecteur dans la mise en oeuvre de certaines solutions de substitution, notamment dans le cas des encres UV;
- l'utilisation et l'exposition professionnelle à un solvant particulier dans une industrie ciblée, sauf pour le styrène dans l'industrie du plastique renforcé à la fibre de verre;
- la publicité sur un solvant portant un nom de marque.

CHAPITRE 2. LES SOLVANTS: UTILISATION, EXPOSITION ET EFFETS

2.1 UTILISATION DES SOLVANTS ET EXPOSITION PROFESSIONNELLE

Ce chapitre a pour objectif de dresser un portrait sommaire de l'utilisation des solvants au Canada et de l'exposition des travailleurs à ces agresseurs au Québec à partir de la littérature et de bases de données. La dernière section aborde également la problématique de la sécurité des solvants et de leurs effets sur la santé et l'environnement.

2.1.1 Définition d'un solvant

En terme général, un solvant est une substance qui sert à dissoudre une autre substance. Dans le contexte industriel, l'on se limite aux solvants organiques, c'est-à-dire ceux qui contiennent au moins un atome de carbone dans leurs structures moléculaires. D'après Cohr, un solvant organique est un composé chimique ou mélange qui est liquide entre 0° et 250°C approximativement, qui est volatil et relativement inerte chimiquement. Les solvants sont utilisés industriellement pour extraire, dissoudre ou suspendre des substances insolubles dans l'eau (Cohr, 1985). Le concept de solvant organique ne doit pas être confondu avec celui de COV que l'on retrouve dans la réglementation environnementale visant à protéger la qualité de l'atmosphère. Le terme solvant a une dimension utilitaire alors que les COV sont définis en terme de réactivité photochimique dans l'atmosphère et de tension de vapeur minimale, généralement autour de 13,3 Pa (soit 0,1 mm Hg) à 25°C (Environnement Canada, 1992).

2.1.2 Utilisation des solvants

La consommation canadienne de solvants a été estimée en 1991 à 1 331,1 kt (Camford, 1991). Ce chiffre doit être diminué à 746,4 kt si l'on exclut l'utilisation des solvants comme réactifs notamment dans la synthèse du toluène à partir du benzène. Le tableau 2.1 présente les quantités des solvants les plus importants utilisés au Canada. Les valeurs de ce tableau comprennent l'utilisation du méthanol (42 kt) dans les liquides lave-glaces, de l'éthylène glycol (90 kt) comme liquide de refroidissement et du methyl isobutyl carbinol (3,7 kt) comme agent tensioactif de flottation dans l'industrie minière. La grande majorité des autres solvants comptabilisés ici sont utilisés pour des usages compatibles avec notre définition de solvant.

L'utilisation annuelle des solvants au Québec se chiffrait pour la même année à 138,5 kt. Le tableau 2.2 donne la répartition des quantités de solvants consommés par secteur d'utilisation pour les domaines les plus importants.

Si l'on élimine l'utilisation comme antigel (éthylène glycol) et liquides de lave-glaces (méthanol), les plus grandes quantités de solvants sont consommées dans les peintures, les encres et le dégraissage des métaux. Les autres sources d'information consultées confirment ces constatations (Berselli, 1993; Statistique Canada, 1993).

Tableau 2.1

Consommation de solvants au Canada en 1991

Type de solvant	kt[1]	Type de solvant	kt[1]
Hydrocarbures	317.3	Solvants halogènes	56,6
Naphta	161,0	Chlorofluorocarbures	17,2
Xylènes	56,0	1,1,1-Trichloroéthane	16,0
Toluène	52,0	Tétrachloroéthylène	12,0
Aromatiques lourds	20,0	Dichlorométhane	8,2
n-Hexane	15,8	Trichloroéthylène	3,2
Alcools	**186, 8**	**Cétones**	**32, 2**
Méthanol	131,0	Acétone	16,0
Éthanol	28,5	Méthyléthylcétone	11,0
Isopropanol	20,0	Méthylisobutylcétone	5,2
Méthylisobutyl carbinol	3,7	**Esters**	**16,7**
Butanols	3,6	Acétate d'éthyle	6,3
Glycols	**120, 9**	Acétate de butyle	5,4
Éthylène glycol	104,0	Acétate de propyle	4,0
Propylène glycol	10,8	Autres esters	1,0
Éthers de glycol et leurs esters	6,1		
Total			**746,4**

(tiré de Camford, 1991)

[1]Les totaux ne correspondent pas tous à la somme des quantités des solvants de chaque catégorie, certains d'entre eux ayant été omis par soucis de concision.

Tableau 2.2

Consommation de solvants au Québec en 1991, par secteur d'utilisation

Secteur d'utilisation	kt
Peintures	40,8
Antigel	20,3
Encres	13,0
Liquides lave-glaces	9,5
Dégraissage de métaux	7,3
Produits domestiques	6,9
Divers	6,4
Produits de beauté	3,3
Formulation d'aérosols	3,3
Agent gonflant	3,2
Extraction d'huiles naturelles	2,8
Adhésifs	2,5
Nettoyage à sec	2,5
Industrie de l'alimentation	2,3

(tiré de Camford, 1991)

2.2 EXPOSITION AUX SOLVANTS

2.2.1 La littérature internationale

Il n'existe pas de données permettant de déterminer globalement le nombre de travailleurs québécois exposés aux solvants. Nous avons tenté d'estimer ce nombre à partir de données américaines et Scandinaves.

Le National Institute for Occupational Health and Safety (NIOSH) a estimé à 9,8 millions le nombre de travailleurs exposés aux solvants par voie aérienne et cutanée dans une étude effectuée entre 1972 et 1974 (NIOSH, 1987). Si nous extrapolons ces données au Québec d'aujourd'hui en prenant en compte le rapport des populations, quelques 320 000 travailleurs seraient exposés aux solvants dans notre province (population des États-Unis en 1973 = 210

410 000, population du Québec en 1992 = 6 925 200).

Une enquête suédoise a permis de déterminer le pourcentage d'employés exposés aux solvants par secteurs industriels (Nilsson, 1980). En ne prenant en compte que les secteurs pour lesquels il y avait plus de 10 % des travailleurs exposés et en appliquant ces pourcentages au nombre total de travailleurs québécois par secteur industriel, nous avons obtenu le chiffre de 150 000 travailleurs exposés aux solvants au Québec. Ce chiffre sous-estime probablement la réalité car il nous a été impossible d'évaluer le nombre de travailleurs dans certaines branches industrielles. Nous estimons donc que le nombre de travailleurs québécois exposés aux solvants se situe entre 1 50 000 et 320 000.

Il est généralement reconnu dans la littérature d'hygiène industrielle que les expositions fortes aux solvants ont tendance à se produire chez les utilisateurs de solvants par opposition aux fabricants. En effet, le Health and Safety Executive (HSE) (Parker, 1989) présente ainsi les situations causant des problèmes d'exposition aux solvants en les divisant en cinq grandes catégories:

- Application de revêtements (notamment l'application de revêtements de caoutchouc à l'aide de toluène, l'application d'un revêtement de fibre de verre avec du styrène);
- Immersion (notamment l'utilisation de dichlorométhane pour le décapage des meubles);
- Nettoyage (notamment l'utilisation de chiffons imbibés de solvants);
- Application de peintures (particulièrement le peintre mobile sur de grandes surfaces où l'évaporation du solvant est intentionnelle);
- Pulvérisation (notamment les adhésifs).

Une enquête danoise sur l'utilisation et l'exposition aux solvants (Olsen, 1990; Seedorff, 1990) a permis de constater que la surexposition des travailleurs était plus fréquente dans les procédés d'application de peinture par pulvérisation, le nettoyage manuel et mécanique incluant le dégraissage et la mise en oeuvre des polyesters stratifiés à la fibre de verre.

2.2.2 Les données québécoises d'exposition

Les résultats de l'évaluation de l'exposition professionnelle aux solvants effectuée par les compagnies elles-mêmes ne sont pas du domaine public. En conséquence, les seules données disponibles sont celles générées par les équipes de santé au travail du réseau public (ex-DSC, CLSC), notamment dans le cadre de l'élaboration des programmes de santé au travail en vertu de la Loi sur la santé et la sécurité du travail.

2.2.2.1 Les données de l'IRSST

L'IRSST effectue toutes les analyses environnementales pour le réseau public de santé au travail. Un sommaire des résultats d'analyses est publié annuellement (Cammarata, 1994). Le tableau 2. 3 donne le pourcentage des résultats d'analyses

dépassant la norme et la moitié de la norme en vigueur alors au Québec, pour les données de 1992 et ce, pour les solvants les plus problématiques dans les secteurs prioritaires pour la CSST.

L'IRSST indique à juste titre que les résultats présentés doivent être interprétés avec prudence puisque la représentativité des périodes échantillonnées et le type de prélèvement (poste fixe ou échantillonnage personnel) ne sont pas disponibles pour l'interprétation des résultats (Cammarata, 1994).

Enfin, l'adoption récente des nouvelles normes sur la qualité du milieu de travail (Gouvernement du Québec, 1994) affecte à la baisse les niveaux d'exposition admissibles pour le styrène, le dichlorométhane, le trichloroéthylène et la méthyléthylcétone de sorte que les pourcentages devraient être revus à la hausse.

2.2.2.2 Les données de l'Opération Bilan (CPST, 1987)

L'Opération Bilan des DSC du Québec en 1987, visait à dresser le portrait de l'ensemble du travail effectué par les intervenants du réseau public de santé au travail depuis la dernière réforme du régime de santé et de sécurité du travail de 1979. L'Opération Bilan a permis de déterminer que sur un total de 6 443 entreprises dans les groupes prioritaires de la CSST en 1987, 1 009 entreprises avaient des programmes de santé dont la priorité d'intervention était attribuée aux solvants, soit 16 %. Les secteurs industriels dont la proportion d'entreprises était la plus importante en terme de priorité d'intervention reliée aux solvants par ordre décroissant sont les suivants: industrie du matériel de transport (37 % des entreprises), industrie des produits en caoutchouc et matières plastiques (36 %), industrie chimique (32 %), industrie du bois (21 %), industrie de la fabrication des produits métalliques (20 %).

2.3 SITUATION ACTUELLE: LES «NOUVEAUX» SOLVANTS

Les chiffres présentés sur l'utilisation des solvants en 1991 et ceux présentés sur l'exposition aux solvants en 1992 ne peuvent être considérés comme des données immuables. En effet, plusieurs facteurs nous permettent de croire que la situation de l'utilisation des solvants et de l'exposition professionnelle aux solvants dans la deuxième moitié de la présente décennie sera passablement modifiée.

Mentionnons d'abord les directives internationales concernant les substances appauvrissant la couche d'ozone. Ces mesures législatives ont pour effet de faire diminuer considérablement l'utilisation du CFC-113 et du 1,1,1-trichloroéthane.

L'intégration accrue des marchés en Amérique du Nord, suite à l'entrée en vigueur de l'Accord de libre échange nord-américain (ALENA) le 1er janvier 1994 a eu comme conséquence directe que les utilisateurs canadiens de produits chimiques ont tendance à s'approvisionner plus souvent qu'auparavant aux États-Unis. Les produits contenant des solvants en provenance de nos voisins du sud n'étant plus soumis à des tarifs douaniers, nous importons de plus en plus

de peintures et autres matières assimilées à base de solvants (Dufour, 1994).

Tableau 2.3

Pourcentage des analyses de solvants dépassant la moitié de la norme ou la norme en 1992 au Québec

Secteur industriel / solvant	Nombre d'analyses	% > ½ norme	% > norme
Industrie des produits en caoutchouc et en matières plastiques			
Styrène	311	41	16
Dichlorométhane	75	14	7
Toluène	176	11	4
Industrie du bois			
Toluène	159	17	6
Industrie de première transformation des métaux			
Solvant Stoddard	43	25	9
Industrie de fabrication des produits métalliques			
Trichloroéthylène	87	36	27
Toluène	248	24	12
Industrie du matériel de transport			
Styrène	50	74	38
Toluène	69	38	13
Benzène	63	27	16
1, 1, 1-trichloroéthane	29	24	10
Industrie chimique			
Méthanol	74	50	31
Toluène	290	20	7
Butanol	66	13	11
Dichlorométhane	200	15	4
Méthyléthylcétone	115	11	6
Industrie du transport et de l'entreposage			
Solvant Stoddard	36	31	3

(tiré de Cammarata, 1994)

D'autre part, les lois environnementales récentes, principalement aux États-Unis, ont des conséquences directes sur la composition des peintures, encres et nettoyants à métaux. Ces produits se retrouvent en quantité croissante au Canada. Ainsi des solvants tels que le d-limonène pour le dégraissage des métaux, la N-méthylpyrrolidone pour le décapage et plusieurs éthers de glycol basés sur le propylène ainsi que leurs acétates font leur apparition sur le marché (Kirschner, 1994). La plupart de ces «nouveaux» solvants n'étant pas réglementés au Québec en vertu du *Règlement sur la qualité du milieu de travail,* les intervenants du réseau public de santé au travail ne possèdent pas les techniques d'échantillonnage et d'analyse pour évaluer l'exposition des travailleurs. Ces solvants ne sont donc pas comptabilisés dans les banques de données d'hygiène industrielle. En résumé, le portrait de l'exposition des travailleurs québécois aux solvants est en évolution rapide et se reflète mal dans les données d'échantillonnage disponibles actuellement.

2.4 SOLVANTS: SÉCURITÉ, SANTÉ ET ENVIRONNEMENT

Cette section a pour objectif de traiter sommairement de la sécurité des solvants ainsi que des divers effets de ceux-ci sur la santé et l'environnement. Le lecteur désireux d'approfondir le sujet est prié de se référer aux publications citées dans le texte.

2.4.1 Solvants et sécurité

La volatilité est une qualité commune et voulue des solvants. Pensons aux solvants contenus dans les peintures, encres, adhésifs et dégraissants de métaux qui doivent nécessairement s'évaporer une fois le travail accompli. Les principales caractéristiques physico-chimiques concernant la volatilité des solvants sont les suivantes:

- point d'ébullition;
- tension de vapeur;
- taux d'évaporation.

Or la volatilité des solvants peut être une source de danger pour la sécurité de ceux qui les manipulent. Ainsi, les caractéristiques physico-chimiques à surveiller concernant l'inflammabilité des solvants sont les suivantes:

- point d'éclair;
- limites inférieure et supérieure d'inflammabilité et d'explosibilité.

De plus, les solvants peuvent aussi s'enflammer spontanément s'ils sont chauffés. La caractéristique à surveiller ici est la suivante:

- température d'auto-ignition.

Chacune de ces caractéristiques est bien définie dans le *Guide d'utilisation d'une fiche signalétique,* disponible gratuitement au Répertoire toxicologique de la CSST (CSST, 1992).

L'utilisation des solvants industriels nécessite la prise en compte de ces caractéristiques par la mise en application des règlements régissant ces substances inflammables, incluant notamment les consignes sur l'entreposage et la manutention. Le *Règlement sur les établissements industriels et commerciaux* (Gouvernement du Québec, 1993) oblige les utilisateurs industriels de solvants à se conformer à la norme intitulée *Flammable and Combustible Liquids Code* de la *National Fire Protection Association.* La norme stipulée dans le Règlement est celle de 1969. Elle est désuète, difficile à obtenir et moins sécuritaire que la plus récente, soit celle de 1993 (Daigneault, 1994).

2.4.2 Solvants et santé

En milieu de travail, les solvants sont absorbés dans l'organisme principalement par la voie respiratoire. Néanmoins, l'absorption percutanée est possible pour certains solvants et elle peut être très importante même à partir des vapeurs de solvants (Axelson, 1994).

Les solvants ont des effets sur la santé qui sont à la fois généraux et spécifiques. Les effets généraux sont communs à tous les solvants alors que les effets spécifiques dépendent de la nature du solvant. On parle aussi d'effets aigus (toxicité aiguë) et d'effets chroniques (toxicité chronique). La toxicité aiguë réfère à une exposition de courte durée à des concentrations élevées. La toxicité chronique se rapporte à une exposition de longue durée à de faibles concentrations.

2.4.2.1 Toxicité aiguë

Le travail dans un espace confiné où une personne est exposée à de fortes concentrations de solvants peut entraîner une narcose et même la mort. Le solvant attaque alors le système nerveux central. Ainsi, à forte concentration dans l'air respiré, les effets des solvants se ressemblent et se manifestent par les symptômes suivants (Andrews, 1991):

- désorientation;
- euphorie;
- vertige;
- confusion.

avec une progression vers:

- inconscience;
- paralysie;
- convulsion;
- mort par arrêt respiratoire ou cardio-vasculaire.

Le contact cutané répété avec les solvants entraîne aussi localement des effets aigus communs, notamment des rougeurs, de l'irritation et de l'assèchement de la peau. L'irritation des muqueuses, suite à l'exposition aux vapeurs de solvants, est également

une caractéristique commune de toxicité aiguë (Ikeda, 1992).

2.4.2.2 Toxicité chronique

Certains troubles du comportement peuvent aussi être attribués à l'effet général des solvants sur le système nerveux central mais cette fois-ci après une exposition prolongée. La symptomatologie décrite dans la littérature scientifique peut être divisée en quatre classes (Andrews, 1991; Juntunen, 1993):

- affective: nervosité, irritabilité, dépression, apathie, compulsion;
- cognitive: perte de mémoire, confusion, désorientation;
- sensorielle: paresthésie, déficit visuel ou auditif;
- motrice: faiblesse des membres supérieures, incoordination, tremblement.

La toxicité des solvants se manifeste aussi de façon spécifique en fonction de la structure moléculaire de chaque solvant. Mentionnons, à titre d'exemple, les cas suivants (Andrews, 1991; IARC, 1995):

- toxicité hématopoïétique du benzène;
- hépatotoxicité de certains hydrocarbures chlorés;
- toxicité oculaire du méthanol;
- neurotoxicité du n-hexane;
- reprotoxicité des éthers de l'éthylène glycol;
- cancérogénicité du 1,4-dioxane, du trichloroéthylène et du perchloroéthylène.

Ces effets découlent d'une exposition chronique au solvant en question et résultent généralement de la biotransformation de la molécule du solvant dans l'organisme. La sévérité de l'effet est fonction notamment du niveau et de la fréquence de l'exposition mais aussi de la susceptibilité du sujet exposé. D'excellentes monographies sur la toxicité spécifique des divers solvants industriels ont été publiées sous la direction de Snyder (Snyder, 1987; Snyder, 1990a; Snyder, 1992). En outre, l'exposition simultanée à d'autres substances peut moduler l'effet d'un solvant de différentes façons. L'on parle alors d'effet indépendant, additif, supraadditif (potentialisation ou synergie), ou infraadditif (antagonisme) (Tardif, 1993).

2.4.3 Solvants et environnement

L'évacuation des vapeurs de solvants dans l'air extérieur et le rejet des résidus contenant des solvants dans les cours d'eau et le sol, contribuent à la pollution de l'environnement.

2.4.3.1 Air

Le rejet de certains solvants organiques dans l'air extérieur peut entraîner, selon la nature de la substance en cause, et à la suite d'une série de réactions complexes, l'un ou l'autre et même une combinaison des trois phénomènes de pollution suivants:

- la destruction de la couche d'ozone;
- la production du smog urbain;
- l'effet de serre.

Le premier phénomène est sans doute celui le mieux connu ici à cause du Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, établi en 1987 (PNUE, 1987). Les solvants incriminés (p. ex. le 1,1,1-trichloroéthane, le CFC-113) attaquent directement la couche d'ozone stratosphérique, entraînant son amincissement et permettant le passage des radiations ultraviolettes (UV) jusqu'à la surface de la terre. En plus d'être néfaste pour les humains (cancers de la peau, cataractes), les UV s'attaquent à la flore en général et pourraient avoir des conséquences désastreuses, à long terme, sur les récoltes (Environnement Canada, 1994).

Le deuxième phénomène est peut-être moins connu, le smog étant communément associé à la pollution d'origine automobile. Or les solvants photochimiquement réactifs, tels que le toluène et le xylène, contribuent à la production de smog oxydant et particulièrement à la production d'ozone troposphérique (Amdur, 1991). Ce smog contient des peroxydes, dont le nitrate de peroxyacétyle, qui s'attaquent aux feuilles des arbres. L'ozone a elle aussi, une action, principalement sur le feuillage, avec apparition de nécrose (Bisson, 1986). Chez l'humain, l'ozone peut notamment entraîner une réduction de la fonction pulmonaire, particulièrement chez l'enfant (Amdur, 1991).

L'effet de serre, qui entraînerait le réchauffement de la planète, est généralement associé à l'utilisation intensive de combustibles fossiles. En effet, parmi les divers gaz à effet de serre, l'on attribue 50 % de cet effet au dioxyde de carbone (Environnement Canada, 1991). Néanmoins, les solvants fluorés y contribuent aussi (CFC, HCFC, HFC). Enfin, l'émission de vapeurs de solvants photochimiquement réactifs contribuent à l'effet de serre en favorisant l'apparition d'ozone troposphérique, qui est aussi un gaz à effet de serre.

Notons également que les solvants rejetés dans l'atmosphère possèdent une toxicité qui leur est spécifique en plus de leur contribution aux phénomènes de pollution décrits précédemment. C'est pourquoi les autorités compétentes ont élaboré des critères de qualité de l'atmosphère pour certains solvants. Ces recommandations visent à protéger la santé de la population en général (WHO, 1987).

2.4.3.2 Eau et sol

Les solvants industriels, à cause de leur volatilité, se retrouvent principalement dans l'atmosphère, mais aussi dans le sol et éventuellement dans l'eau par érosion ou lessivage. Des études étasuniennes ont démontré que certains solvants, comme le dichlorométhane et le tétrachlorure de carbone, se retrouvent en faible quantité dans l'eau de consommation de certaines localités. En outre, ces solvants ne proviendraient pas de la désinfection de l'eau par le chlore comme c'est le cas pour les trihalométhanes (Menzer, 1991. La détermination de l'effet de ces petites quantités de solvants sur l'humain est difficile à cerner.

Les solvants peuvent aussi se retrouver dans l'eau des lacs et rivières à cause notamment de déversements accidentels ou de fuites de réservoirs. En se décomposant, les solvants peuvent épuiser la réserve d'oxygène de l'eau, dont la présence est essentielle à la vie de la faune aquatique (Environnement Canada, 1991).

Les pesticides volontairement épandus sur les terres agricoles contiennent des solvants (Petrelli, 1993) Certains solvants peuvent détruire les microorganismes présents dans ces sols (Howard, 1990) et ainsi contribuer à l'épuisement des terres arables.

Howard présente une revue de la problématique et des paramètres importants à considérer pour l'étude du devenir environnemental des divers solvants industriels (Howard, 1990; Howard, 1993).

CHAPITRE 3. ENQUÊTE DANS LES SECTEURS D'ACTIVITÉ ÉCONOMIQUE DU QUÉBEC

3.1 OBJECTIF

Une des premières étapes du projet a été de réaliser une enquête sommaire dans différents secteurs d'activités au Québec. Les résultats de cette enquête devaient orienter le travail de recherche vers les préoccupations du milieu, pour s'assurer de produire un rapport qui serait profitable aux intervenants québécois.

Le présent chapitre a pour objectif d'exposer la démarche de l'enquête et de résumer les principales préoccupations qui ont été soulevées lors des diverses rencontres.

3.2 MÉTHODOLOGIE

3.2.1 Les participants

Il est important de noter que cette enquête n'a pas la prétention d'avoir été faite sur un échantillon représentatif de l'ensemble des milieux de travail du Québec, étant donné les ressources disponibles et son objectif d'«orientation qualitative» de la suite du projet. Le tableau 3.1 présente les secteurs rejoints par l'enquête.

Dans un premier temps, tous les directeurs des associations sectorielles paritaires (ASP) ont été contactés pour sonder leur intérêt dans un tel projet. Toutes ces associations (hormis l'ASP du secteur minier qui ne se sentait pas concernée) ont voulu participer et des rencontres ont eu lieu, suivies dans quelques cas, de visites d'entreprises représentatives du secteur.

Comme le projet avait été appuyé dès le début par le Comité interentreprises en hygiène industrielle de la région de Montréal, ses membres ont eu l'occasion d'être rencontrés lors de l'enquête pour pouvoir transmettre leurs préoccupations.

De cette façon, 17 grandes entreprises ont été visitées, lors de rencontres d'environ 1/2 journée avec l'hygiéniste de l'usine ou le responsable santé-sécurité.

Par la suite, pour connaître l'utilisation des solvants des autres secteurs d'activité économique non couverts par les précédentes rencontres, certaines associations industrielles ou entreprises ont été contactées.

3.2.2 L'information recherchée

Lors de ces rencontres ou contacts téléphoniques, on a cherché à recueillir des informations sur les solvants et leurs utilisations, les procédés les impliquant, les conditions de travail aux endroits d'utilisation, les quantités mises en cause, le nombre de travailleurs exposés, les principales préoccupations des intervenants en santé-sécurité et en environnement, ainsi que

Tableau 3.1
Nombre et type de participants contactés lors de l'enquête, en fonction des secteurs d'activités économiques au Québec

Secteur	Associations sectorielles paritaires	Entreprises du comité en HI[1]	Associations patronales	Autres entreprises
Administration	1			
Aliments et boissons			4	
Caoutchouc et plastique (Fabrication)			2	
Construction	1			
Cuir et chaussures			1	3
Électricité		1		1
Fabrication d'équipement de transport et machines	1	3		1
Fabrication de produits en métal et électriques	1	6		4
Hôpitaux	1			1
Imprimerie	1			2
Meubles			1	
Mines	1	1		
Pâtes et papiers			1	1
Peintures (fabrication)			1	
Pétrochimie		2		
Première transfo. des métaux		2		1
Produits chimiques		2		
Textiles	2			2
Traitement des déchets		1		
Transport	3	2		
Sous-total	12	20	10	16
Total	**58**			

[1] Comité interentreprises en hygiène industrielle de la région de Montréal

les alternatives essayées et envisagées. Sans constituer un interrogatoire formel, nous avons abordé les sujets suivants:

- Solvants utilisés (nom du produit - composition)
- Manufacturiers

- Utilisation, caractéristiques recherchées
- Conditions d'utilisation
- Quantités utilisées
- Nombre d'employés exposés (poste de travail / fonction) et profil d'exposition
- Préoccupations (santé / environnement / législation)
- Élimination
- Alternatives essayées / envisagées

L'annexe 2 présente le détail de chacune de ces rubriques.

À la suite de chaque rencontre ou conversation téléphonique, un court rapport a été rédigé. De plus, lors des visites, des fiches signalétiques, des inventaires et certains documents ont été rassemblés.

3.3 RÉSULTATS

Cette section présente sommairement et par secteur d'activité (ordre alphabétique), les solvants utilisés et les problèmes soulevés lors des échanges avec les spécialistes rencontrés.

Administration: Dans les entreprises de services ou les ministères, on peut retrouver des services d'imprimerie, de menuiserie, de peinture, d'entretien mécanique. Les solvants utilisés sont communs à presque tous les types d'industrie. Par conséquent, il n'y a pas eu de préoccupation spécifique à ce secteur qui ait été soulevée.

Aliments et boissons: Le secteur «Aliments et boissons» inclut notamment la boulangerie et la transformation de la viande. Tous les intervenants ont affirmé que leur secteur était très étroitement surveillé par Agriculture Canada et que très peu de solvants de dégraissage sont utilisés. Ainsi, l'utilisation de solvants étant très limitée et bien contrôlée, ils n'ont pas eu de cas de substitution à signaler dans le cadre du projet.

Caoutchouc et plastique (fabrication): Les entreprises de ce secteur industriel utilisaient des solvants dans la composition de leurs produits finis. Les personnes contactées ont insisté sur le fait que des laboratoires spécialisés travaillaient actuellement à substituer les solvants problématiques par d'autres plus sécuritaires ou par des technologies nouvelles.

Construction: Le secteur est très vaste et diversifié, ce qui cause des difficultés au niveau de l'identification et du contrôle des solvants utilisés. Cependant, certains métiers impliquent l'utilisation de solvants et tout travail de substitution pourra certes bénéficier à ces travailleurs (par exemple: peintures moins toxiques pour les peintres, colles moins toxiques pour les poseurs de tapis).

Cuir et Chaussures: La fabrication de chaussures et de bottes, en cuir, en caoutchouc ou autre, peut impliquer des solvants tels que le toluène (principalement), le naphta, le kérosène, la méthyléthylcétone (MEK), l'acétone et l'acétate d'éthyle. De plus, des adhésifs peuvent être utilisés pour le collage de semelle, par exemple. Cependant, certains procédés thermiques ne

requièrent que très peu de solvants.

Électricité (production et distribution): Beaucoup de solvants sont utilisés, dont plusieurs doivent posséder des propriétés très spécifiques, par exemple constante diélectrique élevée, absence de résidus, ininflammabilité. Pour le nettoyage de transformateurs, on utilise communément des essences minérales et du 1, 1, 1-trichloroéthane; pour le nettoyage des câbles de distribution, du 1, 1, 1-trichloroéthane également. Cependant, étant donné la réglementation sur les substances appauvrissant la couche d'ozone, de sérieux efforts ont été consacrés au remplacement de ce dernier. On est donc en train d'essayer de nouveaux solvants disponibles sur le marché.

Fabrication d'équipement de transport et machines: Ce secteur inclut, entre autres, les industries automobile, aérospatiale, maritime et de la machinerie agricole. Concernant les principaux solvants utilisés, les activités peuvent se diviser comme suit:

- Usinage / assemblage / soudage / peinture sur métal: beaucoup d'essences minérales, du toluène, naphta, 1, 1, 1-trichloroéthane, perchloroéthylène, méthyléthylcétone, méthanol, xylènes, trichloroéthylène, terpènes;
- Plastiques renforcés à la fibre de verre: adhésifs, styrène, acétone.

Cette dernière utilisation est très préoccupante par la toxicité des solvants utilisés et par la forte exposition des travailleurs.

Dans ce vaste secteur d'activité, d'importantes compagnies ont été très actives dans la substitution des solvants chlorés (principalement le 1, 1, 1-trichloroéthane) et des solvants inflammables. Il est à noter que dans ce type d'industrie, des contraintes importantes compliquent la substitution, telles que: la diversité des matériaux utilisés (notamment le magnésium, l'aluminium, le titane, le nickel, le cobalt, les plastiques), la complexité de la configuration de certaines pièces et les spécifications très rigoureuses à respecter.

Fabrication de produits en métal et électriques: Les industries de ce secteur fabriquent, entre autres, du matériel électronique et électrique, des fils, des câbles et des appareils électroménagers. On y peint le métal, ce qui implique l'utilisation de beaucoup de toluène. Cependant, pour améliorer la qualité du milieu de travail, on a mentionné que certaines entreprises utilisaient (ou envisageaient d'utiliser) des peintures en poudre ou des systèmes plus efficaces de pulvérisation tels que celui à haut volume basse pression (HVBP).

De plus, divers solvants sont utilisés dans des opérations de dégraissage, traitement du métal et autres: méthyléthylcétone, essences minérales, xylène, toluène, acétone, 1, 1, 1-trichloroéthane, Safety Kleen^{MD}, solvant Stoddard, trichloroéthylène, isopropanol.

Dans certaines entreprises, on a d'abord remplacé les CFC utilisés par le 1, 1, 1-trichloroéthane, qu'on a ensuite éliminé pour le remplacer par des alcools, des nettoyants alcalins ou des essences minérales.

Là aussi, certains secteurs de cette industrie doivent parfois rencontrer des spécifications très rigoureuses, ce qui complique le processus de substitution. Cependant, des efforts considérables ont été fournis dans certaines grandes entreprises et ces efforts ont pu être couronnés de succès dans la plupart des cas.

Hôpitaux: Certains solvants sont utilisés dans les laboratoires d'analyse (dont certains mélanges à base d'acétone, d'isopropanol, de méthanol et d'acétate d'éthyle). On se préoccupe de certains solvants toxiques comme le toluène, utilisé en pathologie/cytologie. On retrouve également un service d'entretien où sont utilisés les solvants usuels (principalement des essences minérales et du méthanol).

Imprimerie: On affirme qu'environ 95 % des ateliers ont des presses offset, où l'on retrouve généralement de 50 à 150 produits chimiques différents. D'autres ateliers utilisent la sérigraphie, la flexographie et l'héliogravure. On produit des journaux, des formulaires, des livres. La principale préoccupation demeure l'offset, de par le nombre d'ateliers et le nombre de travailleurs concernés. Plusieurs étapes de production sont nécessaires dans une imprimerie mais la principale, en terme d'utilisation de grandes quantités de solvants, demeure l'impression elle-même. On y utilise notamment l'isopropanol dans les solutions de fontaine (préoccupation pour l'émission de COV), du toluène (ex: réjuvénateur de blanchet), des éthers de glycol, de la méthyléthylcétone et du dichlorométhane. L'inflammabilité des solvants utilisés est également une préoccupation importante.

Meubles: La fabrication des armoires et de l'ameublement de bureau, en bois ou en métal, constitue une part majeure de l'industrie du meuble au Québec. Dans cette industrie, les solvants sont reliés à l'utilisation de peintures, laques, teintures, vernis. Les principales préoccupations sont orientées vers l'environnement (odeurs, émission de COV).

Mines: Dans le secteur minier, on ne semble utiliser aucun solvant particulier, si ce n'est ceux pour l'entretien de la machinerie, communs aux autres industries.

Pâtes et papiers et secteur forestier: Les préoccupations sont principalement environnementales, particulièrement les rejets d'eaux usées, qui sont réglementés par le *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* (en vertu de la Loi sur les Pêches (Canada)) et par les *Règlements sur les fabriques de pâtes et papiers* (en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement (Québec)). Les opérations de dégraissage de certaines pièces d'équipement et des planchers, le nettoyage des contacts électriques, et les tests d'impression requièrent différents solvants tels que le kérosène et le solvant Stoddard. On cherche à éliminer le problème à la source, notamment en arrêtant les fuites d'huile par un meilleur entretien. On s'oriente de plus vers le nettoyage à la vapeur.

Peintures (fabrication): Voir remarque à la section **Caoutchouc et plastique (fabrication).** Les préoccupations semblent être principalement de nature environnementale, particulièrement l'émission de COV.

Pétrochimie: Les installations de ce secteur produisent de l'essence, des lubrifiants, de l'asphalte, des dérivés pétrochimiques divers (dont le xylène et le toluène). La préoccupation environnementale est très présente. Pour déloger certains résidus pétroliers dans l'équipement de production (ex.: dégraissage, décokage), on a besoin parfois de solvants très forts qui sont difficilement remplaçables. On utilise aussi des solvants d'entretien et également des solvants aqueux combinés avec de la vapeur.

Produits pharmaceutiques: Voir remarque à la section **Caoutchouc et plastique (fabrication).**

Première transformation des métaux: Les solvants utilisés dans cette industrie sont principalement liés à l'entretien mécanique et électrique ainsi qu'aux opérations d'usinage: dégraissants (solvant Stoddard, Safety Kleen^{MD}), peinture, un peu d'imprimerie. Le 1,1,1-trichloroéthane tend à être remplacé par du méthanol ou des solutions à base de d-limonène, entre autres. Cependant, comme nettoyant de contacts électriques, il semble très difficile à substituer.

Produits chimiques: Voir remarque à la section Caoutchouc et plastique (fabrication). La préoccupation environnementale est présente dans plusieurs industries (ex.: chlore dans les effluents). Certaines industries sont également couvertes par des réglementations spécifiques, parfois très sévères, ce qui exige un contrôle serré des produits utilisés et des rejets. On retrouve de plus les solvants d'entretien usuels.

Textiles (fabrication) et habillement (confection): Mis à part les encres utilisées dans la teinture des fibres et les solvants pour l'entretien de la machinerie et de diverses pièces d'équipement (ex.: nettoyage des tamis), le solvant le plus préoccupant est celui utilisé dans le détachage des tissus: le 1,1,1-trichloroéthane (dans la grande majorité des usines et ateliers). Ce solvant réglementé doit être substitué et il semble excessivement difficile de trouver un produit de remplacement. Une des préoccupations autre qu'environnementale, est la présence de stabilisants toxiques (jusqu'à 5 %) tels que le 1,4-dioxane, dans le 1,1,1-trichloroéthane. L'opération de détachage, souvent réalisée avec un fusil pulvérisateur, requiert un solvant qui ne laisse aucune trace, qui s'évapore rapidement et qui ne soit pas dangereux pour la santé des travailleurs exposés. En effet, l'évaporation rapide implique sa présence dans l'air, inhalé par tous les travailleurs présents. Une partie de la solution se trouve dans l'élimination à la source des taches: un entretien préventif de la machinerie réduirait assurément la présence de taches sur les tissus, ce qui entraînerait une diminution de l'utilisation de solvant de détachage.

Traitement des déchets: Le traitement des déchets est réalisé en grande partie avec des produits inorganiques. Les solvants que l'on retrouve dans ce type d'installation servent aux tests de laboratoire et à l'entretien.

Transport: Les utilisations de solvants dans ce secteur recoupent l'ensemble des préoccupations de plusieurs autres industries, soit l'entretien des véhicules (carrosserie et mécanique), ce qui implique de grandes quantités de dégraissants ainsi que des peintures et diluants: solvant Stoddard, 1,1,1-trichloroéthane, dichlorométhane et autres; plusieurs

d'entre eux se présentent en aérosols ou dans des bacs ouverts.

Un point particulièrement problématique demeure le nettoyage de contacts électriques, qui se faisait auparavant à l'aide de CFC-22, qui a ensuite été remplacé par un le 1, 1, 1-trichloroéthane ou un hydrochlorofluorocarbure (HCFC), qui à leur tour doivent être remplacés parce que listés comme substances appauvrissant la couche d'ozone.

On est également préoccupé par l'utilisation courante de peintures contenant des isocyanates; les peintures à l'eau n'ont pas vraiment fait leur preuve, et ce, semble-t'il à cause des conditions climatiques difficiles.

3.4 CONCLUSION

Dans cette enquête, tous les secteurs d'activité économique au Québec n'ont pas été couverts également, dû à leur activité (voir définition de «solvant») ou à l'intérêt de la personne contactée. Cependant, nous avons respecté notre volonté d'avoir établi au moins un contact dans chaque grand secteur, pour donner aux intervenants la chance d'exprimer leurs préoccupations et ainsi, s'assurer que le résultat du projet soit bénéfique au plus grand nombre de travailleurs.

En bref, il ressort de ces rencontres que l'utilisation des solvants est une problématique qui touche toutes les industries (ou presque) mais qui se retrouve souvent loin dans la liste des priorités des intervenants; le bruit, l'ergonomie et la sécurité par exemple, priment généralement dans leurs préoccupations sur les problèmes causés par les solvants. Les intervenants sont sensibilisés aux problèmes de santé ou de sécurité causés par certains solvants, ainsi qu'à l'ensemble de la législation qui les concerne, mais le temps et les ressources sont souvent limités pour aborder la substitution.

CHAPITRE 4. SUBSTITUTION: BASES THÉORIQUES, MODÈLES ET OUTILS

Ce chapitre passe en revue les connaissances générales reliées à la substitution des substances dangereuses, notamment des solvants, en milieu de travail. Dans un premier temps, nous énoncerons une définition large de la substitution, en la situant dans le continuum des activités de prévention en santé et en sécurité du travail. Nous aborderons ensuite la place que la substitution occupe dans les activités de protection de l'environnement. Nous présenterons finalement, et c'est le coeur de ce chapitre, les divers modèles et outils qui ont été proposés pour procéder à une analyse de substitution, c'est-à-dire une approche intégrant les facteurs techniques et ceux reliés à la protection de la santé et de la sécurité au travail ainsi que de l'environnement.

4.1 DÉFINITION, PLACE ET HISTORIQUE DE LA SUBSTITUTION EN SANTÉ ET EN SÉCURITÉ DU TRAVAIL

Avant d'en arriver à une définition précise de ce que nous entendons par substitution dans le cadre de ce travail, il est important de situer de façon hiérarchique les diverses activités de prévention possibles face à un contaminant en santé et en sécurité du travail.

Le tableau 4.1 illustre un schéma conceptuel associant d'un côté le cheminement d'un contaminant, depuis sa source jusqu'à ses effets irréversibles dans l'organisme d'un travailleur, et de l'autre les diverses approches préventives et leur niveau (Gérin, 1993). Alors que les préventions secondaire et tertiaire portent sur le dépistage, la reconnaissance, le traitement et la surveillance d'effets sur la santé, la prévention primaire s'intéresse à l'environnement du travailleur de façon à réduire le niveau d'exposition, donc le risque à la santé.

Parmi les activités de prévention primaire, celles qui s'intéressent à la source sont à privilégier par rapport à celles, comme la ventilation générale ou la protection individuelle, qui interviennent dans le milieu, loin de la source.

Au niveau de la source même, on peut chercher à contrôler, par exemple par la ventilation locale, et l'on peut aussi chercher à éliminer. C'est cette stratégie d'élimination du danger à la source qui devrait être favorisée selon cette approche hiérarchisée des activités de prévention. C'est d'ailleurs ce qui est reconnu explicitement dans la Loi québécoise sur la santé et la sécurité du travail par son article deux (Gouvernement du Québec, 1986). Les autres méthodes de prévention acceptent que la substance soit présente dans le lieu de travail, même si sa présence est contrôlée. Elles ont une efficacité imparfaite; des opérations d'entretien et de surveillance sont nécessaires; des accidents, pannes, irrégularités, défaillances matérielles ou humaines, ou encore travaux spéciaux ou irréguliers peuvent mener à des expositions importantes. Seule l'élimination à la source permet de réduire à zéro le risque associé à un contaminant.

Tableau 4.1

Relation santé-environnement et continuum des activités de prévention

SOURCE	**SUBSTANCE**	**ÉLIMINATION À LA SOURCE** • Substitution	**Prévention primaire**
		CONTRÔLE À LA SOURCE • Isolation, encoffrement • Ventilation locale	
MILIEU	**PRÉSENCE** **EXPOSITION EXTERNE**	**CONTRÔLE DANS LE MILIEU** • Ventilation générale • Entretien, nettoyage	
		SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE • Station fixe • Prélèvement personnel	
TRAVAILLEUR	**CONTACT**	**CONTRÔLE DES CONTACTS** • Protection individuelle	
	ABSORPTION **EXPOSITION INTERNE**	**SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DE L'EXPOSITION** • Substance, metabolite • Paramètre biochimique	
	EFFET RÉVERSIBLE OU PRÉCOCE	**DÉPISTAGE PRÉCOCE** • Paramètre biochimique • Examen fonctionnel • Questionnaire	**Prévention secondaire**
	MALADIE IRRÉVERSIBLE	**CLINIQUE** • Identification des cas • Soins, réadaptation	**Prévention tertiaire**
		SURVEILLANCE ÉPIDÉMIOLOGIQUE	

(Gérin, 1993)

Notre définition de la substitution, dans le cadre de ce travail, 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.** En effet l'élimination d'une substance peut s'effectuer soit en la substituant par une autre, soit en substituant le procédé pour ne plus utiliser la dite substance. C'est ce type de définition assez large de la substitution qui a été adopté par les auteurs danois qui ont beaucoup contribué au renouveau d'intérêt sur ce sujet au cours des dix dernières années (Sorensen, 1988; Sorensen, 1992; Goldschmidt, 1993; Filskov, 1989). Dans ce cadre, Goldschmidt distingue trois formes de substitution: 1) le remplacement sans changement dans les méthodes de travail, 2) le remplacement avec changement dans les méthodes de travail, et 3) le changement de procédé, impliquant de nouvelles méthodes de travail (Goldschmidt, 1993a).

Il est important ici de préciser que, pour plusieurs auteurs, la substitution se définit, de façon plus limitative, comme le simple remplacement d'une substance par une autre, avec le minimum de changement aux méthodes de travail. Elle n'inclut pas les changements de procédé. Nous avons préféré l'approche plus large (bien que sémantiquement moins exacte) car elle est plus globale et permet d'envisager un éventail de solutions plus large.

Quelques exemples célèbres permettent d'illustrer l'importance historique et toujours actuelle de la substitution, laquelle a été appliquée au fur et à mesure du développement des connaissances, notamment en toxicologie, résultant en l'interdiction de certaines substances ou en l'imposition de normes plus restrictives. Ainsi les composés blancs du plomb ont été remplacés par le dioxyde de titane comme pigments, notamment dans les peintures; le phosphore blanc a été éliminé des alumettes; des abrasifs ont été mis au point ne contenant pas de quartz; l'amiante a été remplacée dans nombre d'applications par d'autres matériaux. En ce qui concerne les solvants, le benzène a été remplacé notamment par le toluène dans les peintures, le tétrachlorure de carbone par le trichloroéthylène dans les opérations de dégraissage des métaux, puis plus récemment par le 1, 1, 1-trichloroéthane; dans le nettoyage à sec, le tétrachloroéthylène s'est substitué aux essences minérales inflammables; les peintures à l'eau se sont implantées de façon significatives à la place des peintures à base de solvants (Ansell, 1982; Frangos, 1993; Silman, 1974; Sorensen, 1993a; Talty, 1988; Wolf, 1987).

Un des principaux avantages potentiels de la substitution, qui n'est pas toujours souligné dans la littérature de santé et sécurité du travail, tient au fait que l'élimination de substances dangereuses dans le milieu de travail résulte en une élimination *de facto* de ces mêmes substances des émissions dans l'environnement général. D'ailleurs, dans les techniques de lutte contre la pollution environnementale, la substitution est une des stratégies les plus favorisées. Ce sujet est abordé plus en détail dans la section suivante.

4.2 SUBSTITUTION ET PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Dans le domaine de la protection de l'environnement, l'idée de technologie propre n'est pas nouvelle puisqu'elle remonterait au début des années 70 (Cazalas, 1993). Cette approche favorise une action préventive en amont dans le processus polluant, plutôt que l'approche plus

traditionnelle de contrôle en aval lors du rejet ou de l'émission. Autrement dit, il s'agit de modifier le procédé de façon à réduire à la source l'utilisation de substances dangereuses, plutôt que de se concentrer sur les techniques dites de «bout-du-tuyau». Plusieurs termes décrivant cette philosophie à divers niveaux sont ainsi apparus dans la réglementation ou dans les programmes, souvent incitatifs, de divers organismes locaux, nationaux ou internationaux: technologie propre, technologie plus propre, produire plus propre, prévention de la pollution, réduction de l'usage des produits toxiques, réduction des rejets (ou déchets), prévention des rejets, minimisation des rejets, éco-efficience (Forbes, 1993; Huisingh., 1989; Laden, 1993; Munroe, 1990; Rhodes, 1991; UNEP, 1993).

Ainsi, de la même façon que pour la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs (section précédente et tableau 4.1), il est possible d'envisager, pour la protection de l'environnement, une hiérarchie des interventions préventives. Le tableau 4.2 en présente une synthèse partielle (prévention primaire) obtenue à partir des sources citées ci-dessus. Pour minimiser le rejet et l'émission dans l'environnement de substances dangereuses, l'on peut traiter ces rejets par des méthodes telles que le captage, la transformation chimique ou l'incinération; préférablement l'on peut recycler ou récupérer, si possible à l'intérieur même du procédé (recyclage sur place). On peut chercher à modifier le procédé de façon à réduire l'utilisation de substances dangereuses. Au sommet de cette hiérarchie se trouvent les stratégies de substitution visant à l'élimination de l'utilisation de substances dangereuses au niveau du procédé. Cette substitution peut être un changement de procédé ou un remplacement des substances dangereuses sans changement de procédé.

4.3 MODÈLES ET OUTILS POUR L'ANALYSE DE SUBSTITUTION

4.3.1 Introduction

Cette section passe en revue les principales approches permettant de procéder à une analyse de substitution. L'analyse de substitution est la démarche logique et unificatrice que l'on doit entreprendre lorsque l'on désire éliminer l'utilisation d'une substance dangereuse. Bien que des solutions déjà existantes soient proposées pour répondre à un grand nombre de cas (voir entre autres les chapitres 5 à 12) il n'en demeure pas moins que l'application et l'implantation de ces méthodes dans une entreprise ou un procédé particulier peuvent demander des adaptations et changements, qu'un certain nombre de méthodes ne sont publiées que de manière incomplète ou générale (solutions génériques) et que les solutions peuvent éventuellement être améliorées en fonction du contexte réglementaire, technique et toxicologique qui est en constante évolution.

D'autre part, dans de nombreux cas il n'y a pas de solution directement disponible ou transposable, ce qui rend indispensable une connaissance des méthodes, mêmes imparfaites, de l'analyse de substitution.

Tableau 4.2

Hiérarchie des méthodes de protection de l'environnement

Prévention de la pollution (réduction à la source)

1) Élimination dans le procédé
- substitution du procédé
- substitution de la substance

2) Réduction dans le procédé
- modifications réduisant l'utilisation
- recyclage, réutilisation sur place

Recyclage
- Recyclage extérieur, récupération, valorisation

Contrôle de la pollution («bout du tuyau»)
- Traitements chimiques, biologiques, thermiques
- Captage

Élimination contrôlée
- Enfouissement
- Stockage

Une grande partie des articles cités proviennent du Danemark où un effort considérable a été entrepris depuis plus de dix ans pour implanter la substitution comme méthode prioritaire de prévention (voir l'annexe 3). Avant d'aborder plus en détail les diverses méthodes et outils publiés, il convient d'abord de présenter les approches globales proposées par certains auteurs.

4.3.2 Approches globales à la substitution

Les auteurs s'accordent habituellement pour considérer les facteurs suivants comme étant critiques à considérer lorsque l'on envisage d'éliminer une substance dangereuse du milieu de

travail:

- la faisabilité technique;
- la santé et la sécurité du travail;
- la protection de l'environnement général;
- les facteurs économiques;
- les facteurs humains et organisationnels.

La procédure en sept étapes résumée ci-dessous est une synthèse dérivée de la publication-guide danoise de Filskov et coll. (Filskov, 1989), d'un article plus théorique de Goldschmidt (Goldschmidt, 1993a) et de synthèses effectuées par le Health and Safety Executive britannique (Russell, 1992; HSE, 1994). Nous référons les lecteurs aux publications originales pour le contenu détaillé spécifique à chaque auteur et pour divers exemples qui illustrent la procédure.

Identification du problème Dans la première étape, l'identification du problème, il s'agit de formuler de façon très précise le problème à résoudre, nommément: 1) les raisons pour lesquelles l'on veut éliminer une substance particulière et 2) pourquoi la substance que l'on veut éliminer est utilisée. Pour cela il faut: 1) rassembler l'information sur la substance ou le produit en termes de dangers et d'effets potentiels observés et 2) 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.

Identification de solutions alternatives L'analyse des besoins (le pourquoi) amène logiquement à identifier une série d'alternatives, c'est-à-dire de solutions permettant de répondre à ces besoins (le comment). Il s'agit là de la deuxième étape du modèle, l'identification et l'élaboration d'une série d'alternatives, qui 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'alternatives, 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 alternatives techniquement viables, par exemple des solvants ayant le pouvoir de solubilisation souhaité (voir section suivante).

Évaluation des conséquences Au cours de la troisième étape il s'agit d'évaluer les conséquences de l'implantation des différentes alternatives, lesquelles sont ensuite comparées entre elles et avec la solution originale dans l'étape quatre (comparaison). 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 (voir les sections concernant ces facteurs). Le choix potentiellement complexe d'une solution particulière parmi une série d'alternatives (étape 5) va dépendre de la qualité et de l'exhaustivité de cette information et des critères que

l'on a pu choisir à l'avance pour prioriser les divers facteurs cités. En ce qui concerne les facteurs reliés à la toxicité, diverses pistes pour procéder à une comparaison sont abordées dans la section sur les facteurs de santé et de sécurité du travail (SST). Les étapes subséquentes impliquent l'implantation puis l'évaluation de la substitution. L'implantation peut être effectuée de façon progressive suite à des essais et projets-pilotes. L'évaluation doit porter sur l'ensemble des facteurs cités au départ et assurer qu'une amélioration sensible a été obtenue pour les paramètres recherchés (santé du travail, environnement).

Sorensen et Styhr Petersen de l'Université Technique du Danemark proposent une méthode qu'ils présentent comme étant axée sur le procédé (Sorensen, 1988; Sorensen, 1991; Sorensen, 1993a). 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'étiquettage, 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 comprennent 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 alternatives 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.

Wolf propose une approche simplifiée à la sélection des substituts dans le cas des solvants, notamment des solvants chlorés utilisés pour le nettoyage. Elle regroupe les diverses catégories de solvants en classes génériques qui définissent leurs propriétés techniques et environnementales, lesquelles sont décrites par neuf paramètres (VLE, VOC, MAP, point d'éclair, taux d'évaporation, pouvoir de solubilisation, PDO, effet de serre, toxicité). Des règles simples sont énoncées portant sur l'influence de la structure chimique sur les propriétés environnementales des substances. Cette approche permettrait de focaliser rapidement la recherche de substituts en définissant les classes de solvant acceptables (Wolf, 1993-1994).

4.4 COÛTS ET FACTEURS TECHNIQUES

La réussite du processus de substitution dépend bien évidemment de la capacité de la solution alternative à répondre, à un coût raisonnable, aux besoins techniques satisfaits par la solution initiale. Le calcul des coûts, qui apparaît à première vue simple lorsqu'il s'agit d'un remplacement sans changement dans l'équipement, doit cependant intégrer divers impacts des changements effectués (p. ex. ventilation, protection individuelle, recyclage, récupération et contrôle des émissions, décharge) sans oublier les impacts plus complexes lorsqu'il y a

changement dans les méthodes ou les procédés (Wolf, 1987). Plusieurs de ces dimensions peuvent d'ailleurs se révéler bénéfiques à court comme à long terme. Les bénéfices divers qu'une entreprise peut retirer de la substitution et des programmes de prévention de la pollution en général ont été soulignés notamment par Russell, Forbes, Huisingh ainsi que Laden et Gray. Ces éléments sont repris dans la section sur les facteurs humains et organisationnels (Forbes, 1993; Huisingh, 1989; Laden, 1993; Russell, 1992). Cependant, même si de nombreux bénéfices peuvent en être retirés, le processus au total peut être long, faire appel à une expertise extérieure, sans nécessairement toujours aboutir, donc peut être coûteux (Russell, 1992). Ce dernier point est repris par Laden et Gray qui signalent que les coûts de recherche et de développement peuvent être importants surtout pour les plus petites compagnies (Laden, 1993). Kennedy présente une approche d'évaluation des coûts totaux reliés à la substitution des solvants, illustrée d'exemples d'application en milieu industriel (Kennedy, 1994).

Dans le cas des solvants les paramètres techniques caractéristiques varieront beaucoup selon leur utilisation. Certaines applications pourraient par exemple favoriser le pouvoir de solubilisation aux dépens de la vitesse d'évaporation. Dans le cas des solvants utilisés en électronique, pour le nettoyage des résidus de soudure, et dans le cas des solvants de dégraissage à la vapeur, Wolf et coll. présentent une série de paramètres pertinents: taux d'évaporation, point d'ébullition, énergie de vaporisation, paramètres de solubilité, indice de Kauri-butanol, solubilité dans l'eau et indice de mouillage. Ces paramètres peuvent servir à classer les solvants et à effectuer des choix entre solvants alternatifs. Des paramètres comme le point d'ébullition et l'énergie de vaporisation permettent également d'évaluer les dépenses énergétiques associées à l'utilisation des solvants (Morrison, 1985; Wolf, 1987).

Pour la formulation des peintures, encres et adhésifs, l'industrie utilise depuis les années 60 un système basé sur des paramètres de solubilité (ou de miscibilité) tenant compte de l'énergie de dispersion, l'énergie polaire et l'énergie de ponts hydrogène des divers solvants (paramètres de Hansen). Olsen a mis au point le logiciel SUBTEC (voir aussi la section sur les facteurs de SST) qui suggère à l'utilisateur des substituts à un solvant déterminé (substances pures ou mélanges) et qui les compare entre eux sur la base de ces paramètres (Olsen, 1992).

4.5 FACTEURS DE SANTÉ ET SÉCURITÉ DU TRAVAIL

4.5.1 Introduction

Nous avons vu que les dangers à la santé et à la sécurité des travailleurs ont été historiquement à l'origine de plusieurs substitutions. Ils vont continuer à l'être au fur et à mesure du développement des connaissances en toxicologie et de la réglementation sur les substances dangereuses en milieu de travail. D'autre part l'on devra s'assurer que lorsque la substitution se fait pour des raisons environnementales, les conséquences sur la santé et la sécurité des travailleurs soient bien évaluées et prises en compte.

C'est lorsqu'une substance dangereuse est éliminée par un changement au procédé que la situation pourrait paraître *a priori* la plus simple. Il faut cependant évaluer les conséquences

du nouveau procédé et la possibilité que de nouveaux dangers soient introduits (par exemple des contraintes ergonomiques, du bruit, des vibrations, une autre catégorie d'agresseurs chimiques). Lorsqu'une substance dangereuse est éliminée en la substituant par une autre substance, il faut pouvoir comparer directement les profils de danger des deux substances. La démarche nécessite que les éléments d'information appropriés soient colligés. La suite de cette section présente divers paramètres décrivant les effets nocifs des substances et les approches qui ont pu être suggérées, dans certains cas, pour les comparer.

4.5.2 Dangers physiques

Les dangers physiques des solvants (incendie, explosion) sont décrits par un petit nombre de paramètres tels que la tension de vapeur saturante, la température d'auto-ignition, le point d'éclair, les limites d'inflammabilité et les propriétés de réactivité. Associées à ces caractéristiques, on retrouve des contraintes particulières notamment sur la ventilation, le transport et le stockage (Ansell, 1982; Riklik, 1991).

4.5.3 Utilisation des valeurs limites d'exposition

En ce qui concerne les propriétés toxiques, la situation est relativement complexe. Une approche consiste à comparer des «indices de danger» dérivés des valeurs limites d'exposition (VLE) (Filskov, 1989; Goldschmidt, 1993; Popendorf, 1984; Olsen, 1992). Tout d'abord les VLE elles-mêmes peuvent être comparées, avec l'idée que plus la VLE est basse plus le danger est grand. Cette approche, beaucoup trop simpliste (Riklik, 1991), ne tient pas compte, entre autres, du fait que le niveau de danger ne dépend pas que de la toxicité mais aussi de la volatilité d'une substance. Ainsi un solvant pourrait avoir une VLE deux fois plus grande qu'un autre (donc apparaître «moins dangereux») mais une volatilité dix fois plus grande, ce qui donne une situation d'exposition plus dangereuse (Filskov, 1989).

Il faut donc pouvoir corriger la VLE par la volatilité. C'est ce qui est obtenu en utilisant le VHR («vapour hazard ratio» ou «rapport de danger de vapeur»). Le VHR est le rapport entre la concentration de vapeur saturante d'une substance et sa VLE. La concentration de vapeur saturante est la concentration de la vapeur en équilibre avec la substance pure, valeur (en mg/m^3 ou en ppm) obtenue directement à partir de la pression de vapeur saturante (en mm de Hg ou en Pa). Le VHR exprime donc combien de fois, au maximum, une substance peut dépasser sa VLE de par ses propriétés intrinsèques de volatilité. C'est une sorte de propension de la substance à dépasser la VLE. Ce concept a été décrit par Popendorf comme guide pour les opérations de ventilation et pour la substitution (Popendorf, 1984). Par exemple le VHR du disulfure de carbone est de 47 500 contre 87 pour le xylène. Pour les mélanges, il est possible en théorie de calculer un VHR qui soit la somme des valeurs individuelles de VHR pour chacune des substances, pondérée par leur fraction molaire (Goldschmidt, 1993a). Cette approche, inspirée de la pratique de calcul des VLE pour les mélanges en hygiène industrielle, ne convient cependant, dans le cas du VHR, qu'aux mélanges dits «idéaux» du point de vue physico-chimique, c'est-à-dire ceux pour lesquels la pression de vapeur n'est gouvernée que par leur proportion dans le liquide. La grande majorité des solvants sont des mélanges et la très grande majorité des mélanges de solvants sont loin d'être idéaux, ce qui rend l'approche VHR

potentiellement trompeuse. En effet ces déviations de l'idéalité peuvent être très importantes. Elles font, par exemple, que la concentration dans l'air d'un solvant dissout en faible quantité dans l'eau peut être plusieurs ordres de grandeur supérieure à celle qui serait calculée sur la base de l'idéalité (Goldschmidt, 1993a).

Olsen propose un type d'indice de danger appelé SUBFAC («substitution factor») qui répond au problème de la non-idéalité des mélanges et qui est une généralisation de l'approche VHR à divers types de valeurs limites (Olsen, 1992). L'approche plus complexe nécessite l'utilisation du logiciel SUBTEC. Par rapport à l'approche VHR pour un mélange, SUBFAC introduit trois changements. Tout d'abord, on tient compte de la non-idéalité en introduisant des coefficients d'activité. Ceux-ci sont calculés à partir d'un modèle physico-chimique basé sur la structure chimique, la température et la composition du mélange. D'autre part, on remplace l'usage de la concentration de vapeur saturante par l'utilisation du taux d'évaporation qui reflète mieux les conditions dynamiques de l'evaporation. Le taux d'évaporation est relié à la concentration de vapeur saturante et au coefficient de transfert de masse. Finalement on donne la possibilité de calculer une variété d'indices correspondant à divers standards ou normes de qualité de l'air: VLE professionnelle, VLE pour l'air ambiant extérieur, concentration maximale dans l'air émis à l'extérieur et taux d'émission dans l'air extérieur.

Il est important de retenir que l'indice SUBFAC en soi n'a pas de signification absolue mais qu'il n'est utile que dans la comparaison entre diverses alternatives. Nous référons les lecteurs à l'article d'Olsen et coll. pour une description plus complète des indices SUBFAC et de l'usage du logiciel SUBTEC. Rappelions seulement que ce logiciel a déjà été cité dans la section précédente car il permet de suggérer des alternatives ayant des propriétés de dissolution proches de celles d'un solvant déterminé que l'on veut éliminer. Olsen et coll. donnent divers exemples d'utilisation de SUBTEC pour, à la fois, suggérer et évaluer des alternatives de substitution (Olsen, 1992).

Il faut finalement souligner que toute approche de comparaison basée sur l'utilisation des VLE, même associée à des corrections pour la volatilité et la non-idéalité, souffre des défauts bien connus associés à ces standards: nombre limité de substances couvertes, qualité très inégale de l'information toxicologique et de son interprétation, exclusion des effets cancérogènes et de l'absorption cutanée, influence des facteurs économiques. La possibilité que les solvants soient sous forme d'aérosol (opérations de pulvérisation) n'est pas considérée car les modèles physico-chimiques ne tiennent compte que de l'évaporation. D'autre part, puisqu'il s'agit de comparer généralement des mélanges, d'autres limitations sont à considérer: les effets reflétés par les VLE touchent des organes divers et ne sont pas nécessairement additifs; de plus les effets d'interaction éventuels ne sont pas inclus (Filskov, 1989; Goldschmidt, 1993; Olsen, 1992). Les auteurs soulignent que ces divers indices de danger ne doivent être vus que comme des mesures relatives portant sur le «risque» ou la «probabilité» de dépasser certaines normes. Il faut les utiliser de manière comparative entre diverses alternatives. Au vu des incertitudes qui les accompagnent, les diminutions se doivent d'être importantes (au moins cinq ou dix fois environ) pour considérer une substitution comme intéressante.

4.5.4 Évaluation toxicologique

Les propriétés toxiques des solvants, comme de toute substance, peuvent être l'objet de descriptions plus ou moins détaillées. À un extrême l'on retrouve une catégorisation très sommaire par grand type de danger, comme dans l'étiquetage des contenants, tandis que, à l'autre extrême, il est possible de recueillir, suite à une recherche bilbiographique, une description complète des connaissances sur les divers éléments relatifs aux voies d'absorption, au métabolisme, aux effets aigus, subchroniques et chroniques sur les divers organes et systèmes biologiques, chez l'animal et chez l'humain. Pour les fins de la substitution il apparaît important d'avoir une information synthétisée qui permette une évaluation comparative relativement aisée. Les paramètres le plus souvent recueillis portent notamment sur l'absorption, les toxicité aiguë et chronique, par voie d'inhalation si possible, les effets cutanés et sur les yeux, les effets génotoxiques, la classification de cancérogénicité, la reprotoxicité, l'allergie et la neurotoxicité (Riklik, 1991; Goldschmidt, 1993; Ansell, 1982; S0rensen, 1993; Filskov, 1989; Russell, 1992).

Même en présence d'information toxicologique complète et bien synthétisée, les auteurs admettent cependant que le processus de comparaison entre une substance et des substituts éventuels n'est pas nécessairement aisé (voir aussi la discussion).

4.6 FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

Nous avons vu que la substitution est de plus en plus motivée par des raisons de protection de l'environnement et de santé environnementale, et fait partie intégrante des stratégies visant à la prévention de la pollution. Quelle que soit l'origine de la motivation, environnement ou santé et sécurité du travail, il faut pouvoir évaluer l'ensemble des conséquences et impacts environnementaux d'une substitution envisagée, que cette dernière porte sur le procédé ou sur des substances ou produits. Parmi les points à considérer notons (Ansell, 1982; Bradley, 1990)

- la création de nouveaux résidus ou déchets;
- le traitement ou décharge de nouveaux résidus ou déchets;
- l'impact sur les systèmes de récupération (distillation, adsorption au charbon actif);
- les effluents;
- le traitement de l'eau;
- le transport;
- le stockage.

De même que pour les aspects de toxicologie industrielle, des informations sur les propriétés environnementales des substances (p.ex. bioaccumulation, biodégradabilité, potentiel de depletion de la couche d'ozone, potentiel de réchauffement global) peuvent être synthétisées de façon à rendre plus facilement comparables les diverses alternatives. Les aspects réglementaires jouent ici un rôle capital (couche d'ozone, composé organique volatil, polluant de l'air) (Wolf, 1993-1994).

Nous avons vu dans la section précédente que des indices de danger de type SUBFAC basés sur des normes ou standards portant sur la qualité de l'air et l'émission de contaminants peuvent être calculés et comparés à l'aide du logiciel SUBTEC (Olsen, 1992). Les limites de cette approche ont déjà été discutées.

4.7 FACTEURS HUMAINS ET ORGANISATIONNELS

Toute intervention dans un milieu de travail comporte nécessairement une dimension sociale. Que le processus de substitution soit motivé par des considérations de santé et sécurité du travail ou de qualité de l'environnement, il va se heurter à des formes d'inertie et de résistance au changement souvent bien ancrées dans les entreprises. Certains auteurs suggèrent même que les considérations psychologiques et politiques constituent de plus grands obstacles à la substitution que les considérations plus techniques (Huisingh, 1989; Olsen, 1992; S0rensen, 1992).

Divers aspects sociaux et organisationnels ont été décrits par Goldchmidt (Goldschmidt, 1993a; Goldschmidt, 1993b). Le point de départ du processus est souvent relié à des plaintes ou une certaine anxiété des employés, lesquels doivent être impliqués dans la suite de la démarche. L'employé est souvent celui qui connaît le mieux les particularités des procédés et des méthodes et peut ainsi suggérer des idées de substitution. C'est l'employé qui à son tour devra subir et faire fonctionner les changements opérés qui seront alors mieux acceptés si la démarche a été participative (Goldschmidt, 1993; Filskov, 1989). Cette démarche peut en fait impliquer, pour réussir, diverses catégories de personnels et de spécialistes: personnel d'entretien, services techniques, ingénieurs et chimistes, spécialistes en santé-sécurité et environnement, contremaîtres, fournisseurs, clients et utilisateurs. Dans cette équipe diversifiée, les spécialistes en santé-sécurité peuvent jouer le rôle de gérants de projet (Bradley, 1990; Goldschmidt, 1993a). Olsen insiste sur le rôle clé joué par les techniciens, lesquels sont souvent très impliqués dans la recherche et l'essai de substituts éventuels (Olsen, 1992).

L'opération de substitution doit recevoir l'appui explicite, sinon l'impulsion initiale, des plus hautes instances décisionnelles dans l'entreprise, étant donné que des coûts initiaux peuvent devoir être engagés, que des changements importants dans l'organisation du travail peuvent en ressortir et que la compétitivité de l'entreprise peut être modifiée. Forbes présente des exemples de programmes de prévention de la pollution (dont la substitution) planifiés au Canada dans divers secteurs industriels (Forbes, 1993). Les bénéfices que les compagnies peuvent retirer sont multiples et affecter positivement leur compétitivité (Huisingh, 1989; Laden, 1993; Russell, 1992; Forbes, 1993):

- amélioration de la qualité des produits,;
- bénéfices environnementaux (environnement général et milieu de travail);
- bénéfices financiers directs (coûts de prévention, coûts énergétiques, coûts des matières premières, coûts d'assurance diminués);
- meilleures relations de travail;
- meilleure productivité;

- meilleure image publique;
- meilleures relations avec la communauté;
- avantages au niveau du marketing.

4.8 LISTE SYNTHÉTIQUE DES FACTEURS À CONSIDÉRER

Dans le but de faciliter la mise en oeuvre concrète de la substitution, l'annexe 4 détaille sous forme de liste un certain nombre de facteurs à considérer. Les paramètres présentés sont extraits des données du présent chapitre ainsi que des chapitres 5 à 12 couvrant les utilisations prioritaires des solvants.

4.9 DISCUSSION, LE CHOIX DES ALTERNATIVES

Nous avons défini la substitution d'une substance dangereuse en terme de son élimination par son remplacement ou par un changement de procédé. Nous avons présenté dans ce chapitre le contexte conceptuel qui situe la substitution, telle que définie, au sommet de la hiérarchie des activités de prévention en entreprise et pour la société en général, que ce soit pour la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs ou pour la protection de l'environnement et de la santé environnementale. Nous avons résumé les approches permettant d'analyser de façon globale chaque situation où une substitution peut être envisagée, et ce, en fonction des divers facteurs qui entrent en ligne de compte: technique, coûts, santé et sécurité du travail et environnement. Il ressort de cette revue que la substitution, toute bénéfique qu'elle soit, peut être un processus complexe dont il faut aussi connaître les limitations, ce dont nous discutons dans cette section.

Élimination d'une substance dangereuse ne veut pas dire élimination de tout danger. À un nouveau procédé ou à une nouvelle substance sont généralement associés de nouveaux dangers; c'est dans la comparaison des situations, avant et après substitution, que réside le coeur et la principale difficulté de la démarche. Cette comparaison doit s'effectuer *a priori,* lors du processus de sélection d'alternatives possibles, comme *a posteriori,* suite à l'implantation de l'alternative sélectionnée.

Tous les auteurs admettent que la comparaison *a priori* des dangers peut être un exercice complexe. Selon Bradley et coll. des compromis sont inévitables dans la recherche de la meilleure combinaison (Bradley, 1990). Russell indique également la nécessité de faire des choix et insiste sur l'utilité de bien connaître les cas qui ont réussi ailleurs (Russell, 1992).

S0rensen et Styhr Petersen soulignent que les substances dans la situation finale doivent non seulement être moins dangereuses que dans la situation initiale, mais que cette différence doit être la plus grande possible. D'autre part les méthodes traditionnelles de prévention peuvent devoir être toujours utilisées. Ils indiquent que la priorité est à donner à l'élimination des substances avec des effets toxiques à long terme, mais soulignent en même temps le manque d'information ou l'incertitude sur ces mêmes effets (Sørensen, 1991; Sørensen, 1992; Sorensen, 1993a).

Wolf et coll. se sont spécialement intéressés au cas des solvants halogènes, et notamment des chlorés, et de leurs substituts potentiels dans les opérations de nettoyage. Ils mettent en évidence les difficultés de comparaison, par exemple entre un solvant qui provoque des cancers hépatiques chez la souris et un autre qui contribue au smog photochimique. Même seulement au niveau technique les compromis sont complexes, sans compter les dimensions santé et environnement, coûts et réglementation. Selon ces auteurs il faut reconnaître et admettre les divers compromis à effectuer. Leur système de classification générique des solvants permettrait de clarifier les choix à effectuer (Morrison, 1985; Wolf, 1993-1994; Wolf, 1987; Wolf, 1991).

Dans leur discussion sur le pour et le contre des programmes de réduction des produits toxiques, Laden et Gray exposent les critiques apportées, principalement par l'industrie, à l'approche de substitution. Ils soulèvent eux aussi le problème toxicologique, notamment l'introduction de nouvelles substances, insuffisamment testées, dont les effets toxiques ne sont découverts qu'après usage. De même des compromis peuvent être nécessaires et l'on se trouve à échanger un danger contre un autre et à devoir investir dans de nouvelles mesures de prévention (Laden, 1993).

Il peut être intéressant, à propos de toxicité, d'illustrer ici par quelques exemples, relevés par certains auteurs, divers effets nocifs associés au processus de substitution dans le domaine des solvants. Tout d'abord il se peut, comme déjà mentionné, que la substitution introduise une nouvelle substance dont les propriétés toxiques se révèlent, après usage, plus importantes que prévu. Cela a été le cas de certains éthers de glycol, introduits notamment dans de nombreuses formulations aqueuses, dont la reprotoxicité s'avère un problème majeur. Le d-limonène présente des problèmes d'odeur et d'allergie cutanée. Il se peut également que, pour des raisons environnementales, on revienne à l'utilisation de solvants dangereux en milieu de travail. Par exemple l'utilisation de solvants dérivés du pétrole, comme le solvant Stoddard, en remplacement du 1, 1, 1-trichloroéthane peut causer des problèmes de sécurité en raison de leur inflammabilité. Les acrylates utilisés dans des liants photodurcissables aux UV peuvent être allergisants, de même que les résines époxy utilisées dans les peintures en poudre. L'utilisation de procédés à base d'eau plutôt que de solvants entraîne un déplacement de la pollution en direction de l'égout lequel reste relativement peu contrôlé (Laden, 1993; Sorensen, 1992; Wolf, 1987; Wolf, 1991).

Les exemples présentés ci-dessus illustrent des difficultés qui ne sont pas insurmontables dans la mesure où les dangers sont mieux connus à l'avance et que les précautions adéquates peuvent être prises. Ceci renforce la notion d'exigence en ce qui concerne les tests toxicologiques que doivent subir les nouvelles substances avant d'être introduites dans le milieu de travail ou dans l'environnement. De même, pour une bonne appréciation de la panoplie des impacts de la substitution, il ne faut pas se contenter de données approximatives et limitées au seul milieu de travail ou au seul environnement général. Les approches et outils présentés dans cette section, bien qu'imparfaits, peuvent servir de guide à la décision. Il n'en demeure pas moins que les compromis que l'on pourrait avoir à effectuer doivent être bien documentés, acceptés en fonction de critères bien explicités et gérés dans les règles de l'art de la prévention.

Deuxième partie

La substitution des solvants dans les utilisations prioritaires

Introduction à la deuxième partie

La deuxième partie de ce rapport porte sur la substitution des solvants dans huit utilisations spécifiques représentant cinq grandes catégories que nous avons évaluées comme prioritaires: la peinture, l'imprimerie, le nettoyage-dégraissage-décapage de surfaces métalliques, les adhésifs et les polyesters stratifiés. Le choix de ces catégories d'utilisation résulte d'une synthèse des informations recueillies à l'occasion des recherches et enquêtes effectuées dans la première phase de nos travaux et décrites dans les chapitres 2 et 3 du rapport.

Ainsi les données de consommation de solvants au Québec placent aux quatre premières places les secteurs des revêtements (peintures), des encres (imprimerie), du dégraissage des métaux et des adhésifs. Pour ces quatre types d'application les données internationales ou québécoises sur les niveaux d'exposition, ainsi que notre enquête dans les secteurs d'activité économique, mettent en évidence une situation préoccupante principalement au niveau des utilisateurs de ces produits, lesquels sont répartis dans plusieurs secteurs d'activité économique.

Le domaine du nettoyage-dégraissage étant très vaste nous avons choisi de le traiter en quatre chapitres présentés consécutivement. Le premier chapitre traitant du nettoyage-dégraissage de surfaces métalliques en général est complété de deux chapitres particuliers portant l'un sur le nettoyage-dégraissage des instruments de précision et l'autre sur le nettoyage de composants électroniques lors de leur fabrication, applications souvent traitées à part dans la littérature. Quant au décapage de revêtements il s'agit d'une application très particulière de nettoyage par des solvants qui méritait d'être traitée dans un chapitre à part.

La problématique du styrène dans la fabrication d'objets en polyesters stratifiés ressort très nettement des données sur les niveaux d'exposition au Québec ainsi que de la littérature internationale en général. Bien que le styrène y joue un rôle de solvant réactif plutôt que passif nous avons choisi d'approfondir cette application à cause des préoccupations exprimées par de nombreux intervenants.

L'approche de présentation des chapitres étant sectorielle, certains éléments portant sur des substances ou des procédés particuliers se trouvent à être présentés dans plus d'un chapitre. En conséquence il est conseillé de se référer à l'index pour identifier les sections complémentaires au sujet d'intérêt.

CHAPITRE 5. PEINTURES, VERNIS ET LAQUES

5.1 INTRODUCTION

Ce chapitre a pour but de faire un bilan de la substitution de solvants dans le domaine des peintures, vernis et laques comme moyen de réduire le risque toxique et l'émission des composés organiques volatils (COV) lors de l'utilisation ou de la fabrication de ces produits. Le secteur des revêtements est extrêmement important en terme des quantités de produits et du nombre de travailleurs impliqués. Aux États-Unis, les ventes annuelles de peintures et produits connexes ont atteint la somme de 13 milliards de dollars US en 1993 (Reisch, 1994). Au Canada, 146 compagnies employant approximativement 8 600 personnes ont produit pour l'équivalent de 1,6 milliard de dollars US de ventes en 1990 (Hacker, 1993).

Aux États-Unis, le secteur de la production des revêtements organiques connaît actuellement une phase importante de développement de nouveaux produits afin de pouvoir être en mesure de respecter la réglementation de l'Environmental Protection Agency (EPA) portant sur les limites d'émission des COV qui sera en vigueur en 1996. En outre, l'EPA a établi une liste de solvants hasardeux dont l'usage devra être graduellement réduit pour atteindre en 1995 la moitié des niveaux de 1988. Parmi cette liste, on retrouve des solvants qui sont couramment employés dans les formulations de peintures dont la méthyléthylcétone (MEK), la méthylisobutylcétone (MIBK), le toluène et le xylène. On parle déjà d'ajouter à cette liste le méthanol, l'isophorone et l'éthylène glycol (Reisch, 1993).

Quant aux utilisateurs de revêtements, l'EPA offre une aide aux petites et moyennes entreprises (PME) pour qu'ils effectuent une transformation de leurs procédés en des procédés moins polluants faisant appel à des revêtements substituts ou à des technologies d'application plus performantes.

Au Canada, le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) a élaboré un plan de gestion visant à limiter les émissions de COV. Le programme implique divers secteurs industriels dont celui de la fabrication de peintures. Des objectifs de réduction de COV ont été fixés pour certains types de peinture. De plus, Environnement Canada a mis sur pied un programme de Choix environnemental qui permet aux entreprises qui le désirent d'obtenir l'autorisation d'apposer le sigle Eco-Logo sur leurs produits, s'ils sont en mesure de respecter les exigences particulières de ce programme. Parmi les exigences relatives aux solvants, aucun solvant halogène ne doit être utilisé, il doit y avoir moins de 10 % de solvants aromatiques, le point d'éclair doit être supérieur à 37°C et la concentration de COV doit être inférieure à 380 g/l (Environnement Canada, 1992).

Il y a donc un mouvement important vers la réduction de l'utilisation de solvants organiques dans les revêtements. L'amélioration de l'environnement est un facteur de changement très important. Tout l'aspect de la réduction de la toxicité des substances employées est aussi un facteur d'importance non négligeable.

Ce chapitre traite successivement des points suivants: définition des revêtements et description des liants et des solvants communément employés, les revêtements substitutifs, les différentes technologies d'application, la formulation de peintures substitutives et la description de cas pour plusieurs secteurs d'utilisation. On termine avec une description de divers changements dans le domaine des technologies d'application des revêtements.

5.2 REVÊTEMENTS À BASE DE SOLVANTS

5.2.1 Définition des termes et composition (De Craecker, 1986)

Dans le cadre de ce rapport, le terme **revêtement** est un terme générique qui sert autant pour les peintures que pour les produits connexes comme les laques et les vernis (CCME, 1993). Le revêtement est appliqué en couches minces sur des surfaces pour fin décorative et de protection.

Généralement, une **peinture** est un mélange constitué de pigments et de charges en suspension dans un véhicule liquide contenant un liant, des additifs et un ou plusieurs solvants. L'élément liant du revêtement est non volatil et les solvants sont volatils.

Un **vernis** a une composition comparable aux peintures mais il est essentiellement composé d'un liant et de solvant(s). S'il est teinté, c'est qu'on a ajouté un colorant soluble dans le liant et le(s) solvant(s).

La distinction entre un **émail** (« enamel») et une peinture n'est pas très nette. Les émaux sont aussi des peintures mais généralement avec des liants aux poids moléculaires plus élevés que ceux employés pour les autres peintures. Ils sont donc formulés à des concentrations plus faibles en solides. Ils sont aussi formulés avec un rapport pigment/liant plus faible et ont, par conséquent, un lustre plus élevé (Lowell, 1985).

Une **laque** est un type de peinture à séchage rapide par simple evaporation plutôt que par un phénomène de polymérisation ou d'oxydation.

Les **liants** forment une phase continue, maintiennent en place le pigment dans le film séché, et permettent son adhérence à la surface recouverte. Des exemples de type de liants sont les résines alkydes, acryliques, vinyliques, époxy, polyesters, polyuréthanes, aminées, cellulosiques (IARC, 1989). La prochaine section traitera plus en détail des divers types de liants.

Les **pigments** fournissent la coloration, l'opacité et une certaine durabilité au revêtement. Ils contribuent à donner une certaine résistance mécanique et chimique au liant et vont le protéger contre les effets destructeurs des rayons ultraviolets.

Des **charges** ou pigments de masse («fillers») vont servir à remplacer partiellement le pigment, par un produit non opaque ou peu opaque, moins cher. C'est en fait un diluant pour pigment, permettant ainsi d'améliorer l'aspect satiné ou mat du mélange.

Les **solvants** servent à maintenir les revêtements à l'état liquide et permettent leur application sous la forme d'une couche mince. Quant un revêtement est appliqué à l'aide d'un système de pulvérisation sur une surface donnée, le solvant permet la formation d'un brouillard et la distribution uniforme du produit sur la surface pour finalement s'évaporer complètement. On traitera plus en détail des solvants dans la section portant sur la «Description des solvants» et des différents systèmes de pulvérisation à la section «Technologies d'application des revêtements».

Des **additifs** doivent être ajoutés pour protéger le mélange et lui donner certaines propriétés. Par exemple, on protège le liant contre l'oxydation et la dégradation photochimique par l'addition d'antioxydants ou on ajoute des agents fongicides pour protéger les mélanges contre la formation de moisissures. D'autres substances sont ajoutées aux latex pour améliorer la coalescence des particules ou encore pour prévenir la formation excessive de mousse suite à l'addition d'agents tensioactifs. Les additifs sont généralement ajoutés en faibles quantités, de l'ordre de 0,2 à 10 % (CCMEJ993).

5.2.2 Description des liants ou résines

Les liants sont des résines ou des huiles d'origine naturelle ou synthétique. Ce sont en fait des polymères dont le rôle est de former un film solide et homogène qui va adhérer aux différentes surfaces. Ils fournissent un lustre, une dureté et une résistance aux revêtements. Les principales résines employées sont décrites au tableau 5.1.

Il y a un certain nombre de dangers pour la santé qui sont associés à l'utilisation de ces résines et produits connexes. Par exemple, les résines époxy peuvent provoquer des eczémas. En raison des isocyanates qu'ils contiennent, les polyuréthanes peuvent provoquer des irritations des voies respiratoires et de l'asthme (Leleu, 1980). Le risque principal des résines aminées (urée et mélamine-formaldéhyde) vient du formaldehyde qu'ils peuvent émettre et du phénol ou des composés aminés résiduels responsables de dermites d'irritation ou allergiques (Leleu, 1980). Les durcisseurs employés peuvent être caustiques et provoquer des allergies pour la peau et les voies respiratoires. De Craecker présente une liste détaillée des effets toxiques des liants (De Craecker, 1986).

5.2.3 Description des solvants

Des centaines de solvants sont utilisés dans la formulation des revêtements (Flick, 1991). La plupart du temps on utilisera un mélange de quelques solvants dans la composition d'un revêtement, chacun ayant une fonction précise. Ainsi le solvant le plus volatil ou solvant «léger» s'évapore extrêmement rapidement, à tel point, qu'avec certains d'entre eux, les gouttelettes de peinture commencent à sécher dès la sortie d'un pistolet vaporisateur. Un exemple de solvant léger est l'acétone. Les solvants lourds s'évaporent très lentement. Ils donnent le temps au liant de s'étaler sur la pièce, ce qui donne une surface très lisse, mais longue à sécher. On ne les utilise donc qu'en faible quantité. Un exemple de solvant lourd est le xylène. Quant aux solvants moyens, ils permettent aux gouttelettes de se réunir et de

former un film homogène et bien tendu. Un exemple de ce type de solvant est l'alcool éthylique (Perrin, 1981).

Tableau 5.1
Description des principales résines utilisées dans les peintures et vernis

Type de résine (ordre décroisant d'usage)	**Description**
Alkyde	Ce sont des résines résultant de l'estérification de polyalcools par des diacides phtaliques et modifiées avec des acides gras. Les résines glycérophtaliques sont une classe importante des résines alkydes.
Acrylique	Ce sont surtout des esters de méthyle, d'éthyle, de butyle et de 2-éthylhexyle des acides acryliques et méthacryliques, ce qui revient à dire des polyacrylates ou polyméthacrylates de méthyle, d'éthyle, etc.
Vinylique	Les polyvinyles caractérisés par le motif chimique (-CH2-CHR-)n regroupent un ensemble de macromolécules aux propriétés différentes selon la nature du radical R. Les principaux produits sont le chlorure de polyvinyle, l'acétate de polyvinyle et le butyral de polyvinyle.
Époxy	Elles sont généralement produites à partir de l'épichlorhydrine et de bis-phénol A. Le durcisseur réagit, soit avec la fonction époxyde (très fréquent), soit avec l'hydroxyle du diphénol (peu fréquent). Exemples de durcisseur: polyamine et polyamide (pour réagir avec les époxydes) ou polyisocyanates (pour réagir avec les groupes hydroxyles).
Uréthane	Les polyuréthanes à un composant sont constitués de prépolymères avec des terminaisons isocyanate en solution qui vont réagir sous l'action de l'humidité. Les polyuréthanes à 2 composants sont le produit de la réaction entre un isocyanate et un composé hydroxylé (polyalcool, polyester, résine acrylique, polyéther, eau).
Aminée	Les plus courantes sont obtenues par la condensation de l'urée ou de la mélamine avec le formaldehyde. On les identifie par les termes urée formaldehyde et mélamine formaldehyde.
Cellulosique	Elles sont obtenues par nitration ou estérification de la cellulose purifiée.
Polyester	Ce sont des polymères insaturés faits à partir de la condensation de diacides sur des dialcools (glycols). Les alkydes sont un sous-ensemble des polyesters.
Phénolique	Elles sont obtenues par la polycondensation de phénols et d'aldéhydes. Les plus courantes sont les résines phénol-formaldéhyde. Deux types de résines sont produites: les résines linéaires (novolaques) qui sont des thermoplastiques et sèchent à l'air, et les résines ramifiées (résols et phénoplastes) qui sont thermodurcissables et doivent subir une cuisson au four.
Silicone	C'est un polymère (polysiloxane) réticulé à partir de silanols.
Naturelle	Produits tels que les huiles de lin, de soya, de carthame.

(Bost, 1985; De Craecker, 1986; Farhi, 1986; IARC, 1989)

On classe aussi les solvants selon les termes actif, diluant ou latent (Rivard, 1981). Lorsqu'il est actif par rapport à un liant donné, il est capable de le mettre en solution. S'il est classé comme diluant, il ne dissout pas le liant mais une certaine quantité peut être tolérée en présence d'un solvant actif. Il est ajouté pour réduire les coûts en solvant. Lorsqu'il est latent, il ne peut que dissoudre partiellement le liant et en présence d'un solvant actif il produira des effets synergiques, c.-à-d. que la combinaison des deux solvants va donner des propriétés de mise en solution supérieures à celles de chacun des solvants utilisés séparément (Ellis, 1986).

Lors de la conception d'un revêtement, on établit d'abord une liste des solvants (Ellis, 1986) capables de dissoudre le(s) liant(s) qui seront utilisés et on sélectionne les solvants qui ont une volatilité correspondant au type d'application et de séchage envisagé, c.-à-d. à l'air ou au four (Perrin, 1981). Évidemment, le coût du solvant constitue un autre critère de sélection très important de même que les aspects de santé et sécurité du travail et de l'environnement.

Une liste des principaux solvants utilisés dans la composition des revêtements est présentée au tableau 5.2. Une description sommaire des principaux risques associés à l'utilisation des solvants est donnée au chapitre 2 dans la première partie de ce rapport.

5.3 REVÊTEMENTS SUBSTITUTIFS

On regroupe sous le qualificatif de revêtements substitutifs les revêtements développés afin de réduire en partie ou en totalité la quantité de solvants organiques utilisés dans leur formulation. On distingue cinq grandes classes de revêtements substitutifs:

- à base d'eau;
- en poudre;
- à haute teneur en solides;
- réactifs aux rayons ultraviolets (UV) et au faisceau d'électrons (EB);
- avec $C0_2$ supercritique (Unicarb^{MD}).

Pour chacun de ces types de revêtements, on présente dans les prochaines sections leur description, leur composition, les avantages, les désavantages, les risques pour la santé reliés à leur utilisation pour terminer par des exemples d'application.

5.3.1 Les revêtements à base d'eau

Description Les peintures à l'eau sont faites à partir de résines synthétiques. On distingue deux grandes classes de peintures aqueuses, les peintures hydrodiluables et hydrosolubles. Les peintures hydrodiluables sont appelées plus communément latex et emulsion. Ces deux termes sont souvent considérés comme synonymes mais ils ne le sont pas en réalité. Une peinture au latex consiste en une dispersion de particules solides de polymère dans l'eau tandis qu'une peinture emulsion est une dispersion liquide-liquide (Wicks, 1994). La plupart des peintures qu'on appelle hydrosolubles sont en réalité des solutions constituées de solides dissous dans des solvants miscibles dans l'eau. Les solides ou résines ne sont effectivement pas réellement

solubles dans l'eau mais ils le sont plutôt dans les solvants (Wicks, 1994). Nous utiliserons quand même le terme hydrosoluble à défaut d'un meilleur terme. En anglais, on utilise le terme «water-reducible» pour désigner ces peintures.

TABLEAU 5.2

Liste des solvants les plus utilisés dans
les revêtements aux États-Unis en 1985

Classe	Solvants les plus utilisés	Consommation relative estimée (%)
Hydrocarbures aliphatiques	Solvant Stoddard ou aussi appelé essences minérales ou «White spirits»	22
Hydrocarbures aromatiques	Toluène	14
	Xylènes	11
	Autres: (éthylbenzène, etc.)	4,3
Alcools	Alcool éthylique	3,5
	Alcools butyliques	4,9
	Alcool isopropylique	2,1
	Autres alcools	1,5
Cétones	Acétone	4,6
	Méthyléthylcétone (MEK)	8
	Méthylisobutylcétone(MIBK)	2,6
Esters	Acétate d'éthyle	1,9
	Acétates de butyle	3,7
	Acétates de propyle	0,5
	Autres cétones et esters	3,9
Glyools	Éthylène glycol	1,8
Éthers	Ethers de glycol et leurs esters	7
Solvants chlorés	Dichlorométhane, perchloroéthylène, etc.	1,1

N. B. Les valeurs présentées sont relatives à la consommation totale des solvants utilisés dans cette industrie.
(tiré de IARC, 1989)

Composition Les liants employés autant pour les produits hydrodiluables que pour les produits hydrosolubles sont du type vinylique, acrylique, polyester, alkyde, époxy et phénolique. Les liants employés uniquement pour les peintures hydrodiluables sont le nitrate, l'acétate et le

butyrate de cellulose, des polyamides, des polyuréthanes et des produits bitumineux. Et finalement, les liants employés seulement pour les produits hydrosolubles sont l'urée-formaldéhyde et la mélamine-formaldéhyde (Charretton, 1987).

Pour éviter le gel, la sédimentation ou la coagulation des résines et pour abaisser la tension superficielle, on ajoute des agents de coalescence aux peintures hydrodiluables à des concentrations variant entre 2 et 5 % en poids et des cosolvants aux peintures hydrosolubles à des concentrations de 10 à 20 %. Les mêmes produits chimiques jouent les deux rôles que ce soit dans les peintures hydrodiluables ou hydrosolubles (Charretton, 1987). Pour ce faire, on emploie typiquement des glycols, des éthers de glycol ou des esters d'éther de glycol. Ils sont ajoutés au plus à environ 2 % dans les produits pour les murs et plafonds et à 7-8 % dans les peintures pour la menuiserie. Les solvants typiquement employés pour les peintures à bâtiments sont l'hexylène glycol, le Texanol^{MD} (2, 2, 4-triméthyl-1, 3-pentane diolmonoisobutyrate) et le propylène glycol. Enfin, pour les peintures industrielles, on utilise le butylglycol et le butyldiglycol à des concentrations variant de 5 à 15 % (Wahlberg, 1992).

On emploie aussi des aminés de neutralisation pour augmenter la solubilité dans l'eau des liants hydrosolubles et pour améliorer la stabilité des peintures hydrodiluables. Les aminés sont surtout utilisées dans les peintures hydrosolubles à des doses variant entre 1 et 3 % en poids. Les produits utilisés sont surtout l'ammoniac (qui n'est pas strictement une aminé) mais aussi la triéthylamine et autres amines (Charretton, 1987). Wicks mentionne que le N, N-diméthylaminoéthanol (DMAE) est probablement l'aminé la plus utilisée. Il mentionne que l'on utilise aussi des trialkylamines (Wicks, 1994).

Avantages Mis à part leurs avantages du point de vue de la sécurité, de la réduction des déchets dangereux et des COV, les revêtements à base d'eau permettent des changements de couleurs rapides et le nettoyage des équipements est grandement facilité. On peut aussi recirculer de l'air chaud dans les fours servant au séchage et à la reticulation des résines, ce qui est beaucoup plus difficile à faire pour des résines à base de solvants organiques compte tenu des risques d'explosion. Cette recirculation d'air va normalement résulter en une réduction significative des coûts en énergie (McMinn, 1992). Étant donné les risques plus faibles d'explosion et d'incendie lors de l'application et du stockage des revêtements à base d'eau, il y a généralement une réduction en coûts d'assurances.

Désavantages Le niveau d'humidité va influencer le temps de séchage des résines qui doivent être réticulées à la température ambiante. La température et le niveau d'humidité peuvent aussi modifier le fini du revêtement et diminuer le lustre. Le besoin de traiter préalablement les surfaces est un autre désavantage car les surfaces doivent être très propres pour que l'adhérence soit bonne. Il est possible qu'il soit nécessaire d'utiliser des solvants organiques pour nettoyer les surfaces, ce qui aura pour conséquence d'augmenter l'émission des COV. Finalement, les revêtements à base d'eau vont favoriser la corrosion des équipements, ce qui force l'utilisation de matériel en acier inoxydable (McMinn, 1992).

Risques Il est intéressant de noter les conclusions d'une étude du Health & Safety Executive (HSE) en Angleterre qui a comparé les peintures à base d'eau à celles à base de solvants organiques lors de l'application à l'intérieur de bâtiments. Ils ont démontré que l'utilisation de peintures à base d'eau dans une pièce non ventilée permet de respecter les limites d'exposition permises pour les solvants organiques. Ce qui n'était pas le cas des peintures à base de solvants organiques, qui pour la plupart, ont dépassé les normes à l'exception des peintures à base de solvants isoparaffiniques (Mehta, 1991).

Il faut noter que même si les éthers de glycol sont des cosolvants ou agents de coalescence avec une faible volatilité, ils sont reconnus pour leur facilité à traverser la peau. Les éthers de l'éthylène glycol sont de plus en plus reconnus comme étant problématiques pour le système reproducteur. Cela a été démontré pour le 2-méthoxyéthanol et le 2-éthoxyéthanol et leurs acétates (Wahlberg, 1992). Si l'on doit utiliser ces produits, il est préférable que ce soit des éthers dérivés du propylène glycol plutôt que des dérivés d'éthylène glycol. Pour plus d'informations sur les éthers de glycol et leurs effets sur la santé, voir l'article publié par l'INRS (France) (Cicolella, 1992).

Les produits de neutralisation tels que l'ammoniac et la triéthylamine ont une forte odeur et peuvent causer une irritation des yeux et des voies respiratoires (Wahlberg, 1992). Les aminés aliphatiques volatiles peuvent provoquer des dermatites eczématiformes et de l'asthme (Charretton, 1987). L'importance de ces risques est toutefois amoindrie par le fait que ce sont de faibles doses d'aminés qui sont ajoutées dans les peintures.

Applications Des exemples de produits à base d'eau sont donnés dans la section portant sur la «Substitution selon le type de produits». On a utilisé des revêtements à base d'eau avec succès sur des surfaces en métal, en bois et en plastique (Tellus Institute, 1993).

5.3.2 Les revêtements en poudre (Hestar, 1989)

Description Les peintures en poudre sont des mélanges ne contenant pas de solvant. Elles sont maintenant disponibles dans une très grande gamme de couleurs et de textures. Il existe deux types de revêtements en poudre: les thermoplastiques et les thermodurcissables.

Poudres thermoplastiques Comme les poudres thermoplastiques ne sont utilisées que dans les applications de film épais, elles ne servent pas comme peintures mais plutôt comme matériau de revêtement de plastique résistant aux produits chimiques et pour leurs propriétés de résistance mécanique. Elles ont une fonction protectrice plutôt que décorative. On ne traitera donc pas de ces matériaux dans ce travail. Les plus courantes sont composées de polyethylene, de polypropylene, de nylon, de chlorure de polyvinyle et de polyester.

Poudres thermodurcissables Les poudres thermodurcissables ont des poids moléculaires plus faibles que les poudres thermoplastiques. Lorsqu'elles sont chauffées, après application, elles s'écoulent en une fine couche uniforme réagissant chimiquement pour former un réseau de reticulation à haut poids moléculaire. Une fois la réaction

complétée, elles ne se ramollissent pas lorsqu'on les chauffe de nouveau.

On utilise surtout des systèmes de projection électrostatique pour effectuer l'application des poudres. On peut aussi utiliser un lit fluidisé standard ou de type électrostatique. La plupart des revêtements doivent être chauffés entre 121 et 182°C pour une période de 15 à 30 minutes afin de fondre les poudres et compléter la reticulation des résines. Même si les poudres sont surtout utilisées sur des pièces en métal, on les a aussi utilisés sur des surfaces en plastique, en verre, en céramique et en bois (Tellus Institute, 1993). Les surfaces non métalliques peuvent être recouvertes de poudres suite à l'application d'un produit électrostatique (Tellus Institute, 1993). On a aussi développé des résines qui peuvent être réticulées à de faibles températures, rendant possible le recouvrement de pièces en plastique et en bois (Tellus Institute, 1993).

Le rythme de développement de nouveaux produits est très rapide. Depuis le début des années 80, la croissance aux États-Unis a été de l'ordre de 20 % par année. En 1987, les poudres avaient une part de 8 % du marché des revêtements utilisés par les industries de finition. Des améliorations techniques dans plusieurs domaines ont permis cette croissance phénoménale. Aux USA, la législation portant sur la réduction des COV, les coûts énergétiques, la protection de la santé et sécurité des travailleurs, ont contribué à l'essor de ces produits de remplacement.

Composition Elles sont faites à partir de résines époxy, polyesters, acryliques et polyuréthanes. De ces quatres résines, cinq types de poudres thermodurcissables sont produites: la poudre à base de résine époxy, la poudre époxy-polyester, la poudre polyester durcie à l'isocyanurate de triglycidyle (TGIC), la poudre acrylique-uréthane et la poudre polyester-uréthane.

Avantages Les nouvelles résines permettent de rencontrer les spécifications de la plupart des produits. On peut produire des films minces de moins de 25 µm à environ 76 µ*m* dans une grande gamme de couleurs, lustres, textures avec un taux d'efficacité de 95 % et plus. Des systèmes bien conçus permettent de changer de couleur en quelques minutes. Des systèmes à haut volume de production peuvent appliquer plus de 20 couleurs différentes avec plusieurs changements de couleurs par jour. Il demeure néanmoins que les changements de couleurs peuvent être problématiques et être une source de contamination si les systèmes en place ne sont pas adéquats.

L'application des poudres élimine les problèmes traditionnels des peintures à solvants tels que l'égouttement ou la formation de bulles. Le fini du revêtement est plus uniforme et il est aussi exceptionnellement dur et résistant aux impacts (McMinn, 1992). Les poudres permettent de recouvrir les pièces plus rapidement et le taux de rejet est aussi réduit. L'enrobage des pièces à l'aide du système de pulvérisation électrostatique requiert moins de précision de la part de l'opérateur et il n'est plus nécessaire de vérifier la viscosité des mélanges de peintures ou de faire le mélange de solvants (McMinn, 1992). La technique d'application étant plus simple que celle pour les liquides, la formation des opérateurs est plus facile.

On a amélioré les systèmes d'application et de récupération rendant ce type de revêtement très compétitif en terme de coûts. Presque tout (99 %) le matériel pulvérisé en trop peut être capté et recyclé par un système de filtration (Tellus Institute, 1993). Comme la plupart de ces matériaux ne sont pas considérés dangereux pour l'environnement, le coût d'élimination des déchets solides est fortement réduit (Tellus Institute, 1993). En outre, comme les poudres ne contiennent pas de solvants et qu'elles sont appliquées dans des cabines sans utiliser d'eau, il y a élimination des problèmes de pollution de l'air et de l'eau. Les émissions de COV des poudres sont de l'ordre de 98 % plus faibles que pour les revêtements liquides traditionnels. Étant donné l'absence d'émissions significatives de COV, il y a réduction des coûts attribuables à la ventilation et au chauffage.

Désavantages Par contre, les poudres ne sont pas encore disponibles dans la variété de couleurs, de finis et de textures des revêtements traditionnels. Par exemple, il n'y a pas de poudres fournissant un fini similaire aux peintures métalliques utilisées dans les ateliers de réparation de carrosserie automobile ou permettant de rehausser le grain des surfaces de bois (McMinn, 1992).

Dangers Le danger le plus important lors de la production ou de l'application des poudres réside dans le potentiel d'explosion. Richart décrit en détail le matériel requis et les mesures à prendre afin d'empêcher les explosions (Richart, 1985).

Quant aux dangers toxiques, une attention particulière doit être portée à l'exposition par inhalation et par contact cutané. L'irritation des yeux et la toxicité par ingestion doivent être aussi considérées. Diverses études ont été complétées pour vérifier ces aspects pour les poudres à base acrylique, époxy et polyester TGIC. Même si ces études ont démontré que les poudres ne semblaient pas constituer un risque significatif pour la santé des travailleurs, les concentrations de ces poudres devraient être gardées sous la TLV de 10 mg/m^3 (Richart, 1985). A cet effet, tout doit être mis en oeuvre pour assurer une ventilation suffisante des locaux de travail. Il faut aussi tenir compte qu'il peut y avoir dégagement de constituants volatils des résines ou des durcisseurs lors de la reticulation à chaud (Farhi, 1986). Des gants et masques devraient être portés lorsque les poudres peuvent entrer en contact avec les travailleurs soit lors de manipulations ou de transferts. La peau doit être lavée avec de l'eau et du savon (Tellus Institute, 1993). En général, les risques toxiques dûs aux peintures en poudre sont nettement plus réduits qu'avec les peintures à solvants (De Craecker, 1986).

Applications Comme ce type de revêtement est peu connu, on présente au tableau 5.3 quelques exemples d'applications sous la forme d'une liste parmi les quelques 200 utilisations rapportées dans la littérature (Hestar, 1989; Richart, 1985).

5.3.3 Les revêtements à haute teneur en solides

Description Les revêtements à haute teneur en solides contiennent typiquement de 40 à 100 % de solides comparativement à 8 à 30 % pour les revêtements traditionnels (McMinn, 1992). Ils sont constitués de résines à faibles poids moléculaires ayant des sites réactifs qui réagiront au moment de l'application (Randall, 1992).

On peut appliquer ce type de revêtements sur des surfaces en bois, en plastique et en métal mais les meilleurs résultats ont été obtenus sur des surfaces métalliques (Tellus Institute, 1993).

Composition Les polymères couramment employées pour les produits à haute teneur en solides sont les résines polyuréthanes, phénoliques, polyesters saturés, alkydes, acryliques, époxy et polysiloxanes. Les polyuréthanes sont soit à un composant avec des terminaisons isocyanates qui vont réagir avec l'humidité de l'air ou à deux composants qui une fois mélangés auront une durée de vie très courte avant de se polymériser (McMinn, 1992).

Avantages Comme ils contiennent moins de solvants organiques, les effets polluants sont réduits et le milieu de travail s'en trouve amélioré. Ils sont dotés d'un pouvoir couvrant accru et donc un moins grand nombre de couches sont requises pour l'application sur une pièce donnée.

Tableau 5.3

Quelques exemples des applications
des revêtements en poudre

Application	**Revêtement**		
	Époxy et époxy-polyester	Polyester-TGIC et polyester-uréthane	Acrylique uréthane
Peintures automobiles	Volants d'automobiles Pièces de finition intérieures	Roues Boîtes à outils Essuies-glace Pare-chocs	
Biens de consommation générale	Lampes de bureau Aspirateurs Microphones	Souffleuses à neige Systèmes d'air climatisé Antennes Outils de jardinage	Poêles Laveuses Autres appareils électroménagers
Produits industriels	Fournitures médicales Boîtes à outils Boîtiers de photocopieur Pompes à eau	Tondeuses à gazon Châssis de motocyclettes Châssis de vélos Panneaux de signalisation routière	
Produits électriques et électroniques	Boîtes de jonctions Boîtes électriques		

(tiré de Hestar, 1989; Richart, 1985)

Désavantages Compte tenu que l'effet nettoyant des solvants organiques est réduit pour ces mélanges, il s'ensuit que les surfaces contaminées d'huile ou de graisse ne seront pas aussi bien recouvertes que lorsque l'on applique un revêtement à haute teneur en solvants. Ceci contraint l'utilisateur à faire en sorte que les pièces soient encore plus propres avant l'application, avec pour conséquence dans certains cas, que l'on se sert de solvants organiques pour le nettoyage, réduisant ainsi l'attrait de ce type de revêtements (Tellus Institute, 1993). La pulvérisation de ces mélanges est plus difficile à réaliser car leur viscosité est supérieure à celle des compositions traditionnelles. Les équipements servant à leur application doivent être généralement modifiés en conséquence.

Applications Les résines phénoliques sont utilisées, entre autres, dans des produits de revêtement de contenants métalliques. Les polyuréthanes sont utilisés notamment dans l'industrie du meuble. Leur champ d'application est toutefois limité en raison de leur aspect très spécifique: ils ont une brillance élevée et une plus grande épaisseur que celle d'un revêtement traditionnel (Bouchard, 1993).

Dangers La présence d'éther glycidique (diluant réactif) dans les résines époxy peut causer des irritations cutanées par contact et l'irritation des voies respiratoires (Leleu, 1980). De manière générale, comme les revêtements à haute teneur en solides sont composés de molécules réactives, ils sont plus susceptibles de causer des problèmes de santé.

5.3.4 Les revêtements réactifs aux rayons ultraviolets (UV) et au faisceau d'électrons (EB) (Walata 111, 1991)

Description Ils sont constitués de monomères qui réagiront avec les résines de prépolymères une fois qu'elles seront exposées à un rayonnement UV ou à un faisceau d'électrons et cela sans la présence de solvants (Holman, 1992).

Composition Quatre types de matériaux sont utilisés: des résines époxy, des polyesters insaturés, des acrylates et des thiolpolyènes. Seuls les acrylates et les thiolpolyènes sont sensibles autant aux UV qu'au faisceau d'électrons, les autres produits ne sont sensibles qu'aux rayons UV. Dans le cas des systèmes sensibles aux rayons UV, des photoinitiateurs sont requis pour générer les premiers radicaux et ainsi permettre de commencer la réaction de polymérisation.

Avantages Les principales caractéristiques sont le peu d'espace requis pour ces systèmes, la possibilité d'un taux de production plus élevé, la qualité du revêtement. La nature du réseau de reticulation produit permet d'obtenir des revêtements très résistants aux taches, à la chaleur, aux égratignures ainsi qu'une bonne résistance aux intempéries (McMinn, 1992).

Ces systèmes nécessitent moins d'énergie pour la reticulation des résines que pour les produits qui doivent être chauffés. On peut parler d'une réduction de coûts énergétiques de l'ordre de 75 à 90% (McMinn, 1992). Les coûts de ces produits sont plus élevés mais ils ont un pouvoir couvrant accru. Walata III et coll. rapporte que dans l'industrie du meuble en bois, le coût par unité de surface couverte est comparable à celui des revêtements dont la

reticulation s'effectue par un traitement thermique (Walata 111, 1991). D'autres évaluations devront être complétées dans d'autres domaines avant de pouvoir se prononcer avec certitude.

Ces revêtements sont recommandés pour l'application sur les matériaux sensibles à la chaleur tels que le papier, le bois et les plastiques (Tellus Institute, 1993). À l'encontre des peintures UV, les revêtements EB peuvent être appliqués en couches épaisses avec une teneur élevée en pigments (Tellus Institute, 1993).

Désavantages La présence d'oxygène a un effet inhibiteur de la réaction de polymérisation à cause de l'affinité de ce gaz pour les radicaux libres formés. La viscosité des produits est trop élevée pour qu'on utilise la pulvérisation comme technique d'application. On doit utiliser d'autres techniques telles que l'application aux rouleaux ou un système à rideau («curtain coating»). Pour arriver à utiliser la technique de pulvérisation, l'industrie du meuble dilue les mélanges en y ajoutant des solvants organiques (jusqu'à 40 %), ce qui réduit l'intérêt de ces systèmes pour la réduction des COV ou pour l'amélioration du milieu de travail. Bouchard présente d'autres considérations techniques concernant l'industrie du meuble (Bouchard, 1993).

Dangers Les premières résines employées dans ce domaine étaient relativement toxiques à cause de leur instabilité et des problèmes de dermatites qu'ils causaient. Plusieurs problèmes ont été résolus par l'industrie par l'élaboration de nouvelles compositions qui restent stables pendant une période suffisamment longue. Il faut toutefois appliquer les mesures nécessaires pour éviter l'exposition aux produits. D'après Holman et Hart, les acrylates sont considérés comme des irritants des yeux et de la peau; certains acrylates seraient de très faibles agents cancérogènes de la peau. Il est toutefois mentionné que les substances utilisées dans ces systèmes sont peu volatiles et que le risque d'exposition peut être minimisé. Finalement, il existe un risque d'exposition au rayonnement UV (système UV) ainsi qu'aux rayons-X (système EB) lors de l'accélération des électrons à des énergies suffisamment hautes (Hart, 1990; Holman, 1992).

Applications Quelques exemples d'applications sont présentés ci-dessous:

- Revêtements pour le bois;
- Revêtements de plastique;
- Revêtements de métal;
- Vernis de papier;
- Électronique:
  - Bouche-pores;
  - Revêtements protecteur de fibres optiques.

5.3.5 Les revêtements avec $C0_2$ supercritique (Unicarb^{MD})

Description Cette technologie développée par Union Carbide utilise le dioxyde de carbone (CO_2) supercritique comme solvant de remplacement pour les solvants légers. Le CO_2est maintenu

sous la forme d'un fluide dont la densité se rapproche de celle d'un liquide lorsqu'il est soumis à une pression d'opération et à une température supérieures à leurs valeurs critiques (Hoy, 1991; White, 1991b). La composition des revêtements doit être modifiée de manière à tenir compte du $C0_2$ supercritique.

Avantages Ce type de revêtement permet de réduire les émissions de COV de 30 à 70 % (McMinn, 1992) et il peut être appliqué sur des substrats métalliques, en bois ou en plastique (Tellus Institute, 1993). Pour la pulvérisation, on utilise un système modifié sans air. Le système a une efficacité comparable à celle d'un système de pulvérisation sans air et permet d'obtenir un fini de haut lustre (McMinn, 1992).

Désavantages Le taux d'application est de 25 à 50 % plus lent que les systèmes avec solvants traditionnels (Bouchard, 1993). Il faut prendre des précautions lorsqu'on utilise ce genre de système puisque les pressions d'opération sont très élevées, entre 8 300 et 15 000 kPa (1 200 et 2 200 psi) (Tellus Institute, 1993). Le désavantage principal de ce système est son coût (40 000 à 50 000 $US) (McMinn, 1992). En outre. Union Carbide exige des redevances calculées selon la quantité de solides appliqués (Bouchard, 1993).

Applications La technologie est utilisable pour la plupart des revêtements applicables par pulvérisation dont notamment les revêtements de finition automobile et ceux utilisés dans les ateliers de réparation de carrosserie automobile, pour les meubles en métal et en bois, les appareils électroménagers, la machinerie et les équipements, les camions et autobus et les structures métalliques (McMinn, 1992; White, 1991 b).

5.4 TECHNOLOGIES D'APPLICATION DES REVÊTEMENTS

Les différents systèmes d'application sont listés ci-dessous:

- système de pulvérisation standard;
- système de pulvérisation sans air («airless») ou à haute pression;
- système à air assisté («air assisted airless») ou pulvérisation mixte;
- système de pulvérisation à grand volume et à basse pression (HVBP);
- système de pulvérisation électrostatique;
- autres: dont notamment le trempage, le laminage, l'électrodéposition, l'application au rideau («curtain coating»), au gicleur, au pinceau ou rouleau, par lit fluidisé.

Le tableau 5.4 présente les principales caractéristiques de quelques systèmes de pulvérisation (Anderson, 1994).

5.4.1 Système de pulvérisation standard

La technologie de pulvérisation consiste à utiliser un système pneumatique, fonctionnant soit par succion ou encore par pression, pour appliquer une peinture ou un revêtement mélangé à un solvant. Le rôle du pistolet est de fractionner le jet de peinture en très fines gouttelettes

Tableau 5.4

Caractéristiques des systèmes de pulvérisation

	Standard	Sans air	Air assisté	HVBP
Pression liquide (kPa) (psi)	-	3 450-31 030 500-4500	2 070-6 900 300-1000	-
Pression atomisation (kPa) (psi)	172-517 25-75	-	55-69 8-10	55-69 8-10
Débit d'air (l/min) (p^3/min)	142-566 5-20	-	142-283 5-10	450-650 16-23
Efficacité (%)	15-30	20-40	40-60	50-65
Principaux avantages	Fini du revêtement supérieur Bon contrôle Peu dispendieux Bonne productivité	Bonne productivité	Bon fini Bon contrôle Peu de brouillard Bonne productivité	Moins de brouillard Bon fini Bonne efficacité Relativement peu dispendieux
Principaux désavantages	Efficacité faible	Plus dispendieux Danger de blessures graves	Dispendieux	Productivité moindre Formation des opérateurs très importante

(Anderson, 1994)

afin de déposer celles-ci sur la surface à peindre. Le processus de formation d'un brouillard de gouttelettes est appelé pulvérisation. Ce système permet l'obtention d'un bon fini, d'un bon contrôle, d'une bonne productivité et le système est peu dispendieux. Cependant, l'efficacité de transfert du système est assez faible, entre 15 et 30 % (Andersen, 1994).

5.4.2 Système de pulvérisation sans air («airless»)

Le système sans air (aussi appelé sous haute pression) utilise une pression hydraulique à la place de l'air pour pulvériser le revêtement. On utilise des pressions très élevées qui se situent entre 3 400 et 31 000 kPa (500 et 4 500 psi). Ce système permet d'appliquer des peintures avec des teneurs en solides plus élevées et de réduire les projections. La réduction des projections se fera à condition de maintenir le pistolet à une distance raisonnable de la surface à peindre (Perrin, 1981). L'efficacité d'un système sans air oscille entre 20 et 40 %. La productivité obtenue est bonne. Ce système est toutefois plus dispendieux que le système à air assisté ou le système standard (Andersen, 1994). Enfin, il est plus dangereux car le jet à proximité de la buse du pistolet peut pénétrer la peau.

5.4.3 Système de pulvérisation à air assisté («air assisted airless»)

Le système à air assisté combine les éléments du système de pulvérisation standard et du système sans air. Quatre-vingt-cinq pour cent de la pulvérisation est effectuée par le biais d'une pression hydraulique et le reste est complétée à l'aide d'air comprimé ajouté au niveau du pistolet vaporisateur (McMinn, 1992). La pression hydraulique utilisée dans ce cas-ci est beaucoup plus faible, de l'ordre de 2 000 et 7 000 kPa (300 à 1 000 psi). L'efficacité de transfert d'un système de pulvérisation à air assisté se situe entre 40 et 60 % (Anderson, 1994). On obtient aussi un bon fini, une bonne productivité et un bon contrôle de la pulvérisation. Le système est toutefois dispendieux.

5.4.4 Système de pulvérisation à haut volume et à basse pression (HVBP)

Ce système utilise des pressions relativement faibles de moins de 70 kPa (10 psi) comparativement à un système standard qui utilise des pressions entre 170 et 520 kPa (25 à 75 psi) sauf qu'il utilise un grand volume d'air. Ce système procure une qualité de finition à peu près équivalente à la pulvérisation standard mais avec une plus grande efficacité de transfert qui peut atteindre généralement entre 50 et 65 % et dans certains cas, 70 % (Anderson, 1994; Bouchard, 1993). En conséquence, le système permet de réduire les frais d'entretien des cabines, les frais de remplacement des filtres et ceux d'élimination des résidus.

Ce système est peu dispendieux tout en étant efficace pour réduire les émissions de COV. Par contre, il ne peut être utilisé pour l'application de certains revêtements transparents dans l'industrie du meuble et sa vitesse d'application, dans certains cas, n'est pas assez élevée (Bouchard, 1993).

5.4.5 Système de pulvérisation électrostatique

Dans ce système, on charge négativement les particules à l'aide d'un générateur alors que la pièce à couvrir est chargée positivement. Un pistolet supporte une ou plusieurs électrodes alimentées sous haute tension (50 000 à 90 000 volt) qui chargent les particules pulvérisées (Bouchard, 1993). Le pistolet peut être de type standard, sans air ou à air assisté. Il n'y a pas d'avantage en terme d'efficacité à coupler un système électrostatique au système HVBP

(Anderson, 1994).

La charge des particules permet le contournement des pièces puisqu'elles sont attirées par le substrat. Ce système permet donc l'obtention d'une efficacité de transfert de beaucoup supérieure aux systèmes traditionnels, ce qui se traduit par une économie en matériel et une réduction des émissions de COV. Le tableau 5.5 compare le pourcentage d'efficacité de trois systèmes d'application avec ou sans système électrostatique. Ce système a aussi une meilleure productivité.

Dans certains cas, la pièce à couvrir n'est pas conductrice, il faut donc utiliser une base polarisante qu'il faut appliquer avant le revêtement final. L'application de cette base polarisante peut constituer un frein à l'implantation d'un tel système pour certains types d'industrie (Bouchard, 1993). Le taux d'humidité relative doit aussi être contrôlé à environ 50 % dans l'enceinte d'application si l'on veut éviter la dépolarisation du substrat. En général, les produits doivent être spécialement conçus pour être compatibles avec ce type de système (Bouchard, 1993).

Tableau 5.5

Comparaison de l'efficacité des systèmes de pulvérisation avec ou sans composante électrostatique

	Système électrostatique	
	Sans(%)	**Avec (%)**
Système pneumatique standard	15-30	45-70
Sans air	20-40	50-75
Air assisté	40-60	60-90
HVBP	50-65	

(Andersen, 1994)

Les particules chargées vont aussi rendre difficile l'application sur des parois proches l'une de l'autre en raison de l'effet Faraday, ce qui peut causer un problème pour les pièces complexes. En raison des hauts voltages impliqués, il faut appliquer les mesures de sécurité qui s'imposent afin de réduire au minimum les possibilités de chocs électriques. Un tel système implique aussi un coût d'investissement plus important. Un pistolet électrostatique coûte de dix à vingt fois plus cher que les pistolets manuels traditionnels.

5.4.6 Autres techniques d'application

Même si la technique de pulvérisation est la plus courante en usine, il existe d'autres techniques et outils qui sont utilisés pour l'application comme le trempage, le laminage, l'électrodéposition, l'autodéposition, l'atomisation rotative (par disque ou cloche), l'application au rideau («curtain coating»), l'application au pinceau, au rouleau et au gicleur dans une cabine d'application. Cette dernière technique d'«arrosage» utilise plusieurs gicleurs pour diriger les jets de peinture sur le substrat. L'excédent de peinture s'égoutte pour être filtré et pompé de nouveau dans le réservoir d'alimentation (McMinn, 1992). Enfin le lit fluidisé est utilisé à chaud ou en mode électrostatique pour l'application des poudres.

5.5 NETTOYAGE DE L'ÉQUIPEMENT DE PULVÉRISATION

On utilise des solvants pour effectuer le nettoyage de l'équipement d'application des revêtements. Tous les systèmes ou procédures qui peuvent être utilisés pour réduire la quantité de solvants nécessaires au nettoyage vont avoir un impact positif sur le milieu de travail et l'environnement.

Athey a décrit un système de nettoyage de fusils de pulvérisation qui permet de réduire significativement l'émission de COV (Athey, 1988). Ce système consiste simplement en un réservoir dans lequel on dépose le fusil pulvérisateur pour y recirculer le solvant de nettoyage en circuit fermé. Il y a ainsi une réduction importante du volume de solvant requis pour le nettoyage (typiquement de 75 à 80 %) et de l'émission de COV. Le solvant est réutilisé jusqu'à ce qu'il soit saturé.

5.6 SUBSTITUTION ET FORMULATION DE PEINTURES

Les cas de substitution décrits dans cette section se limitent au remplacement d'un ou de plusieurs solvants par un ou plusieurs autres solvants moins toxiques. Les divers cas font partie de notre banque de données de cas de substitution dont les éléments essentiels se retrouvent dans la troisième partie de la présente étude.

Lorsque l'on veut formuler un produit pour arriver à substituer un solvant ou un mélange de solvants par un autre, il est préférable d'utiliser une méthode rationnelle et éprouvée telle que celle décrite par Hansen sur les paramètres de solubilité (Archer, 1992). Cette technique, par la représentation tridimensionnelle de trois paramètres de solubilité de base, permet de déterminer si un solvant peut potentiellement arriver à en remplacer un autre. Cette technique permet d'éviter d'avoir à essayer toutes sortes de combinaisons possibles par essais et erreurs avant d'arriver à une solution adéquate. Hansen définit un paramètre de solubilité globale pour tenir compte de l'effet de chacun des trois paramètres de solubilité de base. Ce paramètre global inclut un paramètre représentant une interaction non polaire, un autre paramètre représentant une interaction polaire et finalement un troisième pour les liaisons hydrogène (Archer, 1992).

Des logiciels ont été développés tels que le BP Solve 2[MD] de BP Chemicals, le Chemcomp +[MD] de Dow Chemicals, le Co-Act[MD] d'Exxon en vue de faciliter la conception de peintures et pour prédire les effets d'évaporation et les coûts impliqués (Archer, 1992; Kelsey, 1991; Reisch, 1993). Eastman Chemicals dispose aussi d'un tel programme (Reisch, 1993).

Des exemples de substitution de solvants mis en oeuvre par l'utilisation de ce type de logiciel sont présentés dans les cas n° 3000, 3025 et 3027 de la troisième partie du présent rapport. Les effets sur l'evaporation et les changements de coûts en solvants sont calculés par le programme BP Solve 2[MD]. On décrit dans le cas n° 3000 le remplacement du toluène dans une formulation de laque à base de nitrate de cellulose. On a aussi remplacé le toluène dans une peinture acrylique (cas n° 3026) et dans une autre à base de résine époxy (cas n° 3027). Le toluène a été remplacé par un mélange d'acétone, d'acétate de butyle et autres solvants commerciaux.

Certains solvants moins toxiques tels que les esters dibasiques des acides adipique, glutarique et succinique peuvent être utilisés à la place de toute une gamme de solvants, notamment les éthers de glycol, les acétates d'éther de glycol et l'isophorone (cas n° 3012, 3013, 3014, 3015). Ces esters dibasiques sont vendus sous la forme de mélanges, en différentes proportions, des trois esters de base. La plupart du temps, on doit quand même ajouter un ou des solvants traditionnels pour obtenir des propriétés et une viscosité similaires au mélange original. Ces esters dibasiques ont d'excellentes propriétés de mise en solution, ils sont stables et ont des points d'ébullition et d'éclair élevés (Reisch, 1993).

Le d-limonène peut se substituer aux solvants aromatiques et aliphatiques, aux hydrocarbures chlorés, aux cétones et aux esters (cas n° 3011) dans des résines acryliques, vinyliques, époxy, alkydes, polyesters et polyamides. Le lecteur est référé aux publications de Karlberg et de l'AIHA pour ce qui est de la toxicité du d-limonène (Karlberg, 1993; AIHA, 1993; Kiefer, 1993).

Les acétates sont aussi utilisés à la place des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques et même des cétones. Les solvants oxygénés sont utilisés à la place des solvants chlorés (Reisch, 1993).

Les solvants isoparaffiniques peuvent se substituer aux solvants de type Stoddard. Ils possèdent des valeurs limites d'exposition professionnelle plus élevées que ces derniers et plus élevées encore que certains solvants aromatiques purs (Gindre, 1991). Les liants de type acrylique et glycérophtalique (alkyde) permettent l'utilisation de ces solvants car ils nécessitent un pouvoir de mise en solution inférieure (cas n° 3009).

Dans le cas spécifique des éthers de glycol, il faut noter que même s'ils ont une faible volatilité, ils sont reconnus pour leur facilité à traverser la peau. Lorsqu'il n'est pas possible pour les concepteurs de peintures d'éliminer les éthers de glycol comme agent de coalescence pour les revêtements à base d'eau, il convient de choisir des éthers dérivés du propylène glycol plutôt que des éthers dérivés de l'éthylène glycol car ces derniers sont de plus en plus

reconnus comme étant problématiques pour le système reproducteur. Ces effets ont été démontrés pour le 2-méthoxyéthanol et le 2-éthoxyéthanol et leur acétate (Wahlberg, 1992).

5.7 SUBSTITUTION SELON LE TYPE DE PRODUITS

Cette section présente les cas de substitution en fonction de leur domaine d'utilisation. Ces cas proviennent d'articles scientifiques ou de réponses fournies par les hygiénistes industriels du réseau public québécois de santé au travail suite à notre enquête de décembre 93 (voir l'annexe 2).

5.7.1 Peintures automobiles

Notons d'abord qu'il y a une différence entre les produits utilisés dans le domaine de la réparation de carrosserie par rapport à ceux utilisés par les manufacturiers d'automobiles. Chez les manufacturiers, une fois les revêtements appliqués, ils sont chauffés pour réduire le temps de séchage et compléter la reticulation des résines. Dans le cas des ateliers de réparation, ces températures élevées endommageraient les composants de plastique et de garniture intérieure. Les produits utilisés par ces ateliers doivent donc sécher à l'air ambiant ou à de faibles températures. C'est la raison pour laquelle les solvants utilisés doivent permettre aux revêtements de sécher plus rapidement (Athey, 1988).

Certaines compagnies canadiennes d'automobiles font des efforts de substitution en utilisant des peintures à haute teneur en solides pour les revêtements de base et de finition («clear coat enamel paints»). Des peintures à base d'eau sont aussi utilisées comme revêtement de base dans au moins deux grandes usines au Canada. Ces changements ont réduit de 36 et de 82 % respectivement les émissions de COV pour chaque véhicule produit (Forbes, 1993).

Athey et coll. ont effectué des comparaisons de coûts en fonction de la dimension des ateliers de réparation (petit, moyen et à haut volume) (Athey. 1988). Ils ont conclu que pour toutes les dimensions d'ateliers, il était avantageux d'utiliser des apprêts à base d'eau à la place d'apprêts à base de solvants car il y avait réduction des COV par au moins 20 % et cela sans coûts additionnels. Les revêtements acryliques à base d'eau offrent les avantages de mieux remplir les imperfections de surface et de pouvoir être appliqués sur de vieilles couches de revêtements sans risquer de les dissoudre. Le désavantage majeur des apprêts à base d'eau, du point de vue des ateliers de réparation, est le temps de séchage plus long. Il est de 60 minutes par rapport à 20-30 minutes pour les apprêts à base de solvants (Athey, 1988).

On mentionne aussi que plusieurs manufacturiers ont adopté des revêtements à haute teneur en solides à base de polyuréthanes (45% par poids comparativement à typiquement 32 % pour les laques ou les émaux) pour le revêtement de finition «clearcoat» (Athey, 1988). La performance de ces revêtements est, à plusieurs égards, supérieure aux laques ou aux émaux par leur durabilité et leur lustre. Il demeure que les ateliers de réparation ont été plus lents à adopter le polyuréthane, à cause du temps de séchage plus long et des dégagements d'isocyanates lors de l'application.

Un autre exemple de substitution de peintures à base de solvants organiques par des peintures à haute teneur en solides est présenté dans le cas n° 3024 pour une compagnie fabriquant des camions. On y a converti la plupart des apprêts et revêtements de finition des cabines et des châssis en peintures à deux composants. Ils ont ainsi réduit leurs coûts d'élimination de déchets par camion de 77 % (Tillman, 1991).

Une autre possibilité de réduction de la teneur en solvants organiques est de remplacer les laques par des émaux (Athey, 1988). Les laques contiennent typiquement de 70 à 90 % de solvants en volume tandis que les émaux en contiennent de 55 à 75 %. L'EPA rapporte d'autres avantages de la substitution des laques par les émaux (USEPA, 1991 a).

Finalement, l'industrie automobile s'intéresse aussi aux peintures en poudre comme revêtements substitutifs. En effet, GM, Ford et Chrysler ont formé en 1993 un consortium pour examiner les technologies qui permettraient de réduire la quantité de COV émis lors de l'application de peintures. Les poudres sont déjà utilisées dans des applications reliées aux pièces automobiles telles que les chapeaux de roue mais le lustre et la durabilité ne sont pas suffisants pour le châssis d'une auto (Reisch, 1993).

5.7.2 Peintures anticorrosives

Les apprêts anticorrosifs sont appliqués sur des surfaces métalliques avant de recevoir les couches de peinture subséquentes. Ils remplissent les imperfections de surface et permettent également une meilleure adhérence des couches de finition (Athey, 1988). Les résines employées sont associées à des pigments inhibiteurs de corrosion tels que le zinc en poudre, l'oxyde de zinc, les molybdates, le phosphate de fer ou de zinc, le chromate de zinc, les oxydes et le sulfate de plomb (De Craecker, 1986; Leleu, 1980).

Fourez et coll. rapportent le cas d'une compagnie qui a mis sur le marché un produit à base d'eau, de zinc et d'aluminium à la place d'un produit avec solvants et cadmium (Fourez, 1993) (cas n° 3006). On ne décrit pas le type de liant employé mais on sait que des revêtements anticorrosifs à base d'eau peuvent être conçus notamment avec des résines époxy ou acryliques (Leleu, 1980).

5.7.3 Peintures pour appareils électroménagers

On utilise des produits à base de résines acryliques hydrodiluables pour la couche primaire et des alkydes et polyesters hydrosolubles pour la couche de finition (Charretton, 1987). De plus en plus de poudres à base d'acrylique-uréthane et des polyesters à haute teneur en solides sont utilisés pour la couche de finition (Lowell, 1985; Richart, 1985).

5.7.4 Peintures pour bâtiments

Les peintures à base d'eau constituent une grande part du marché des peintures pour bâtiments et il y a une tendance à remplacer les peintures à base de solvants organiques

(CCME, 1993). Les principales résines à base d'eau sont hydrodiluables (surtout au latex et aussi à l'émulsion) (Charretton, 1987). Les latex à base de résine acrylique sont utilisés pour l'intérieur et l'extérieur (Lowell, 1985). Ils offrent une performance équivalente aux alkydes avec solvants organiques et une meilleure durabilité, notamment en ce qui à trait à la résistance et à la dégradation photochimique. Même si le lustre d'une peinture au latex est inférieur à celui d'une peinture alkyde, il reste que les alkydes vont jaunir et se craqueler avec le temps (Hacker, 1993). Les résines d'acétate de polyvinyle constituent un autre type de résine employée autant pour les peintures extérieures qu'intérieures (Lowell, 1985).

5.7.5 Peintures résistantes à la chaleur

Elles sont employées, entre autres, pour la protection des chaudières et échangeurs de chaleur (Leleu, 1980). Reti rapporte deux cas de substitution de peintures à base de polysiloxane (silicone) et de solvants organiques. Dans le premier cas (n° 3021), un produit à haute teneur en solides a été développé et offre des propriétés similaires ou supérieures aux revêtements traditionnels. Dans le deuxième cas de substitution (n° 3022), une peinture à base d'eau a été élaborée (Reti, 1993).

5.7.6 Peintures pour divers substrats métalliques

On emploie des peintures à emulsion avec des résines acryliques pour la couche primaire et des résines polyester hydrosolubles pour la finition de fils métalliques en acier et en aluminium (Charretton, 1987).

Aubert présente un cas de substitution de revêtement de structures métalliques où l'on a remplacé une peinture à base de résine époxy et de solvants organiques par une peinture en poudre à base de résine époxy (Aubert, 1993) (cas n° 3019).

La revue Plating and Surface Finishing rapporte un cas de substitution de peintures à base de solvants par des peintures en poudre à base de polyester/uréthane, polyester ou époxy «hybride» pour la production de portes et fenêtres en aluminium et acier (cas n° 3025). On obtient des produits d'excellente qualité, très résistants à la corrosion (Anonyme, 1993a).

On propose une substitution de peintures à haute teneur en solides à base de solvants organiques par des peintures en poudre pour la production de pièces d'aluminium (cas n° 3028). Les coûts en peintures et les coûts relatifs à l'élimination des déchets seraient réduits. La période d'amortissement du nouveau système serait de 5,1 années (Kirsch, 1992a).

Looby et coll. proposent la substitution de peintures à base de solvants organiques par des peintures en poudre et à base d'eau pour la production d'armoires de métal et de pièces de précision en aluminium et en acier (cas n° 3029). On estime que les coûts en peinture et les coûts relatifs à l'élimination des déchets seraient réduits pour chacun des 2 types de peintures proposées. L'amortissement se ferait sur une période de 1,4 années pour les poudres et de 0,2 année pour les peintures à base d'eau (Looby, 1992b).

Kirsch et coll. rapportent le cas d'une substitution de peintures à base de solvants par de peintures en poudre pour la production de boîtiers de miroirs extérieurs pour véhicule automobiles (cas n° 3031). Les pièces sont, entre autres, en acier galvanisé et en acie inoxydable. On prévoit réduire les coûts d'environ 113 000 $US grâce à l'absence de solvant et à la forte réduction en matériel perdu lors de la pulvérisation. L'amortissement se ferait sur une période de 2,1 années (Kirsch, 1992c).

Enfin, on nous a rapporté le cas de substitution (cas n° 3020) d'une peinture avec du toluèn servant à l'identification de ressorts métalliques par une peinture à emulsion à base d'un résine acrylique.

5.7.7 Vernis pour boîtes et fûts métalliques

Whiteside et coll. présentent le cas de substitution d'une résine époxy avec solvants (cas n° 3007) suite au développement d'un produit à haute teneur en solides à base de résines époxy (Whiteside, 1990). Une mise en garde doit toutefois être apportée pour les résines époxy de faibles poids moléculaires étant donné que la présence d'éther de glycidyle (diluant réactif) peut causer des irritations des voies respiratoires et des irritations cutanées (Leleu, 1980). Dans le cas des vernis à base d'eau, on utilise des résines acryliques hydrodiluables pour l'intérieur et l'extérieur des boîtes (Charretton, 1987).

5.7.8 Vernis pour isolation électrique

Carter rapporte le cas d'une compagnie qui a développé un vernis sans solvant à base de résine polyester et de diallyl phtalate (DAP) pour le recouvrement de bobines de fils de transformateurs à la place d'un vernis contenant, entre autres, du xylène (cas n° 3018). Le DAP est réticulé en un vernis aux propriétés d'adhérence et de conductivité thermique supérieures (Carter, 1991).

5.7.9 Revêtements pour meubles

Le procédé de finition des meubles de bois consiste typiquement à appliquer des revêtements colorants (teintures), suivi de l'application de revêtements transparents («washcoat»), de bouches-pores («sealers») et de revêtements de surface («topcoat») (Bouchard, 1993).

Dans le cas des produits à base d'eau, la principale difficulté consiste à obtenir une bonne qualité de finition. Les revêtements à base d'eau sont généralement moins lustrés que les revêtements à base de solvants, ils ont tendance à abîmer le bois, leur temps de séchage est plus long et ils sont sensibles aux conditions ambiantes d'humidité et de température. Pour une liste des avantages et désavantages des revêtements à base d'eau, le lecteur est référé au document publié par le CRIQ pour le compte de l'industrie des fabricants de meubles du Québec (Bouchard, 1993).

Un chercheur de l'Université de Californie a récemment mis au point un revêtement à base de résine époxy et d'eau (cas n° 3004 & 3005) pour le remplacement des vernis et laques de résines de nitrate de cellulose, d'urée- ou de mélamine-formaldéhyde utilisés dans l'industrie du meuble. Ce nouveau revêtement peut être utilisé comme apprêt pour des portes et comme produit de finition pour des meubles ou armoires de cuisine. Il a notamment une excellente résistance chimique et un lustre élevé. Il émet très peu de COV avec moins de 10 g/l comparativement à 200-250 g/l pour la plupart des autres revêtements à base d'eau (Huang, 1994).

Des revêtements de polyester/polyuréthane à haute teneur en solides peuvent être utilisés pour les meubles. Ils ont notamment un très haut degré de brillance, une grande résistance aux chocs et aux produits chimiques. Leur émission en COV est très faible. Par contre, ils peuvent émettre des traces d'isocyanate. Le rapport du CRIQ présente d'autres avantages et désavantages concernant ces produits (Bouchard, 1993).

Les revêtements UV constituent une technologie bien établie dans l'industrie de finition du meuble. Elle est utilisée avec succès dans le secteur de l'armoire de cuisine et dans quelques autres segments de l'industrie du meuble. Il s'agit d'usines ayant d'importants volumes de production et souvent pour des lignes de finition à plat (Bouchard, 1993).

5.8 CHANGEMENT DE TECHNOLOGIE D'APPLICATION DE REVÊTEMENTS

Généralement l'efficacité de transfert d'un système de pulvérisation standard est environ de 15 à 30 % (Anderson, 1994). Une manière de réduire ces pertes énormes, est d'y substituer un système de pulvérisation plus performant. Il s'ensuit une réduction des émissions lors de la pulvérisation mais aussi une génération moins grande de boues de peintures à récolter ou à nettoyer sur les parois de l'enceinte de la cabine d'application. Ces réductions vont avoir un impact direct sur les coûts d'application et de recyclage des boues.

La sélection d'un système d'application est très importante et est relativement complexe lorsqu'on est à la recherche de la meilleure qualité possible de fini à un coût compétitif tout en essayant de réduire au minimum les émissions de COV. Pour évaluer correctement les coûts impliqués dans la sélection d'un système d'application, il faut faire un bilan global d'un bon nombre de paramètres dont notamment: l'efficacité du système, la quantité de matériel pulvérisé en trop qui peut être recyclée, les coûts des matières premières, la rapidité des changements de couleurs permises, la qualité du fini, la complexité et le temps nécessaire à l'application, les coûts de nettoyage des cabines de peinture, les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs, les coûts énergétiques causés par le chauffage et la ventilation des lieux.

Un exemple de substitution d'un système d'application provient de Flexsteel Industries (Iowa), où on a remplacé un système de pulvérisation standard par un système électrostatique. On a été en mesure d'améliorer l'efficacité d'application de 40 %. Ce changement a permis à la compagnie de réduire ses coûts en peintures et elle a pu amortir son investissement sur une période de deux ans seulement (Randall, 1992).

Une firme de consultants pour le compte de l'EPA a proposé de substituer un système de pulvérisation standard par un système HVBP pour des ateliers de réparation de carrosserie (Athey, 1988; Gashlin, 1992). Ils ont calculé que cela entraînerait une réduction des coûts d'application et que l'achat des équipements pourrait être amorti sur une période de sept ans.

L'EPA rapporte qu'un atelier de réparation de carrosserie automobile de la région de San Diego a eu de très bons résultats lors de l'utilisation d'un système HVBP (USEPA, 1991a). L'entreprise a réduit la quantité de peintures utilisées d'environ un tiers par rapport au système de pulvérisation standard et la qualité du fini était classée de très bonne à excellente. Aucun problème d'opération n'a été rapporté et les coûts d'opération étaient les mêmes que pour le système de pulvérisation standard. Par contre, on mentionne qu'un autre atelier a rapporté la formation de halos lors de l'application de peintures métalliques. Les auteurs soulignent l'importance de donner une bonne formation aux peintres.

Une compagnie produisant des camions a aussi décidé de remplacer son système de pulvérisation par un système HVBP pour l'application de peintures à haute teneur en solides à deux composants (cas n° 3024) afin d'améliorer l'efficacité de l'application et pour réduire ses coûts d'élimination de déchets (Tillman, 1991).

Bouchard rapporte que l'utilisation des pistolets HVBP dans l'industrie du meuble constitue une méthode peu dispendieuse et parfois bénéfique pour réduire de façon significative l'émission de COV et, dans plusieurs cas, pour réaliser des économies (Bouchard, 1993).

5.9 CONCLUSION

De manière générale, la substitution se fait selon deux avenues: en reformulant les revêtements par la substitution des solvants ou en utilisant un revêtement alternatif. On peut aussi améliorer les conditions du milieu de travail par la réduction de l'émission des COV en utilisant des technologies d'application plus performantes.

Les solvants couramment utilisés pour la substitution sont: les esters dibasiques (à la place des éthers de glycol, de leurs acétates et de l'isophorone), le d-limonène (à la place des aromatiques, des hydrocarbures chlorés, des cétones et des esters), les acétates (à la place des aromatiques), les solvants isoparaffiniques (à la place des aromatiques), les solvants oxygénés en général (à la place des solvants chlorés), les éthers dérivés du propylène glycol (à la place de ceux dérivés de l'éthylène glycol). Pour faciliter cette substitution, des logiciels ont été développés par différentes compagnies.

Pour ce qui est des revêtements substitutifs, les plus utilisés sont soit à base de poudres, à base d'eau ou à haute teneur en solides. Les revêtements sensibles aux rayons UV et au faisceau d'électrons et les revêtements avec $C0_2$supercritique sont relativement peu utilisés.

Les peintures en poudre ont un très grand succès sur les métaux et fournissent bien souvent un fini similaire à des coûts inférieurs aux produits avec solvants. Elles nécessitent toutefois

un investissement initial important car les systèmes d'applications pour solvants ne sont pas convertibles.

Les revêtements à base d'eau sont très populaires pour les bâtiments même si le lustre est inférieur car ils offrent une performance équivalente aux alkydes et une meilleure durabilité. Ils sont aussi utilisés sur les métaux, notamment comme revêtements de base et plus rarement comme couche de finition. Les surfaces doivent cependant être très propres avant leur application. Au Québec, leur application peut causer un problème pour certaines industries étant donné nos températures assez froides. L'application sur le bois demeure difficile parce que l'eau peut affecter le grain du bois.

Les revêtements à haute teneur en solides sont populaires sur les métaux et ils peuvent être employés sur le bois et le plastique. Le fini est souvent similaire à celui des revêtements traditionnels.

Lorsqu'on utilise un revêtement alternatif, il faut s'attendre à avoir des différences dans le fini. Cependant, cela ne veut pas nécessairement dire que la qualité du fini soit compromise, en fait on aura souvent une qualité équivalente sinon supérieure.

CHAPITRE 6. L'IMPRIMERIE

6.1 INTRODUCTION

Au Québec, l'industrie de l'imprimerie compte plus de 34 000 travailleurs dont les deux tiers oeuvrent à la production dans quelques 1 700 entreprises (Statistique Canada, 1994) concentrées majoritairement dans la région métropolitaine de Montréal. Le National Institute for Occupational Safety and Health des États-Unis considère que les solvants représentent le danger toxique principal en imprimerie (NIOSH, 1979). C'est aussi l'avis des auteurs d'une revue de la littérature concernant les effets toxiques susceptibles d'affecter les imprimeurs (Gennart, 1990).

6.2 LES PROCÉDÉS D'IMPRESSION (Devost, 1982)

Il existe six grands procédés d'impression: l'offset, la typographie, la flexographie, la rotogravure, la sérigraphie et les technologies sans cliché. Ces dernières (édition électronique, impression à jet d'encre, impression thermique) ne seront pas abordées dans le cadre de ce travail parce qu'elles sont encore marginales ou ne mettent pas en oeuvre de solvants. Les procédés d'impression servent à reproduire des textes ou des illustrations en transférant par pression, sur un support, l'encre préalablement déposée sur une forme imprimante dont certaines parties sont capables de prendre, puis de céder l'encre. Le support ou substrat peut être du papier mais aussi du plastique, du métal ou du tissu. La forme imprimante est communément appelée plaque d'imprimerie ou cliché. La différence de niveau des éléments imprimants de la forme imprimante, par rapport à la surface non imprimante, détermine les trois classes de procédés d'impression:

- procédés à plat: l'offset (la lithographie dans les beaux-arts) et la sérigraphie;
- procédés en relief: la typographie et la flexographie;
- procédés en creux: la rotogravure (la taille-douce dans les beaux-arts);

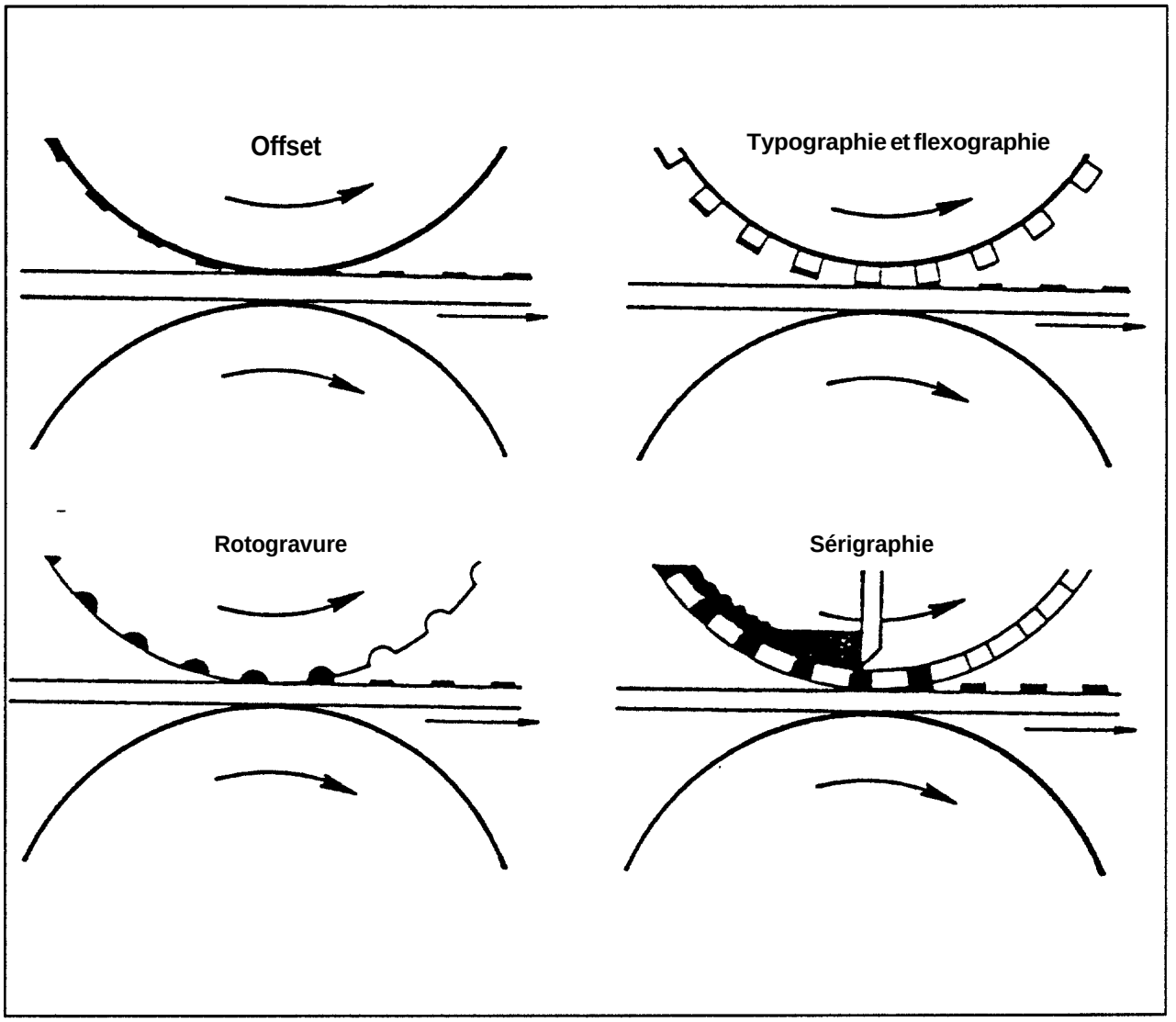
La figure 6.1 présente une illustration des surfaces d'impression en fonction du procédé.

6.2.1 Offset

L'offset est un procédé d'impression dérivé de la lithographie. Cette dernière est une technique d'impression basée sur l'antagonisme entre l'eau et les corps gras. Sur une pierre calcaire, on trace un dessin au crayon gras ou à l'encre grasse. La pierre est mouillée et s'imbibe d'eau partout où elle n'a pas été repoussée par le dépôt gras du dessin. Lorsqu'on passe un rouleau encreur sur la pierre, l'encre grasse est à son tour repoussée par l'eau et retenue par le tracé. On presse ensuite une feuille de papier sur la pierre pour obtenir un tirage.

L'offset se distingue de la lithographie par le fait que le papier ne vient pas en contact direct avec les éléments imprimants. Il reçoit son impression d'un cylindre revêtu d'une feuille caoutchoutée, dite blanchet, préalablement mise en contact avec les éléments encrés qui y

Figure 6.1
Illustration des surfaces d'impression par procédé



(tiré de Hartsuch, 1979, avec la permission du Graphie Arts Technical Foundation, Pittsburgh)

sont décalqués. De plus, en offset, la pierre calcaire est remplacée par une plaque d'aluminium, une feuille de papier traité ou une feuille de plastique. Celle-ci constitue la forme imprimante.

La majorité des presses offset utilisent une solution dite de fontaine ou solution de mouillage destinée à recouvrir les zones non imprimantes du cliché. Elle est constituée d'eau,

d'isopropanol et d'autres additifs. L'isopropanol sert à abaisser la tension de surface de la solution et ainsi assurer le mouillage maximal du cliché. Le pourcentage d'isopropanol utilisé dans les imprimeries américaines varie de 10 à 30 % avec une moyenne se situant autour de 15 % (Materazzi, 1987). Le pourcentage est plus faible pour les presses rotatives. On utiliserait un maximum de 10 % d'isopropanol dans ce type de presses (Scotto, 1994).

Le clichage est l'opération de fabrication des plaques servant à l'impression. En offset, la plaque est enduite d'une couche photosensible et ensuite insolée à la lumière ultraviolette, à travers un négatif ou un positif du texte original. Cette insolation déterminera les régions imprimantes et non imprimantes. L'offset est considéré comme un procédé d'impression à plat car les éléments imprimants ne sont ni en relief, ni en creux.

En offset, on utilise une grande variété d'encres de couleurs différentes. Elles ne contiennent pas de solvants très volatils mais certains hydrocarbures semi-volatils peuvent contribuer à l'émission de composés organiques volatils <COV). Par contre, les conducteurs de presses offset utilisent plusieurs solvants différents pour le nettoyage et le conditionnement des rouleaux sur les presses (Bégin, 1988).

6.2.2 Sérigraphie

La sérigraphie est dérivée de la technique d'impression au pochoir. Il s'agit d'un procédé d'impression à l'aide d'un écran constitué par un cadre sur lequel est tendu un tissu à maille. Le tissu est généralement constitué de fibre synthétique comme le nylon^{MD} ou le polyester. On emploie aussi les toiles en acier inoxydable.

Cet écran, appliqué sur le support, reçoit l'encre qui, poussée par une raclette, passe à travers les mailles libres pour réaliser l'impression. L'obturation des zones non imprimantes s'effectue avec un vernis spécial appliqué au pinceau dans le procédé direct. On peut aussi utiliser un film découpé et collé. Enfin, il existe deux procédés photomécaniques utilisant l'insolation d'une couche photosensible sous la radiation ultraviolette pour la préparation de l'écran.

On peut imprimer par sérigraphie sur à peu près n'importe quel support. La forme de l'objet à imprimer peut aussi varier.

La sérigraphie utilise des encres qui ressemblent à des peintures. Elles contiennent des solvants volatils. Le substrat détermine la nature du polymère utilisé dans l'encre et conséquemment le type de solvant employé pour la dissoudre et la nettoyer.

6.2.3 Typographie

La typographie est un procédé d'impression en relief. Les éléments imprimants se présentent tous à la même hauteur. Les caractères sont constitués d'un alliage de plomb, d'antimoine et d'étain. Les éléments imprimants se divisent en trois catégories:

- les caractères séparés nécessitant la composition manuelle;

- les lignes-blocs, obtenus à l'aide de machines à composer;
- les clichés réalisés par photogravure.

De nos jours, la typographie est largement remplacée par l'offset et les grands journaux utilisant encore les presses typographiques ont remplacé les caractères et les plaques en plomb par des plaques enveloppantes de photopolymères. Ces plaques, après insolation sous un négatif transparent sont soumises à l'action d'un solvant alcoolique qui élimine les parties non durcies par l'exposition à la lumière et laisse en relief les éléments imprimants lors de l'impression. La feuille de papier est pressée directement sur la forme imprimante préalablement encrée.

Les encres typographiques sont très visqueuses et ne contiennent pas de solvants très volatils. Comme les encres offset, elles peuvent contribuer à l'émission de COV.

6.2.4 Flexographie

La flexographie est un procédé d'impression en relief. Les caractères, jadis fabriqués en caoutchouc, sont aujourd'hui constitués à partir de plaques de photopolymères souples. Ces clichés sont insolés à la lumière ultraviolette sous un négatif. La plaque est ensuite développée dans une machine à l'aide d'un solvant approprié. Les régions non insolées, constituant les zones non imprimantes, sont alors dissoutes dans le solvant. Il ne demeure plus sur la plaque que les régions imprimantes, durcies et en relief.

Les presses sont de type rotatives. Le substrat est pressé directement sur les éléments imprimants pour réaliser le tirage. Cette technique d'impression est largement employée pour l'impression des sacs d'emballage en matière plastique et sur le carton.

L'encre est fluide et contient des solvants volatils. Le véhicule de l'encre et les solvants varient en fonction du substrat sur lequel on imprime.

6.2.5 Rotogravure

Cette technique d'impression est aussi connue sous l'appellation d'héliogravure; elle est dérivée de la taille-douce. Les éléments imprimants sont en creux. Les zones imprimantes sont gravées sur un cylindre d'acier recouvert de cuivre. On emploie des solutions de chlorure ferrique pour graver le cuivre. Il existe aussi des machines qui gravent automatiquement les cylindres à l'aide d'une pointe en diamant à partir d'un balayage électronique d'une photographie à reproduire. Enfin une autre méthode de préparation des cylindres d'impression utilise une résine époxy et un laser pour la gravure. Lors de l'impression, l'encre remplit les alvéoles du cylindre; une racle enlève l'excès d'encre et le papier est ensuite pressé contre la forme imprimante pour réaliser le tirage. L'impression qui en résulte est d'une grande qualité. On l'emploie ici, entre autres, pour l'impression des paquets de cigarettes.

La rotogravure utilise des encres fluides contenant des solvants volatils, notamment le toluène.

6.2.6 Le travail du clicheur

Le travail du clicheur dans chacun des procédés d'impression décrits plus haut, s'est beaucoup transformé depuis quelques années. L'ouvrage est accompli plus rapidement qu'auparavant, surtout à cause de l'avènement des plaques présensibilisées. L'exposition aux solvants est généralement faible, le travail de développement des plaques se faisant habituellement en circuit fermé.

6.3 PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE DE LA SUBSTITUTION DES SOLVANTS EN IMPRIMERIE

Nous nous sommes attardés principalement aux solvants mis en oeuvre dans le service des presses des imprimeries. Les autres services tels que le clichage et la photocomposition exposent peu les travailleurs aux solvants.

La substitution des solvants en imprimerie peut se faire de deux façons principales:

- substitution de produits;
- substitution de technologie.

Le remplacement d'un mélange de solvants de nettoyage commercial par un autre se classe bien dans la première catégorie. Par contre, la majorité des autres avenues de substitution impliquent un changement technologique en plus du remplacement des matières premières. La substitution des encres en est un bon exemple. En effet le passage aux encres aqueuses ou réactives entraîne l'achat de nouvelles presses ou l'ajout de composantes additionnelles sur les anciennes presses (système de distribution de l'encre, système de séchage).
Il peut aussi être nécessaire de traiter le substrat afin qu'il soit plus réceptif à une encre nouvelle. Ainsi l'impression flexographique avec des encres aqueuses sur pellicule d'aluminium est facilitée par l'application préalable d'un apprêt à base d'eau.

Dans presque tous les cas, des changements dans les procédures de travail seront nécessaires.

Par ailleurs les imprimeurs qui veulent faire de la substitution devront considérer les contraintes particulières propres à leurs clientèles. En effet un client peut accepter une légère baisse dans la qualité associée à une modification de la formulation des encres alors que cela sera inacceptable pour un autre client.

6.4. DESCRIPTION DES TECHNIQUES DE SUBSTITUTION

Dans cette section nous allons considérer successivement l'offset, la sérigraphie, la flexographie et la rotogravure du point de vue des avenues spécifiques de remplacement des solvants organiques. Nous avons délibérément omis le procédé typographique car il est de moins en moins utilisé.

6.4.1 Offset

6.4.1.1 Les encres

6.4.1.1.1 Huile minérale et huile végétale

Certaines encres offset contiennent des huiles minérales constituées d'hydrocarbures volatils à hauts points d'ébullition (Hartsuch, 1979). Ces huiles servent à dissoudre les polymères ou liants entrant dans la composition de ces encres. Telles sont les encres thermoséchantes («heatset inks») et les encres à séchage rapide («quickset inks»). Il est possible de considérer ces hydrocarbures comme des solvants mais ils se situent à la limite supérieure de la gamme des points d'ébullition de notre définition des solvants (voir chapitre 2). L'intérêt des imprimeurs à remplacer ces substances se situe au niveau de la possibilité de réduire les émissions de COV. La substitution des huiles végétales aux huiles minérales est une des voies mises de l'avant par les fabricants d'encres. L'utilisation de ces nouvelles encres a aussi l'avantage d'améliorer la netteté des couleurs, en raison de la limpidité plus grande des huiles végétales, particulièrement pour l'impression sur le papier-journal (Stevenson, 1989). La plupart des encres à base végétale contiennent de l'huile de soya mais aussi une certaine quantité d'huile minérale. La quantité d'huile végétale qui remplace l'huile minérale varie d'un manufacturier à l'autre mais dépend aussi des facteurs suivants:

- le type de presse. À titre d'exemple, les encres thermoséchantes requièrent plus d'huile minérale que les autres encres;
- le type de papier. Plus le papier est absorbant, plus le pourcentage d'huile végétale peut être élevé;
- la couleur de l'encre. Les encres noires à base de soya sèchent plus lentement que les encres de couleur à base de soya.

Une autre avenue de remplacement des huiles volatiles consiste à augmenter le pourcentage de solides dans les encres. Dans les cas extrêmes, il est possible de réduire la teneur des solvants dans ces encres de 45 à 15 % en poids (Rix, 1993).

6.4.1.1.2 Encres réactives

Les encres réactives sont 100 % solides. Il en existe trois types: les encres réagissant à la radiation ultraviolette (UV), les encres réagissant au faisceau d'électrons (EB) et les encres à catalyse thermoréactive. Les espèces réactives sont constituées généralement de monomères et d'oligomères d'acrylates (Gamble, 1986). Les encres UV nécessitent l'utilisation de photoinitiateurs pour le durcissement alors que les encres EB n'en ont pas besoin. Les encres EB sont présentement plus dispendieuses que les encres UV. L'équipement pour la mise

en oeuvre des EB est beaucoup plus onéreux que celui pour les UV. L'utilisation des encres EB requiert également des mesures de prévention de l'exposition des pressiers aux rayons-X (USEPA, 1990). La littérature rapporte des épisodes de dermatoses allergiques chez certains imprimeurs employant les encres UV (Nethercott, 1986). Malgré leur toxicité cutanée, les encres UV ont l'avantage de ne pas requérir autant de nettoyage car elles ne sèchent pas spontanément sur les rouleaux des presses d'où une utilisation réduite de solvant (TURI, 1994a). Les encres à catalyse thermoréactive emploient la chaleur pour activer le catalyseur qui entraîne la reticulation du liant de l'encre.

6.4.1.1.3 Encres solubles dans l'eau

La compagnie Deluxe Corporation de St-Paul au Minnesota aurait élaboré récemment une encre offset qui peut être nettoyée à l'eau (USEPA, 1994b). L'entreprise utiliserait cette encre depuis 1993 dans plus de 40 de ses imprimeries sur des presses rotatives sans thermoséchage et sur des presses à feuilles pour l'impression de chèques et de formules d'affaire. D'autres imprimeurs utiliseraient également cette encre pour l'impression de cartes de souhait et de brochures. Enfin, l'introduction récente d'encres contenant moins de 1 % de COV et que l'on peut nettoyer avec des détergents anioniques semble prometteuse (Sugarman, 1995).

6.4.1.2 La solution de fontaine

L'isopropanol contenu dans les solutions de fontaine s'évapore et pollue les locaux de travail. Son évacuation à l'extérieur contribue à la production d'ozone troposphérique. Étant donné que l'ozone est le polluant le plus problématique dans les centres urbains comme Montréal (Gagnon, 1994), il devient impératif de contrôler les émissions de cet alcool dans l'air extérieur. Il existe des substituts à l'isopropanol mais aucun de ces produits ne semble fonctionner aussi bien sous différentes conditions de production (Materazzi, 1990). Néanmoins, il demeure possible de réduire au minimum la consommation d'isopropanol. Le lecteur désirant connaître les éléments techniques à considérer pour la réduction du pourcentage d'isopropanol dans les solutions de fontaine, est référé aux documents publiés par la National Association of Printers & Lithographers (NAPL) (Materazzi, 1982; Materazzi, 1987; Materazzi, 1990). Les produits de substitution retrouvés sur le marché contiennent souvent des éthers de glycol mais dans une plus faible proportion que l'isopropanol contenu dans les solutions de fontaine classiques (Anonyme, 1990a) (voir le cas de substitution n° 1013). Malheureusement ces solvants sont encore plus toxiques que l'isopropanol, quoique les dérivés du propylène glycol ont une toxicité générale faible (Cicolella, 1992).

6.4.1.3 La lithographie sans eau ou offset à sec

À la fin des années 60, aux États-Unis, la compagnie 3M a inventé le procédé «Driography» par lequel l'offsettiste pouvait réaliser un tirage sans solution de fontaine.

La compagnie japonaise Toray Industries Inc. a acheté le brevet, développé le produit et l'a réintroduit en Amérique du Nord en 1985 (Cross, 1992a). Elle est actuellement la seule compagnie produisant les clichés offset sans eau mais le brevet expirant sous peu, les autres fabricants devraient introduire incessamment leur propre technologie. La répulsion de l'encre sur les zones non imprimantes du cliché est assurée par une mince couche de caoutchouc au silicone. Cela constitue le principe moteur des clichés sans eau. L'absence de solution de fontaine entraîne toutefois une augmentation de la température des rouleaux des presses et fait baisser la viscosité des encres. Un système de contrôle de la température des rouleaux est recommandé afin de s'assurer que la viscosité des encres demeure à l'intérieur d'une gamme acceptable. Le fragile équilibre encre/eau est donc remplacé par l'équilibre encre/température. Les avantages techniques de la lithographie sans eau sont les suivants (Cross, 1992a):

- uniformité;
- travaux de haute qualité;
- augmentation de l'efficacité et de la productivité;
- réduction des déchets;
- meilleurs contrastes à l'impression;
- impression en haute résolution (linéature de trame: jusqu'à 354 lignes par cm);
- les changements de couleur se font avec moins de problèmes;
- utilisation d'encres à haute densité;
- le temps consacré à la mise en train est réduit;
- l'engraissement du point («dot gain») est réduit;
- l'impression sur le papier recyclé donne de meilleurs résultats (Cross, 1992b) (Les fibres de papier recyclé sont plus courtes, de sorte que l'addition d'eau sur ce dernier réduit sa stabilité);
- le séchage est plus rapide;
- la prise de l'encre («trapping») est améliorée;
- les clichés ne nécessitent pas de gommage car la surface résiste à l'oxydation.

Les désavantages de la lithographie sans eau sont les suivants (Cross, 1992a):

- les clichés sont plus sensibles que les clichés classiques: ils s'égratignent plus facilement;
- il n'y a pas encore une concordance parfaite entre l'épreuve et ce que l'on obtient sur la presse;
- le passage à cette technologie nécessite l'investissement dans un système de contrôle de température des rouleaux des presses, un nouvel appareil de développement des plaques ainsi que l'achat de clichés et d'encres plus dispendieux. Toutefois, un imprimeur américain aurait réussi à utiliser l'offset à sec sans avoir à effectuer un contrôle rigoureux de la température des encres (McCabe, 1994).

La lithographie sans eau a surtout accaparé une part du marché dans les domaines suivants:

- l'impression à feuille de haute qualité (cas de substitution n° 1019);
- l'emballage;
- l'impression d'étiquettes.

Du point de vue de la santé au travail et de l'environnement, il semble bien que cette technologie est à privilégier en raison de l'élimination des solutions de fontaine.

Le lecteur est référé aux publications de Cross et de Earner pour plus de détails (Anonyme, 1992b; Anonyme, 1993a; Cross, 1993a; Cross, 1993b; Cross, 1993c; Cross, 1993d; Earner, 1994). Le NAPL a aussi produit une audiocassette qui présente des interviews avec plusieurs imprimeurs américains ayant adopté cette technologie (NAPL, 1993). Les imprimeurs désireux de se renseigner peuvent aussi contacter la Waterless Printing Association (Voir les coordonnées à l'annexe 3).

6.4.1.4 Les solvants de nettoyage des presses

Le lavage des presses expose le conducteur de presse offset et ses assistants à divers solvants (Bégin, 1988). L'utilisation des hydrocarbures chlorés a tendance à diminuer aux États-Unis à cause des lois environnementales. À preuve, une étude récente visant à comparer différents produits commerciaux pour le nettoyage des blanchets des presses offset à feuille n'a retrouvé aucun hydrocarbure chloré dans les 14 produits évalués (Tillotson, 1994). Par contre les mélanges d'hydrocarbures aliphatiques et aromatiques sont encore omniprésents sous la forme de naphtas dont la composition peut varier considérablement.

Il existe six sortes de solvants de nettoyage sur le marché (Libner, 1994):

a) les hydrocarbures comportant une fraction aromatique;
b) les hydrocarbures sans composante aromatique;
c) les solvants dont le point d'ébullition et le point d'éclair sont élevés («hi-flash solvents»);
d) les solvants dont la composante principale est un terpène;
e) les nettoyants à base d'huile végétale et/ou leurs esters d'acides gras;
f) les mélanges de nettoyants à base d'huile végétale avec des terpènes et/ou d'autres solvants organiques.

En Amérique du Nord, l'on retrouve de moins en moins les solvants de la catégorie a) et b). Ils sont performants mais aussi très volatils et toxiques. Ils sont de plus en plus remplacés par ceux des catégories c) («hi-flash solvents») et d).

Les solvants de la catégorie c) incluent notamment les naphtas aliphatiques et aromatiques à haut poids moléculaire (voir les cas de substitution n° 3204, 3205,

3206, 3207, 3209, 3210, 3212, 3213, 3214, 3215, 3216). Les éthers de glycol pourraient constituer une catégorie à part entière quoique leurs faibles tensions de vapeur et leurs points d'ébullition élevés nous permettent de les classer aussi dans la catégorie c) (voir le cas de substitution n° 3211).

Certains fabricants mettent sur le marché des mélanges de solvants portant des noms de marque «écologiques». La majorité de ces mélanges sont élaborés aux États-Unis où le USEPA envisage la possibilité de limiter à 30 % en poids la quantité admise de COV dans les nettoyants de blanchets (USEPA, 1993a). La prudence est donc de rigueur lors de l'évaluation de ces mélanges «verts». À titre d'exemple, une valeur en deçà de 30 % de composés organiques volatils ne signifie pas automatiquement que le produit est sans risque pour le travailleur.

Récemment, de nouveaux produits peu toxiques ont été proposés (Tillotson, 1994). Ce sont les nettoyants de la catégorie e) (voir les cas de substitution n° 1001 et 3203). Ces produits sont à considérer par les imprimeurs tant du point de vue de la santé au travail que de la protection de l'environnement. Nous en traiterons plus longuement dans la prochaine section. Les solvants de la catégorie f) sont des hybrides des catégories précédentes. Les esters de diacides aliphatiques pourraient aussi être considérés pour le nettoyage des plaques (Research Triangle Institute, 1992). Ces solvants sont des mélanges d'esters méthyliques de l'acide succinique, glutarique et adipique. Leur usage pour le nettoyage des blanchets est limité à cause du gonflement du caoutchouc qu'ils provoquent (Jacobsen, 1994; Tillotson, 1994) (voir le cas de substitution n° 3208).

6.4.1.4.1 Les nettoyants à base d'huile végétale

Une imprimerie de dimension moyenne peut facilement utiliser, chaque semaine, quelques milliers de chiffons imbibés de solvants pour le nettoyage des rouleaux des presses à imprimer. C'est dans ce contexte que des professeurs du département des arts graphiques du Copenhagen Technical School au Danemark ont mis au point une technique de nettoyage des presses offset à l'aide d'huile de soya (Hendriksen, 1990). Le fabricant allemand de presse à imprimer MAN-Roland en fait même la promotion (Anonyme, 1993e). Néanmoins il existe certains problèmes liés à l'utilisation de l'huile de soya pure. En raison de sa viscosité élevée, le travail de nettoyage est plus astreignant. De plus, le degré d'insaturation de l'huile de soya peut causer des dommages aux roulements des presses et créer un risque d'auto-ignition des chiffons imbibés d'huile utilisés pour le nettoyage (Jacobsen, 1993).

Plusieurs fabricants européens ont donc élaboré des dérivés possédant une viscosité réduite et un degré d'insaturation moindre que l'huile de soya pure. Ces produits contiennent des monoesters dérivés des acides gras contenus dans les huiles végétales notamment l'huile de colza, l'huile de soya et l'huile de coco. Ces monoesters sont obtenus soit par transestérification des huiles avec

un monoalcool ou par estérification de fractions purifiées des acides gras avec un monoalcool. Les produits commerciaux sont généralement constitués de mélanges de monoesters auxquels l'on ajoute parfois des triglycérides obtenus des huiles végétales. La proportion des différents ingrédients détermine les caractéristiques du produit final en terme de volatilité, de viscosité et de degré d'insaturation (Jacobsen, 1993).

L'utilisation de ces nettoyants à base végétale est en train de se répandre en Europe par l'intermédiaire d'un programme de transfert de technologie dénommé SUBSPRINT. Le premier numéro du bulletin d'information de ce programme décrit la façon de travailler avec ces nouveaux nettoyants (Libner, 1993). Ce dernier point semble être crucial. En effet il ne s'agit pas simplement de substituer un produit par un autre: il faut aussi modifier les méthodes de travail (AAA, 1992). Certains fabricants européens de presses et d'appareils automatiques de nettoyage de blanchet sont actuellement à l'oeuvre pour modifier ces derniers afin de les adapter à l'utilisation des nettoyants à base végétale (Jacobsen, 1994). Certaines imprimeries européennes ont commencé à utiliser ces nettoyants dans leurs systèmes automatiques de nettoyage des blanchets (Libner, 1994). Les protagonistes de ces nouvelles technologies de nettoyage parlent même d'augmentation de la productivité liée à la réduction des coûts par une diminution de la quantité de nettoyant utilisée comparativement aux solvants traditionnels (Jacobsen, 1993; Libner, 1993) ainsi qu'une diminution des coûts de gestion des déchets (Libner, 1994).

6.4.2 Sérigraphie

6.4.2.1 Les encres

Il existe quatre sortes d'encre en sérigraphie: à solvant, aqueuse, UV et plastisol. Les encres doivent souvent être très résistantes, notamment pour l'utilisation à l'extérieur. En effet, les substrats utilisés dans ce procédé incluent le textile, le métal, le papier, le cuir, les panneaux de fibres agglomérées (Masonite^{MD}), le bois, le verre, toutes sortes de plastiques et les circuits imprimés.

6.4.2.1.1 Encres à solvant

Les encres à solvants peuvent contenir des nitrates de cellulose mis en solution dans des cétones notamment. Elles sont utilisées pour l'impression sur le papier, le carton, le métal en feuille, les couvertures de livre, le bois et certains plastiques. Les résines d'éthyl cellulose modifiée sont utilisées surtout pour le papier et le carton. Elles sont dissoutes dans les essences minérales (solvant Stoddard) et les naphtas aliphatiques.

Les résines alkydes sont utilisées pour l'impression sur le carton, le polyethylene traité et le métal.

Les résines époxy sont utilisées lorsqu'il est nécessaire d'obtenir une excellente adhérence au substrat. Ces encres sont fournies en deux parties, la base et le durcisseur, mélangées dans des proportions déterminées avant l'utilisation. Les solvants utilisés peuvent comprendre des éthers de glycol. On les utilise pour l'impression sur le verre, le métal, la céramique et certains plastiques tels que les phénoliques, les polyesters et les résines de mélamine-formaldéhyde.

La plupart des encres appliquées sur les plastiques sèchent par evaporation des solvants. Chaque plastique nécessite une encre particulière. Ainsi, pour imprimer sur un substrat en vinyle, on utilise une encre contenant du chlorure de polyvinyle dissout dans des solvants cétoniques. Pour l'impression sur les acryliques, le butyrate de cellulose et le polystyrène, l'on utilise une encre à base d'acrylate (Hartsuch, 1979).

6.4.2.1.2 Encres aqueuses

Les encres utilisées sur les tissus peuvent être à base d'eau avec des résines telles que la gomme arabique, la dextrine et la caséine (Hartsuch, 1979).

Il existe aussi des encres aqueuses pour l'impression sur les matériaux d'emballage (Machin, 1992). Les encres aqueuses ont aussi fait leur entrée dans le domaine des arts (Kreneck, 1989; Paul, 1989).

6.4.2.1.3 Encres UV

Les encres UV ont trouvé certains débouchés en sérigraphie (Robins, 1986). On les retrouve pour l'impression d'affiches, de contenants et de circuits électroniques. Les avantages de ces encres sont similaires à ceux des encres UV utilisées dans les autres procédés d'impression. Toutefois, un point particulier à la sérigraphie est la réduction des problèmes de perte de détail due au séchage des encres traditionnelles par evaporation du solvant dans l'écran même. En effet, l'absence de solvants dans les encres UV élimine ce problème en sérigraphie. Il est possible d'utiliser les encres UV sur le papier, le chlorure de polyvinyle, le polystyrène et le polycarbonate. Des encres UV à base aqueuse seraient aussi disponibles (Robins, 1986).

6.4.2.1.4 Plastisols

Les encres à base de plastisol sont 100 % solides. Le plastisol est un liquide épais obtenu par la dispersion d'une résine de chlorure de polyvinyle dans un plastifiant. Ces encres sont utilisées notamment pour l'impression sur les vêtements de coton tels que les T-shirt. Ces encres «sèchent» lorsque le plastisol est polymerise sous l'effet de la chaleur (Hartsuch, 1979).

6.4.2.2 Les solvants de nettoyage

Les solvants sont employés pour la régénération ou dégravage de l'écran. Les nettoyants utilisés dépendent des applications. Les solvants employés sont de nature semblable à ceux contenus dans les encres que l'on désire nettoyer. Une compagnie a réussi à substituer le toluène et la méthylisobutylcétone par un solvant ne contenant pas de composés organiques volatils pour le nettoyage des presses à sérigraphier (Nelson, 1993).

Une étude danoise suggère de réduire le risque pour la santé imposé à l'imprimeur sérigraphe, par les encres ou nettoyants contenant des éthers de glycol, en substituant (Jacobsen, 1994):

- les éthers de propylène glycol aux éthers d'éthylène glycol;
- les acétates d'éthers de glycol aux éthers de glycol;
- les éthers diglycoliques aux éthers de glycol;
- les isomères *a* aux isomères β des éthers de propylène glycol.

6.4.3 Flexographie

6.4.3.1 Les encres

Historiquement toutes les encres flexographiques contenaient des solvants volatils. Les recherches de substituts ont commencé dans les années 70 à cause des préoccupations environnementales et de santé et sécurité du travail. Les alternatives se divisent en deux catégories principales: les encres aqueuses et les encres réactives.

6.4.3.1.1 Composition des encres aqueuses

La teneur en solides des encres aqueuses est plus élevée que celle des encres à solvants. Leur contenu en COV se situe entre 5 et 30% à l'usage alors que les encres à solvants en contiennent entre 50 et 85 % (Green, 1992).

L'impression sur le papier, le carton et autres substrats hydrophiles met en oeuvre presqu'exclusivement les encres à base d'eau. Les résines utilisées dans les encres à base d'eau sont les suivantes: gomme-laque, protéine de soya, caséine, acrylates, emulsions de latex (Miller, 1993). Les glycols sont les seuls solvants contenus dans les encres aqueuses utilisées en édition. Ces solvants représentent moins de 5 % de la composition de ces encres. Par contre, les encres pour les emballages de carton et de papier ont tendance à contenir plus de solvants, jusqu'à 20 %. Elles peuvent contenir des alcools, des glycols et des éthers de glycols. Les encres à base d'alcools possèdent plus de solvant que les autres. Toute substitution accrue des alcools dans ces encres amènerait probablement une augmentation de l'utilisation des glycols et des éthers de glycol. Les encres aqueuses se sont aussi taillées une place pour les substrats

non-poreux tels que les pellicules de plastique (cas de substitution n° 1005), mais la percée est moins importante (Rix, 1993).

6.4.3.1.2 Conversion aux encres aqueuses

La conversion à l'encre aqueuse d'une presse flexographique ne possédant pas de système de contrôle des COV peut permettre d'éliminer le besoin d'un tel système. Par contre, il faudra investir dans la modification de l'équipement et dans les procédures de travail. Il faut aussi s'attendre à des résultats différents dans l'imprimé. En effet, les encres aqueuses peuvent être incompatibles avec certains types de substrats tels que les papiers glacés. Néanmoins, les encres aqueuses sont satisfaisantes pour plusieurs applications et particulièrement pour l'emballage. La conversion aux encres aqueuses nécessite des modifications au système de séchage (Green, 1992). Les encres aqueuses sont plus corrosives pour les éléments de la presses conçus en acier au carbone. Les séchoirs en acier inoxydable sont nécessairement plus dispendieux. Les encres aqueuses étant composées de polymères dispersés dans l'eau, les opérations de nettoyage sont plus difficiles car la résine durcit lorsque l'eau s'évapore. Le coût des encres aqueuses est plus élevé que celui des encres à solvant. Par contre, leur pouvoir couvrant étant supérieur, elles sont utilisées en moins grande quantité. La conversion aux encres aqueuses permet de réduire d'environ 80 % les émissions de COV. La qualité de l'air à l'intérieur des locaux de travail est ainsi améliorée. De plus, le coût des assurances est réduit parce que le risque d'incendie est diminué (Green, 1992). Certains auteurs ont calculé les coûts associés à la conversion aux encres aqueuses (Green, 1992; Miller, 1993). (Voir les cas de substitution/conversion n° 1004, 1007, 1009).

6.4.3.1.3 Encres réactives

Avant les années 90, il n'existait pas d'applications flexographiques pour les encres réactives UV, surtout en raison de leur grande viscosité. Les encres EB doivent être utilisées dans un environnement sans oxygène, ce qui serait incompatible avec les presses flexographiques (Green, 1992). Par ailleurs des développements récents dans la synthèse de résines à faible viscosité ouvrent la voie aux encres UV pour la flexographie (Byland, 1993). Tout comme les encres UV en offset, les encres UV en flexographie ne contiennent pas de solvants. La fréquence des nettoyages de la presse est par conséquent réduite. La qualité de l'impression est supérieure à celle obtenue avec les encres traditionnelles à solvants ou à l'eau de sorte qu'elle se rapproche de ce qui peut être obtenu avec les procédés offset ou typographique. La résistance chimique des encres UV est aussi non négligeable dans des domaines tels que les emballages pour cosmétiques et les produits pharmaceutiques.

Les désavantages des encres UV en flexographie sont les mêmes que pour les autres procédés d'impression qui les utilisent, à savoir le risque d'irritation de

la peau chez les pressiers, un coût plus élevé par litre et une durée de vie de l'encre se limitant à 12 mois. Les encres UV adhèrent à une multitude de surfaces mais il est parfois nécessaire de traiter le substrat comme dans le cas du traitement à la décharge électrique pour les pellicules de plastique. Les substrats poreux peuvent causer des problèmes liés à l'absorption de l'encre dans le matériau. Il peut alors être nécessaire d'augmenter la vitesse de la presse afin de s'assurer que l'encre est durcie par les UV avant d'être absorbée par le substrat. Étant donné que la viscosité des encres UV est plus grande que celle des encres à solvants ou aqueuses, il peut être nécessaire d'utiliser des rouleaux anilox (cylindre qui transfert l'encre sur le cliché) en céramique gravés au laser ainsi que des raclettes à angle inversé (Nobel Printing Inks Corp, 1992).

6.4.3.2 Les solvants de nettoyage

Le nettoyage des encres à base d'eau peut être fait avec de l'eau ou des solutions nettoyantes aqueuses. Le nettoyage des encres à solvants doit être effectué à l'aide de solvants similaires à ceux contenus dans les encres. Une partie du nettoyage peut se faire à l'aide de nettoyants à faible teneur en COV et de savons ou détergents (Rix, 1993). Le nettoyage aux ultrasons dans une solution aqueuse de détergents pourrait aussi être utilisée pour le lavage des rouleaux anilox et les autres parties démontables d'une presse flexographique. L'avantage principal serait la réduction du temps de nettoyage (Barnett, 1989).

6.4.4 Rotogravure

6.4.4.1 Les encres

Les encres sont très fluides et sèchent rapidement. Le pressier ajoute des mélanges de solvants durant le tirage afin d'assurer la viscosité requise. On utilise des fours pour sécher l'encre sauf pour les journaux, où l'encre sèche par absorption dans le papier. La rotogravure pour les publications telles que les journaux, revues et répertoires utilise surtout des encres à base de toluène. Ce solvant a pu être éliminé au profit *de* l'acétate d'isopropyle dans le cas de l'impression de haute qualité sur carton de cigarette (cas de substitution n° 1012). L'impression pour l'emballage requiert surtout des encres à base de nitrate de cellulose (Montgomery, 1989) contenant des alcools. L'impression sur les matériaux tels que les panneaux muraux, la tapisserie, les revêtements à plancher et le plastique utilise des encres aqueuses ou des encres à solvant en fonction du substrat (Rix, 1993).

6.4.4.1.1. Encres aqueuses

L'utilisation des encres aqueuses pour la rotogravure varie selon les catégories d'application suivantes: publication, emballage et produit fini. L'efficacité de cette approche de substitution dépend donc des particularités du procédé: le substrat, les presses et les attentes concernant la qualité. L'addition de

solvants tels que les alcools est souvent nécessaire pour abaisser la tension de surface. Ceci permet à l'encre de pénétrer à l'intérieur des alvéoles du cliché. La recherche dans ce domaine se concentre sur l'utilisation de polymères différents pour augmenter la solubilité et le séchage. Le problème principal sur les presses utilisant ces encres dans le domaine des publications est la distorsion du papier et le séchage. Par contre, les applications utilisant des presses fonctionnant à des vitesses réduites et sur des substrats épais obtiennent un certain succès. La plupart des encres aqueuses trouvent un débouché dans les applications d'emballage sur papier ou panneaux où le problème de la tension de surface est moins important. Il y a toutefois des succès aussi sur les pellicules de plastique ou le métal en feuille (Rix, 1993).

Les encres aqueuses sont généralement plus onéreuses que les encres classiques. Par contre, cette différence de prix est atténuée par le fait que l'on utilise moins d'encre aqueuse. En effet, l'épaisseur requise du feuil d'encre est moindre en raison de son pouvoir couvrant supérieur. Un autre avantage de l'utilisation des encres aqueuses vient du fait qu'elles sont plus stables en terme de viscosité parce que l'eau s'évapore moins rapidement que les solvants des encres traditionnelles (Rix, 1993).

Des encres aqueuses en mousse sont disponibles pour la rotogravure sur papier. Ces encres ressemblent aux autres encres aqueuses mais se transforment en mousse sur la presse. Par la suite, la mousse forme une lamelle ou film qui recouvre les alvéoles du cylindre d'impression. L'excès d'encre est ensuite retiré par la racle. Étant donné que les alvéoles sont recouvertes par ce film d'encre, elles ne sont pas complètement remplies d'encre comme c'est le cas avec les autres encres aqueuses, d'où une réduction substantielle d'encre appliquée. Ces encres ont une teneur plus élevée en solides afin d'obtenir une densité de couleur équivalente (Rix, 1993).

6.4.4.1.2 Encres réactives

Les encres réactives durcissant aux UV ou au EB ont aussi leur place en rotogravure sur pellicule d'emballage. Les points importants à considérer incluent la viscosité et l'adhérence. Les encres UV pour la rotogravure sont plus visqueuses que les encres traditionnelles de sorte qu'il est nécessaire de modifier les dispositifs d'encrage, le cylindre de rotogravure et la raclette.

6.4.4.2 Les solvants de nettoyage

Les mêmes remarques concernant les solvants de nettoyage en flexographie s'appliquent ici. Par ailleurs, il est possible de nettoyer les cylindres d'impression à l'aide des ultrasons (Barnett, 1989). Cette technique emploie un bain rempli d'une solution aqueuse de détergent. Les ultrasons utilisés ont des fréquences avoisinant 20 à 40 kHz. Cette technique élimine l'utilisation des solvants et par conséquent les

émissions dans l'atmosphère et l'exposition des travailleurs. Il en résulte également une diminution des problèmes de gestion des déchets. Le temps consacré au nettoyage des cylindres est aussi réduit. Enfin le nettoyage étant plus efficace, la piètre qualité de l'imprimé due à l'accumulation d'encre sur les cylindres est réduite. Les coûts élevés de l'équipement nécessaire semblent être le principal facteur négatif associé à cette technique de nettoyage. Néanmoins, une analyse globale des coûts et bénéfices milite en faveur de l'utilisation des ultrasons particulièrement pour les imprimeries qui conservent les mêmes cylindres d'impressions pour plusieurs tirages. Ceci ne serait pas le cas en rotogravure pour les publications.

6.5 CONCLUSION

Ce chapitre a présenté de façon succincte les différents procédés d'impression et les avenues s'offrant aux imprimeurs pour substituer les solvants toxiques par d'autres solvants moins dangereux ou pour remplacer les encres à base de solvants par des encres alternatives.

L'offset est sans contredit le procédé le plus répandu en imprimerie. C'est pourquoi nous nous sommes attardés plus longuement sur ce dernier. Les solvants dérivés d'huiles végétales représentent à notre avis les produits à privilégier pour le nettoyage des presses offset. Néanmoins de nouvelles encres ont récemment été introduites sur le marché, lesquelles peuvent être nettoyées à l'aide de solutions aqueuses de détergents. Par contre l'innocuité de ces nouvelles encres reste à être démontrée. Les encres UV représente aussi une alternative aux encres traditionnelles car elles ne contiennent pas de COV. Elles nécessitent un nettoyage aux solvants moins fréquent sur les presses. Par contre leur potentiel allergisant à bien été démontré dans la littérature. Enfin le procédé offset à sec est attrayant car il élimine complètement l'utilisation de la solution de mouillage contenant l'alcool isopropylique et autres substituts tels que les éthers de glycol.

Le passage aux encres aqueuses en flexographie et en rotogravure est à privilégier mais ne peut se faire pour tous les substrats. Les encres UV sont aussi utilisées mais souffrent des mêmes désavantages que les encres UV offset à savoir leur pouvoir irritant et allergisant.

La sérigraphie est le procédé pour lequel on ne peut proposer de solution universelle de substitution de solvant en raison de la nature diversifiée des substrats auxquels les encres doivent adhérer. Néanmoins il faut privilégier les substitutions de procédé telles que l'utilisation d'encres aqueuses et l'emploi d'éthers de propylène glycol plutôt que les éthers d'éthylène glycol comme solvant de nettoyage.

CHAPITRE 7. LE DEGRAISSAGE ET LE NETTOYAGE DES SURFACES MÉTALLIQUES

7.1 INTRODUCTION

7.1.1 Sujets couverts dans ce chapitre

Ce chapitre traite de l'utilisation des solvants pour l'enlèvement de salissures principalement organiques lors de la fabrication et de l'entretien de pièces ou objets métalliques. Les termes de dégraissage et de nettoyage sont fréquemment employés sans distinction claire pour décrire ces opérations. Le nettoyage à l'aide de solvants est en fait une étape clef dans de nombreuses activités. Il sert à enlever des salissures organiques telles que les graisses, huiles et résines, et parfois des salissures inorganiques telles que des oxydes ou des sels, sur des surfaces métalliques dans les trois situations suivantes (USEPA, 1994a):

a) le nettoyage comme étape dans la fabrication de produits;
b) le nettoyage du matériel de production;
c) le nettoyage dans le cadre d'opérations d'entretien.

Le nettoyage associé à l'entretien des locaux n'est pas spécifiquement couvert dans ce chapitre. Quant au nettoyage et dégraissage dans l'imprimerie, dans la fabrication des instruments de précision et des modules de circuits imprimés, il fait l'objet de chapitres spécifiques dans ce rapport.

7.1.2 Principaux solvants traditionnels

Le tableau 7.1 présente la répartition de la consommation des solvants de dégraissage au Canada d'après une enquête pour le compte d'Environnement Canada (Camford, 1991).

On remarque que les solvants chlorés représentent près de la moitié des solvants utilisés. Cela s'explique par leur pouvoir nettoyant associé à leur ininflammabilité malgré leur coût plus élevé que les solvants pétroliers. Quant aux solvants oxygénés, leur emploi est encore limité.

7.1.3 Techniques d'application

Il existe quatre mécanismes d'action des solvants pour le nettoyage (USEPA, 1994a):

a) la solubilisation (p. ex. le dégraissage);

b) la modification de la tension superficielle (p. ex. l'utilisation des détergents);

c) l'action mécanique (p. ex. le récurage);

d) la réaction chimique (p. ex. la saponification).

Tableau 7.1
Consommation des solvants de dégraissage au Canada en 1991

Solvants	Kt	%
Naphta	10	28,7
1,1,1-Trichloroéthane	8,8	25,2
Toluène	3	8,6
Aromatiques lourds	3	8,6
Trichloroéthylène	2,8	8
Éthers de glycols et leurs acétates	2,1	6
Perchloroéthylène	1,6	4,6
Dichlorométhane	1,4	4,4
Méthanol	1	2,9
Esters	0,6	1,7
CFC	0,6	1,7
Total	34,9	100

(tiré de Camford, 1991)

L'immersion manuelle ou automatisée simple, l'immersion avec agitation mécanique ou aux ultrasons, le nettoyage à l'aide d'un chiffon, la projection et le dégraissage en phase vapeur sont les techniques de nettoyage le plus fréquemment rencontrées; les solvants peuvent être appliqués à froid ou à chaud (Mahieu, 1994; Words and Publications, 1992).

Dans le dégraissage en phase vapeur, les vapeurs d'un solvant bouillant se condensent sur les pièces à nettoyer, enlevant les salissures par écoulement et, dans le cas de certaines salissures, par dissolution. Le dégraissage se poursuit jusqu'à ce que la pièce soit réchauffée pour empêcher la condensation des vapeurs. La pièce est alors enlevée et séchée. La durée d'un traitement de dégraissage en phase vapeur est d'approximativement 10 minutes. Ce type de dégraissage s'avère particulièrement efficace contre les salissures organiques telles que les fluides de coupe à base d'huiles, la vaseline, et les cires à points de fusion élevés; il est moins performant contre les empreintes digitales, les sels hydrosolubles et des salissures routières (Quitmeyer, 1991).

Le nettoyage à l'aide d'un chiffon est surtout utilisé pour enlever huiles, graisses, empreintes digitales, colorants et scellants non durcis à base de polysulfures, sur des sous-assemblages, soit avant la peinture ou le scellage, soit avant l'application d'adhésifs (Weltman, 1992).

7.2 PRODUITS DE SUBSTITUTION

7. 2. 1 Propriétés recherchées

Idéalement, les produits de substitution devraient posséder les propriétés désirables des solvants qu'ils remplacent, sans toutefois causer les mêmes problèmes pour la santé ou l'environnement (Tableau 7. 2).

De plus, les solvants remplaçant le 1, 1, 1-trichloroéthane dans des procédés de dégraissage en phase vapeur doivent aussi posséder une faible chaleur latente de vaporisation et une faible chaleur spécifique, afin de maximiser la condensation de vapeur par unité de surface de refroidissement. Les vapeurs doivent être denses, et le point d'ébullition du produit doit être suffisamment bas pour faciliter la séparation des salissures par distillation (Rehm, 1982).

Tableau 7.2
Profil du produit de substitution idéal

Peu toxique Non cancérogène
Ininflammable Non explosif
PDO faible Faible contribution à l'effet de serre Facilement récupérable Biodégradable
Chimiquement stable Non réactif Peu visqueux Non corrosif Faible odeur Faible tension de vapeur et faible vitesse d'évaporation
Efficace contre une large gamme de salissures organiques Sèche à la température ambiante Ne laisse aucun résidu Laisse une surface pouvant être peinte
Faible coût d'opération

(Weltman, 1992; Words and Publications, 1992)

7.2.2 Généralités au suiet des hydrocarbures halogènes

Les hydrocarbures halogènes sont de bons solvants pour une grande variété de salissures, leur pouvoir de dissolution étant indépendant de la chimie solvant-salissure (Energy Pathways Inc., 1994; Lea, 1993). Ne contenant pas d'eau, ils sont compatibles avec la plupart des substrats (Energy Pathways Inc., 1994).

Du point de vue opérationnel, ils offrent l'avantage de ne pas exiger une étape de séchage après le nettoyage, car les pièces sèchent rapidement en sortant du solvant (Lea, 1993). Puisqu'ils peuvent devenir acides, donc corrosifs, des mesures de surveillance de l'acidité sont nécessaires (Lea, 1993). Ils sont récupérables par distillation et ne génèrent pas d'effluents aqueux (Energy Pathways Inc., 1994).

7.2.3 Perfluorocarbures

Description Ils sont de bons solvants pour les polymères halogènes mais solubilisent mal les graisses à base d'hydrocarbures (Energy Pathways Inc., 1993).

Avantages Les perfluorocarbures sont extrêmement stables, peu toxiques et ininflammable; (Energy Pathways Inc., 1993). Ne contenant aucun chlore, ils sont classés comme produits dont le potentiel de depletion de la couche d'ozone (PDO) est nul (Energy Pathways lnc., 1993 Lea, 1993).

Désavantages Ces composés contribuent à l'effet de serre (Energy Pathways Inc., 1994 Energy Pathways Inc., 1993; Lea, 1993). À cause de leur volatilité et leurs coûts, ils doivent être utilisés dans des systèmes fermés ou à faible émission (Energy Pathways Inc., 1993 Lea, 1993).

7.2.4 Trichloroéthvlène, perchloroéthvlène

Description Ces deux solvants, remplacés au fil des ans par le 1, 1, 1 -trichloroéthane pour des motifs de santé, sont en train de réapparaître dans le secteur du dégraissage à cause de la nécessité de remplacer ce dernier pour des motifs environnementaux (Energy Pathways Inc., 1993; Frangos, 1993).

Ils sont d'excellents solvants pour huiles et graisses mais sont inefficaces contre les salissures ioniques. Leur compatibilité avec les métaux est excellente mais ils sont incompatibles avec certains élastomères et plastiques (Lea, 1993). Le trichloroéthylène et le perchloroéthylène ont été recommandés lorsque (Energy Pathways Inc., 1993; Johnson, 1991 a; Marbek Resource Consultants, 1993; Words and Publications, 1992):

- les métaux à nettoyer peuvent, comme l'aluminium, être corrodés par d'autres solvants;
- les pièces sont très sales;
- plusieurs types de salissures sont présentes;
- un séchage rapide est important.

Mode d'utilisation Ils peuvent être substitués au 1, 1, 1-trichloroéthane dans des procédés de nettoyage en phase vapeur, mais cela exige la modification des équipements existants ou l'installation de nouveaux équipements. À cause de la difficulté de maintenir l'exposition professionnelle en deçà des normes, ils ne sont pas recommandés pour le nettoyage à froid ou à l'aide de chiffons (Energy Pathways Inc., 1994; Energy Pathways Inc., 1993; Johnson, 1991 a; Lea, 1993; Marbek Resource Consultants, 1993; Words and Publications, 1992).

Avantages Bien qu'ils renferment du chlore, ces composés sont classés comme des produits dont le PDO est nul (Lea, 1993).

Désavantages Le perchloroéthylène et le trichloroéthylène sont classés depuis février 1995 par le CIRC comme cancérogènes probables chez l'humain (IARC, 1995). Les deux produits sont classés comme produits toxiques par la Loi canadienne sur la protection de l'environnement et leur usage peut éventuellement être réglementé (Energy Pathways Inc., 1994).

Ces solvants sont classés comme COV, bien que leur réactivité photochimique soient moindre que celle de la plupart des composés organiques halogènes (Energy Pathways Inc., 1994; Energy Pathways Inc., 1993).

Les solvants usés et les boues sont faiblement biodégradables et classés comme des déchets dangereux. Enfin, des mesures rigoureuses de contrôle pour empêcher la contamination des nappes phréatiques sont nécessaires (Lea, 1993; Marbek Resource Consultants, 1993).

Recommandation En raison de leur potentiel cancérogène, nous ne recommandons pas l'emploi de ces solvants comme substituts dans les opérations de nettoyage et de dégraissage.

7.2.5 HCFC

Description À cause de leur pouvoir de dissolution, certains hydrochlorofluorocarbures (HCFC) ont été proposés comme substituts pour le 1, 1, 1-trichloroéthane et le CFC-113 (Johnson, 1991 a). En fait, seuls les HCFC-225ca, HCFC-225cb et HCFC-141b possèdent suffisamment de pouvoir de dissolution et sont assez peu toxiques pour être retenus comme substituts potentiels (Lea, 1993). Cependant, ces HCFC peuvent être incompatibles avec les métaux légers et certains polymères. (Lea, 1993). Le HCFC-123 est un nettoyant très puissant, mais il s'attaque aux pièces et les endommage (Energy Pathways Inc., 1994).

À cause des désavantages évoqués ci-dessous, la compagnie Allied-Signal, fabricant de HCFC, a indiqué que le HCFC-141b ne sera plus disponible comme agent dégraisseur commercial, tandis que la compagnie DuPont du Canada ne recommande plus l'usage des HCFC comme agents de dégraissage (Energy Pathways Inc., 1993; Lea, 1993).

Mode d'utilisation Le HCFC-141 b est contre-indiqué pour le nettoyage à froid; lorsque utilisé pour le nettoyage en phase vapeur, des installations réfrigérées et de contrôle d'émissions sont nécessaires (Lea, 1993).

Avantages Ces composés, à l'exception du HCFC-141 b, ont un PDO plus faible que celui du 1, 1, 1-trichloroéthane ou du CFC-113, bien que non nul (Energy Pathways Inc., 1993;

Johnson, 1991 a; Marbek Resource Consultants, 1993). Ils sont ininflammables et facilement récupérables, et les systèmes qui les utilisent consomment peu d'énergie (Johnson, 1991 a; Marbek Resource Consultants, 1993). Puisqu'ils sont relativement volatils, il n'est pas nécessaire de sécher les pièces nettoyées (Lea, 1993).

Désavantages Les HCFC sont classés comme produits de transition par le Protocole de Montréal et leur usage sera banni ultérieurement (Energy Pathways Inc., 1994; Johnson, 1991 a; Lea, 1993). Déjà, la production des HCFC est contingentée (Lea, 1993). De plus, ils contribuent à l'effet de serre (Lea, 1993).

Les émissions des installations de dégraissage en phase vapeur utilisant le HCFC-123 sont de deux à trois fois supérieures à celles observées avec le CFC-113, à moins que les installations existantes ne soient remplacées ou ne subissent des modifications majeures (Energy Pathways Inc., 1993). Lorsque l'on travaille avec des mélanges à base de HCFC, des installations performantes et réfrigérées de récupération, de manutention et de stockage sont aussi nécessaires (Johnson, 1991 a; Lea, 1993; Words and Publications, 1992).

Coûts En général, les HCFC sont plus dispendieux que le CFC-113 (Energy Pathways Inc., 1993).

7.2.6 Hydrocarbures aliphatiques

Description Les hydrocarbures aliphatiques sont beaucoup utilisés pour le nettoyage des appareils et sont de très bons solvants pour les huiles, les cires et les graisses (Energy Pathways Inc., 1993; Lea, 1993; Marbek Resource Consultants, 1993). Ils sont compatibles avec la plupart des substrats communs, y compris les caoutchoucs, les plastiques et les métaux (Energy Pathways Inc., 1993; Lea, 1993).

Leur teneur en composés aromatiques est habituellement faible: le Safety Kleen^{MD} 105, par exemple, renferme surtout des hydrocarbures saturés à base de C_9-C_{13}, avec 12 % (p/p) de solvants à base de C_8 et moins de 1 % de toluène, benzène et éthylbenzène (Marbek Resource Consultants, 1993).

Mode d'utilisation Leur usage le plus répandu est dans le dégraissage à froid dans des bacs ouverts. Pour rendre le nettoyage plus efficace, le produit peut être circulé par des pompes et les pièces peuvent être arrosées, tournées ou soumises aux ultrasons (Energy Pathways Inc., 1993; Lea, 1993; Words and Publications, 1992). Les hydrocarbures volatils sont aussi utilisés pour le dégraissage en phase vapeur, bien que cette technique soit moins courante (Lea, 1993). Une couche protectrice de gaz inerte est souvent appliquée, aussi bien pour le nettoyage par immersion que pour le nettoyage en phase vapeur (Lea, 1993).

L'étape de nettoyage est souvent suivie d'un séchage par lame d'air ou à l'air forcé (Energy Pathways Inc., 1993). Ces pratiques, de concert avec d'autres telles que le drainage et la centrifugation, peuvent enlever 85-95 % du produit (Energy Pathways Inc., 1993).

Avantages Les hydrocarbures aliphatiques sont classés comme produits dont le PDO est nul. Presque inodores, ils sont très stables, peu toxiques sauf exception, ne produisent aucun effluent aqueux, et peuvent être récupérés en grande quantité par distillation. Leur faible

tension superficielle leur permet de bien pénétrer les pièces à nettoyer (Energy Pathways Inc., 1993).

Désavantages Le principal inconvénient des hydrocarbures aliphatiques est leur inflammabilité, mis en évidence par leurs points d'éclair de 38-60°C. Ils peuvent aussi renfermer du benzène à l'état de traces. En général, leurs temps de séchage sont plus longs que ceux des solvants chlorés. Ils sont classés comme COV (Energy Pathways Inc., 1993).

7.2.6.1 Hydrocarbures aliphatiques synthétiques

Description Plusieurs compagnies ont conçu et produisent maintenant des nettoyants à base d'hydrocarbures aliphatiques synthétiques. La compagnie Exxon, par exemple, produit quatre séries d'hydrocarbures pour le dégraissage: ce sont la série Isopar^{MD}, à base d'hydrocarbures isoparaffiniques, la série Nappar^{MD}, à base d'hydrocarbures naphténiques, la série Exxsol^{MD}, à base d'hydrocarbures aliphatiques désaromatisés et la série Actrel^{MD} à base d'hydrocarbures aliphatiques à points d'éclair élevés (Hague, 1991; Hague, 1989).

Certains solvants de la série Exxon peuvent être employés pour le dégraissage à des températures allant jusqu'à 70°C en raison de leurs points d'éclair largement supérieurs à 100°C (Hague, 1989). Les produits de la série Exxsol D laissent une couche anticorrosive temporaire sur les pièces; celle-ci peut être enlevée par le trempage dans un hydrocarbure isoparaffinique léger (Hague, 1989).

Avantages Les solvants de cette catégorie ont une très faible teneur en composés aromatiques. Leurs points d'éclair sont relativement élevés (aux alentours de 100°C) et ils sont beaucoup moins volatils que les naphtas. Certains de ces produits ont des tensions de vapeur aussi faibles que 0,1 mm Hg. À cause de leur faible volatilité, ils peuvent être utilisés à des températures plus élevées que les solvants traditionnels (Energy Pathways Inc., 1993).

Les hydrocarbures synthétiques de la compagnie Exxon ont en commun les propriétés suivantes (Hague, 1989):

- faible teneur en composés aromatiques;
- faible toxicité;
- faible pouvoir irritant;
- odeur relativement faible;
- meilleure compatibilité avec les plastiques et les caoutchoucs que les solvants traditionnels;
- compatibilité avec les surfaces peintes.

Tous les produits de ces séries ont été classés comme «généralement inoffensifs pour l'eau» par le gouvernement allemand, et subissent la photodégradation en quelques heures (Hague, 1989).

Désavantages Leur volatilité réduite fait en sorte que les temps de séchage sont plus longs (Energy Pathways Inc., 1993). Ces produits sont cependant inflammables, à la différence

du CFC-113 et du 1, 1, 1-trichloroéthane, bien que des modifications appropriées des appareils ou le recours aux équipements adaptés puissent rendre leur usage plus sécuritaire (Hague, 1989).

7.2.7 Solvants peu volatils

Description Cette désignation englobe en fait des solvants très disparates qui s'évaporent lentement et sont peu inflammables. Ils englobent les hydrocarbures lourds, certains solvants synthétiques et les terpènes. À cause de la popularité des substituts à base de terpènes, ces derniers sont traités dans une section distincte. En général, ces produits sont de bons solvants, même contaminés, pour les salissures non ioniques et peu efficaces contre les salissures ioniques (Lea, 1993).

Mode d'utilisation Les solvants peu volatils sont utilisés pour le nettoyage en phase vapeur, le nettoyage à l'aide de chiffons et le nettoyage par immersion à froid, immersion à chaud et projection à haute pression (Lea, 1993; Words and Publications, 1992). Les systèmes intégrant une étape de rinçage à l'eau sont plus performants (Lea, 1993).

Des systèmes en circuit fermé, permettant la séparation et le recyclage des solvants, sont disponibles (Lea, 1993). Le solvant résiduel sur les pièces peut être éliminé par chauffage, rinçage avec un agent émulsifiant, ou le séchage sous vide ou par lame d'air (Lea, 1993).

Avantages Certains solvants peu volatils sont relativement peu toxiques et peuvent être utilisés pour le nettoyage à l'aide de chiffons. Les temps de séchage prolongés habituellement observés peuvent en fait s'avérer avantageux, dans la mesure où la couche résiduelle de solvant facilite l'assemblage et empêche la corrosion (Lea, 1993).

Désavantages Ces solvants sont caractérisés par des points d'éclair élevés et des vitesses d'évaporation basses. À titre d'exemple, le temps minimal de séchage pour un solvant dont le point d'éclair est de 45°C est de 12 minutes, comparativement à 30 secondes pour le 1, 1, 1-trichloroéthane. Une étape de séchage peut donc s'imposer. Or, cette étape, souvent longue, n'est pas sans introduire ses propres inconvénients, dont une augmentation du risque d'incendie et des dépenses reliées à la consommation d'énergie. Règle générale, ces produits sont classés comme COV. Enfin, ils ont souvent une odeur désagréable (Lea, 1993).

Du côté performance, des problèmes de compatibilité solvant-eau peuvent surgir, et ces produits peuvent laisser des résidus sur les pièces nettoyées (Lea, 1993).

7.2.8 Terpènes

Description Les terpènes sont des agents dégraisseurs dont l'usage se répand de plus en plus. Un des terpènes le plus utilisé aujourd'hui est le d-limonène, un extrait de pelures d'agrumes. Ce sont de très bons solvants pour les graisses lourdes, les salissures huileuses et les huiles carbonisées. Leurs valeurs Kb varient d'approximativement 65 à l'état pur jusqu'à plus de 500 pour certaines préparations (Anonyme, 1993c; Terpene Technologies Inc., 1994; USEPA, 1989a). Le risque d'incendie varie d'un produit à l'autre: bien que le point d'éclair du d-limonène soit de 53° C, celui des préparations commerciales à base de terpinéol dépasse 93° C (Energy Pathways Inc., 1993). Le d-limonène est classé dans le groupe 3 du CIRC, c.-à-d.

non classable quant à sa cancérogénicité pour l'humain (IARC, 1993).

Le lecteur est référé aux publications de Karlberg, de l'IARC et du USEPA pour une revue exhaustive des propriétés toxicologiques du d-limonène (Karlberg, 1993; IARC, 1993; USEPA, 1994d).

Les terpènes peuvent remplacer les solvants chlorés, les alcools, les cétones et les hydrocarbures aromatiques (Energy Pathways Inc., 1993). À titre d'exemple on a rapporté l'utilisation de terpènes pour le dégraissage dans les situations suivantes (Anonyme, 1993c)

- nettoyage des composés de polissage;
- nettoyage des laques et caoutchoucs de masquage (de concert avec le trempage ou l'agitation aux ultrasons);
- nettoyage de la calamine des turbocompresseurs automobiles;
- décalaminage des bougies d'allumage;
- nettoyage des encres;
- nettoyage des pâtes de polissage et de meulage;
- préparation des surfaces;
- nettoyage des machines;
- nettoyage de pièces avant la projection au plasma.

Le Tableau 7.3 présente quelques exemples de préparations de terpènes disponibles sur le marché et une description de leurs usages.

Mode d'utilisation Le nettoyage aux terpènes est effectué de diverses manières: immersion, aspersion et essuyage. Le recours à l'agitation aux ultrasons rehausse leur pouvoir nettoyant. Plusieurs préparations sont à base d'eau de sorte qu'il est recommandé de rincer les pièces à l'eau tiède après le nettoyage (Terpene Technologies Inc., 1994).

Avantages À cause de leurs tensions de vapeur faibles et points d'ébullition élevés (typiquement supérieur à 100°C), la perte par evaporation à l'emploi est minimale (Anonyme, 1993c; Terpene Technologies lnc., 1994a). Certains auteurs considèrent que le d-limonène est biodégradable (Energy Pathways Inc., 1993). Par contre le USEPA estime que cette substance devrait être stable dans l'eau parce que sa structure ne contient pas de fonction chimique hydrolysable et que le cycle de type cyclohexene qui la caractérise est connu pour être résistant à l'hydrolyse (USEPA, 1994d). Néanmoins, l'agence américaine juge cette substance très peu toxique pour les oiseaux sur une base subaiguë par voie alimentaire et légèrement toxique chez le poisson d'eau douce et les invertébrés sur base aiguë. Elle considèrent également cette substance très peu toxique chez les mammifères d'après les essais effectués chez le rat.

Désavantages Les terpènes sont classés comme COV (Energy Pathways Inc., 1993; USEPA, 1989a). Le d-limonène s'oxyde à l'air libre et ses produits d'oxydation sont de puissants sensibilisateurs cutanés (Karlberg, 1991; Karlberg, 1994). Les effluents générés lors du nettoyage des huiles aliphatiques à haut poids moléculaire ne sont pas recyclables, puisque ces huiles sont difficilement séparées des autres composants des effluents (USEPA, 1989a). En général, les terpènes ne sont pas récupérés par distillation, à cause de leurs points d'ébullition qui se situent aux alentours de 170°C (USEPA, 1989a). Leur faible tension de

vapeur nécessite un temps de séchage prolongé. Le terpinéol est peu soluble dans l'eau, rendant le rinçage problématique (Energy Pathways Inc., 1993).

Tableau 7.3
Exemples de produits à base de terpènes actuellement disponibles

Produit	Domaine d'emploi	Commentaires
Bush Boake Inc.[1]		
R102	Usage général	
R401	Nettoyage des flux, dégraissage dans le secteur électronique; Nettoyage poussé des composants de haute précision	
R502	Usage général	Point d'éclair élevé
E202		Émulsifiable dans l'eau, renferme un agent tensioactif biodégradable
Terpene Technologies Inc.[2]		
Tarksol SC-1050	Dégraissage des métaux	Application par essuyage, projection, immersion, nettoyage aux ultrasons
Tarksol SC-4000	Usage général	Aqueux
Tarksol SC-5000	Dégraissage des métaux, nettoyage des presses et des blanchets	Semi-aqueux, rinçable à l'eau
Tarksol SC-6000	Nettoyage de graffiti, décapage de peinture, nettoyage des revêtements en polyuréthane, solvant de résines	Mélange de solvants
Tarksol SC-959	Nettoyage de moteurs électriques	

[1] (Anonyme, 1993c)
[2] (Terpene Technologies Inc., 1994b)

Performance Brown rapporte les résultats d'une série d'études de faisabilité de remplacement du 1, 1, 1-trichloroéthane et du méthanol pour le nettoyage de pièces en cobalt/molybdène ou

en titane respectivement (Brown, 1992). Comme le but du nettoyage était de préparer les pièces pour le dépôt au plasma d'un alliage de titane, il fallait un solvant qui laisse une surface non seulement propre mais aussi adhérente. Le solvant mis à l'essai était le DuSqueeze[MD] (DuBois Chemicals Inc), un mélange d'agents tensioactifs et de 25 % (p/p) de d-limonène.

Les revêtements appliqués sur les pièces de titane nettoyées au DuSqueeze[MD] ont affiché une résistance moyenne à la rupture 40 % plus élevées que celle des pièces nettoyées au méthanol. Quant aux revêtements appliqués sur les pièces en cobalt/molybdène, leur résistance moyenne à la rupture était de 9 % en deçà de celles nettoyées au 1, 1, 1-trichloroéthane. Dans tous les cas, aucun résidu de DuSqueeze[MD] n'a été détecté sur les pièces nettoyées. L'implantation de ce système de nettoyage a exigé l'installation des nouveaux équipements suivants:

- bain ultrasonique chauffé;
- système de déionisation de l'eau;
- bain en acier inoxydable;
- chaufferette immergée;
- pistolet chauffant.

Coûts En 1989, les terpènes coûtaient trois à cinq fois plus que les solvants chlorés (USEPA, 1989a).

Au cours de l'étude de faisabilité citée ci-dessus (Brown, 1992), une analyse formelle coûts-bénéfices de l'implantation d'un système de nettoyage à base de terpènes a été réalisée. Bien que les chiffres utilisés ne soient pas nécessairement directement applicables au contexte québécois de 1994, il est frappant de constater les économies associées à ce cas de substitution, présentées au tableau 7.4.

7. 2.9 Alcools et cétones

Description Les solvants de ces catégories les plus souvent utilisés sont l'éthanol, l'isopropanol, l'acétone, le méthanol et la méthyléthylcétone (Energy Pathways Inc., 1993; Lea, 1993) Ils sont peu efficaces pour le nettoyage des cires et graisses non polaires, et des problèmes de compatibilité cétone-plastiques peuvent survenir (Energy Pathways Inc., 1993).

Mode d'utilisation Ils sont utilisés pour le nettoyage par immersion avec ou sans agitation aux ultrasons, et, dans certains cas, pour le nettoyage à l'aide de chiffons sur de grandes pièces. Cette dernière technique entraîne d'importantes pertes par evaporation (Energy Pathways Inc., 1993; Lea, 1993). Leur pouvoir de dissolution des résidus non ioniques peut être rehaussé en les mélangeant avec de l'eau: un mélange 75:25 isopropanol: eau est couramment utilisé pour le nettoyage par immersion à chaud (Lea, 1993).

Leur inflammabilité nécessite le recours à des systèmes de surveillance et l'utilisation d'une couverture de gaz inertes; l'azote et les perfluorocarbures sont le plus souvent utilisés pour les systèmes d'immersion et en phase vapeur respectivement. À cause du coût des fluorocarbures et de leur contribution à l'effet de serre, les systèmes sont habituellement munis d'un équipement de contrôle des émissions. Dans tous les cas, la température d'opération doit être au moins 15°C en deçà du point d'éclair du solvant.

Tableau 7.4
Exemple des coûts associés à
l'adoption d'un nettoyant à base de terpènes

Item	Coût[1]	Économie[1]
Dépenses d'immobilisation	**1 793**	
Bain ultrasonique chauffé	1 425	
Cuve de rinçage de 5 gallons en acier inoxydable	38	
Chaufferette immergée	105	
Pistolet chauffant	75	
Système d'eau déionisée	150	
Coûts annuels d'exploitation	**850**	
DuSqueeze^{MD} (29,5-44,7 l/an)	150	
Eau déionisée (6 908-11 053 l/an)	700	
Économies		**5 650**
Achats de 1,1,1-trichloroéthane évités (1 249 l/an)		1 650
Achats de méthanol évités (454 l/an)		1 000
Coûts d'élimination de déchets évités		3000
Économie nette	**4800**	
Amortissement: 1 793$ (immobilisations) / 4 800$ (économie nette) = 0,37 année **= 4,5 mois**		

[1]En dollars américains
(tiré de Brown, 1992)

Avantages À cause de la volatilité relativement élevée de ces solvants, les pièces nettoyées sèchent rapidement, éliminant la nécessité d'une étape ultérieure de séchage (Lea, 1993).

Désavantages Presque tous ces solvants sont inflammables et doivent être utilisés dans des appareils antidéflagrants (Energy Pathways Inc., 1993; Johnson, 1991). L'existence de nettoyants alcooliques qui ne présentent pas de risques d'incendie ou d'explosion a été signalée. Le recours à une couche de fluorocarbures élimine le danger d'incendie; cependant tel qu'indiqué précédemment, ces composés contribuent énormément à l'effet de serre (Johnson, 1991 a). Tous les alcools et cétones sont classés comme COV (Energy Pathways Inc., 1993).

7.2.10 Nettoyants aqueux alcalins

Description Ce sont les produits les plus utilisés et peuvent éventuellement remplacer 75-90 % du 1,1,1-trichloroéthane et du CFC-113 actuellement utilisés (Words and Publications, 1992). Ils agissent par saponification, soulèvement, dispersion des particules ou en raison de leur pouvoir émulsifiant (Energy Pathways Inc., 1994). Le soulèvement est le principe d'action le plus important: leur plus grande affinité pour le substrat les amène à s'infiltrer sous la salissure (Quitmeyer, 1991). Les nettoyants non émulsifiants facilitent la

séparation des salissures huileuses et par le fait même, le recyclage (USEPA, 1989a). Dans les systèmes d'immersion, le bain est filtré et écume, et les pièces sont retirées et séchées. Le tableau 7.5 présente les composants typiques des nettoyants aqueux alcalins.

Le spectre de salissures contre lesquelles les nettoyants aqueux sont efficaces est plus restreint que celui des solvants halogènes, et leur efficacité dépend davantage de la nature des salissures (Energy Pathways Inc., 1993; Johnson, 1991 a). Ils sont toutefois efficaces contre (Energy Pathways Inc., 1994; Energy Pathways Inc., 1993; Johnson, 1991a; Quitmeyer, 1991):

- les graisses
- les huiles
- les salissures d'atelier
- les huiles de coupe
- les empreintes digitales
- le carbone
- les cires à point de fusion faible
- les salissures routières
- les huiles protectrices
- les huiles hydrauliques
- les huiles silicones
- les caloporteurs hydrosolubles
- les lubrifiants hydrosolubles

Chauffés ou appliqués de concert avec l'action mécanique, ils sont aussi efficaces contre la vaseline et les cires à point de fusion élevé (Quitmeyer, 1991).

Pour les surfaces peintes ou certaines autres applications ne nécessitant pas d'alcalinité, on recommande un nettoyant neutre; cela implique le choix d'un nettoyant renfermant des agents tensioactifs non ioniques sous forme de concentrés (Marbek Resource Consultants, 1993).

Les nettoyants aqueux alcalins sont compatibles avec la plupart des substrats. Cependant les nettoyants à base d'hydroxyde de sodium sont incompatibles avec l'aluminium (Energy Pathways Inc., 1993; Words and Publications, 1992). Ils peuvent nettoyer les particules et les pellicules mieux que ne le feraient les nettoyants à base de solvants (Energy Pathways Inc., 1994).

Mode d'utilisation

Les nettoyants aqueux alcalins sont utilisés dans des systèmes d'immersion et de projection.

Immersion Les bains sont généralement chauffés entre 50°C et le point d'ébullition, mais certains produits gardent leur efficacité à basse température (Mahieu, 1994). Le bain peut être agité ou «mort». L'agitation peut être assurée mécaniquement, avec des pompes de circulation ou à hélice, par l'injection d'air comprimé ou aux ultrasons. Cette dernière méthode est particulièrement commune dans les systèmes à petite échelle (Mahieu, 1994; Words and Publications, 1992). Les nettoyants aqueux sont plus susceptibles à la cavitation que ne le sont le CFC-113 et le 1,1,1-trichloroéthane, ce qui les rend plus performants dans des systèmes agités aux ultrasons (Energy Pathways Inc., 1994). Les pièces peuvent être accrochées sur un support, placées dans des paniers, ou déposées dans des tonneaux rotatifs (Mahieu, 1994).

Tableau 7.5
Composants typiques des nettoyants aqueux alcalins

Composant	Commentaires
Agents tensioactifs anioniques • sulfates alkylés (p. ex. le sulfate sodique d'éthoxydodécane) • sulfonates (p. ex. le sulfonate sodique de xylène)	
Agents tensioactifs non ioniques • éthoxylates d'alkyle • éthoxylates d'alkylphénol • polymères de masse («block polymers»)	Rehaussent la solubilité sans augmenter l'alcalinité.
Agents complexants • gluconates • tripolyphosphates • nitriloacétate de sodium (NTA) • acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA) • borates • gluconates • tripolyphosphates de sodium et de potassium	Captent des ions de calcium et de magnésium, empêchant leur précipitation. Traitement des effluents aqueux nécessaire Traitement des effluents aqueux nécessaire
Agents anticorrosifs • nitrite de sodium • éthanolamines	Pourraient être éliminés en implantant un système de séchage par air chauffé ou à la vapeur surchauffée
Phosphates	
Silicates	
Hydroxydes de sodium et de potassium	
Aminés aliphatiques	
Tampons	
Agents de saponification	
Émulsifiants	
Défloculants	
Détersifs	

(Energy Pathways Inc., 1994; Energy Pathways Inc., 1993; Lea, 1993; Mahieu, 1994; Sørensen, 1994; Words and Publications, 1992; Marbek Resource Consultants, 1993)

Il est possible de modifier un appareil de dégraissage en phase vapeur pour l'utiliser comme bain de nettoyants aqueux. Ceci implique de débrancher les serpentins de refroidissement, de relever le niveau du liquide pour permettre l'immersion des pièces et, au besoin, l'introduction d'un tube d'air comprimé pour permettre l'agitation (Quitmeyer, 1991).

L'immersion se prête bien à tout genre de nettoyage de métaux, bien que des appareils spécialisés puissent s'avérer nécessaires lorsque les pièces sont délicates, tubulaires ou de forme complexe (Words and Publications, 1992). Ce type de nettoyage exige aussi des équipements spécifiques, à savoir des bains chauffants, des sécheurs, des équipements automatisés de manutention, des appareils de filtration, et des installations de recyclage et de traitement d'eau (Words and Publications, 1992).

Projection Facultatif dans bien des cas, le nettoyage par projection est obligatoire lorsque les pièces sont de forme complexe (Lea, 1993). La solution est projetée sur les pièces dans des enceintes ou des tunnels sous une pression de 100-400 kPa à une température d'environ 60°C (Mahieu, 1994). La projection peut aussi se faire à la lance, avec ou sans vapeur, à une pression de 3 000-4 000 kPa ou encore par rideau d'eau (Lea, 1993; Mahieu, 1994). Le nettoyage par projection se prête mieux aux chaînes multiétages en ligne qu'aux chaînes de nettoyage en lots. Dans tous les cas, l'eau de procédé doit être adoucie, pour empêcher le colmatage des buses. Le plus souvent, le séchage des pièces est réalisé par une lame d'air.

Peu importe la technique utilisée, le nettoyage aqueux doit toujours être suivi d'une étape de séchage. Celle-ci peut être évitée si le procédé suivant est aussi à base aqueuse, par exemple l'électroplacage ou le phosphatage, ou encore, s'il n'est pas sensible à la présence de l'eau

Pour éviter les taches d'eau et la contamination ionique des pièces nettoyées, il importe de traiter l'eau utilisée lors du nettoyage (Lea, 1993). Le degré de pureté requis est fonction à \i fois de la nature des pièces et du procédé de séchage employé. Le recours à l'eau déionisée (conductivité de 0, 1-1, µmho/cm) assure une surface libre de taches peu importe le substrat même si le séchage ne se fait que par simple evaporation (Energy Pathways Inc., 1994 Lea, 1993). L'eau du robinet est généralement satisfaisante si le séchage se fait par lame d'air (Lea, 1993).

Avantages Les nettoyants aqueux ne sont pas classés comme COV et ont un PDO nul (Energy Pathways Inc., 1993; Quitmeyer, 1991).

Les agents tensioactifs anioniques sont hautement biodégradables et le gluconate de sodium, présent en tant qu'agent complexant, n'est que faiblement toxique pour l'environnement (Sørensen, 1994).

Désavantages Les sulfates alkylés peuvent être contaminés par le 1,4-dioxane, un cancérogène et allergène (Sørensen, 1994). Les agents tensioactifs non ioniques tels que les éthoxylates d'alkylphénol peuvent renfermer de petites quantités d'oxyde d'éthylène, un cancérogène et un allergène (Sørensen, 1994). Les sulfonates en général, et surtout les sulfonates ramifiés, ne sont que faiblement biodégradables et leurs effets à long terme sur la santé sont inconnus (Marbek Resource Consultants, 1993; Sørensen, 1994).

À cause de la nature caustique et irritante des solutions les plus souvent utilisées, ce type de nettoyage comporte quelques risques pour la santé. Ces risques, notamment ceux de lésion et d'irritation, sont particulièrement aigus lors de la préparation des solutions et lorsque ces dernières sont chauffées. Ils sont particulièrement élevés lors du nettoyage par projection, à cause des possibilités d'éclaboussures (Mahieu, 1994).

Les éthoxylates d'alkylphénol (p. ex. l'éthoxylate de nonylphénol) utilisés dans certaines préparations comme agents tensioactifs, sont peu biodégradables et engendrent des metabolites toxiques dans l'environnement. Les polymères de masse (p. ex. le polyethylene glycol) employés aux mêmes fins, se dégradent lentement dans l'environnement. Leur usage devrait être évité; ils peuvent notamment être remplacés par les éthoxylates alkylés (e.g. éthoxylate de dodécyle ou de nonyle), plus biodégradables (Sørensen, 1994).

Les agents complexants à base de tripolyphosphates de sodium et de potassium sont irritants pour les yeux, la peau et les voies respiratoires; aucune information n'est disponible sur leurs effets à long terme sur la santé. Ces produits provoquent aussi l'eutrophisation. Le nitriloacétate de sodium forme des complexes très forts avec les ions métalliques et contribue ainsi à la dissémination des métaux lourds dans l'environnement en les entraînant dans les effluents aqueux. Pour cette raison, et aussi à cause de ses effets cancérogènes, son usage devrait être évité. L'acide éthylènediaminetétraacétique est reprotoxique et exerce les mêmes effets environnementaux que le nitriloacétate de sodium. Son usage est aussi à éviter. L'acide borique ainsi que les borates sont des reprotoxiques et malgré leur faible toxicité environnementale, leur usage devrait être évité (Sørensen, 1994).

Le nitrite de sodium, agent anticorrosif, est un reprotoxique et un cancérogène potentiel. Sa toxicité environnementale est élevée et son usage devrait être évité. Les agents anticorrosifs à base d'éthanolamines renferment toujours un mélange de mono-, di- et triéthanolamine. Ces produits sont des allergènes et mutagènes ainsi que des cancérogènes potentiels. De plus, ils sont hautement toxiques pour l'environnement. Leur usage devrait être évité (Sørensen, 1994).

Les nettoyants aqueux sont peu efficaces pour le nettoyage de pièces complexes et certains nettoyants peuvent être incompatibles avec l'aluminium (Energy Pathways Inc., 1993; Words and Publications, 1992).

Un bon rinçage des pièces peut être nécessaire parce que les détersifs inclus dans ces nettoyants peuvent être fortement ioniques (Lea, 1993). La contamination ionique de l'eau peut favoriser la corrosion ou l'entartrage des pièces et équipements (Energy Pathways Inc., 1994). Ceci peut être minimisé en partie par le recours à l'eau déionisée et le séchage en profondeur (Energy Pathways Inc., 1994).

La projection de nettoyants aqueux génère aussi de grands volumes d'effluents liquides et le respect des normes environnementales exige l'installation de systèmes de surveillance et de traitement d'effluents (Energy Pathways Inc., 1994; Lea, 1993; Mahieu, 1994).

Le séchage, que ce soit par lame d'air ou par evaporation, est un long processus énergivore et dispendieux (Lea, 1993). À cause de la tension superficielle élevée de l'eau, le séchage des trous borgnes et des espaces étroits peut s'avérer particulièrement difficile (Energy Pathways Inc., 1994).

Performance Les nettoyants aqueux ont été adoptés dans plusieurs secteurs, y compris les secteurs aérospatial, automobile et de l'électroplacage. Dans l'industrie automobile, certaines entreprises ont remplacé le dégraissage en phase vapeur des pièces en métal et en plastique par le nettoyage aqueux par immersion sur convoyeur. Dans l'industrie de l'électroplacage, un système de nettoyage aqueux à 140°C a remplacé le dégraissage en phase vapeur ou à

l'hydroxyde de sodium ou de potassium (Quitmeyer, 1991).

Le fabricant aérospatial américain Martin Marietta a entrepris une série d'études de nettoyants aqueux dont l'usage pouvait remplacer le dégraissage en phase vapeur au 1, 1, 1-trichloroéthane (Snyder, 1990). Après avoir exclu le Coors Bio T[MD] et le Bioact[MD] EC 7 pour des motifs d'inflammabilité, le Simple Green[MD] à cause des problèmes reliés à l'élimination des déchets, et le Turco[MD] 3878 à cause de problèmes de corrosion de l'aluminium 2014-T6, ils ont mis à l'essai le Daraclean[MD] 282 et le Quaker[MD] 624GD. Seul le Daraclean[MD] 282 a réussi à nettoyer l'aluminium 2014-T6 contaminé par l'huile de poisson, l'huile minérale, la glycérine, l'huile de machine, les encres de maquette et les estampes d'usinage. En laboratoire, la qualité du nettoyage réalisée avec le Daraclean[MD] 282 était visiblement supérieure à celle obtenue par le dégraissage en phase vapeur. Martin Marietta a donc choisi le nettoyage aqueux avec le Daraclean[MD] 282 pour tout alliage de titane, d'acier inoxydable et d'acier au carbone.

Une division du fabricant aérospatial américain General Dynamics a entièrement remplacé le dégraissage aux solvants par le nettoyage aux produits aqueux alcalins (Words and Publications, 1992).

Les forces armées de l'air des États-Unis ont évalué la capacité de divers produits à enlever la cire de placage, l'huile, la graisse, la calamine sur des pièces de moteurs d'avions ou encore sur les avions mêmes (Copeland, 1990). Pour être jugé acceptable, la propreté des pièces devait être telle qu'elles puissent subir l'inspection au moyen de liquides fluorescents pénétrants et être peintes.

Les nettoyants aqueux évalués - c'est-à-dire le 3D Supreme[MD] et le Fremont[MD] 776 - ont mieux réussi les essais que les nettoyants à base de solvants organiques. Ils ont enlevé l'huile et la graisse de toutes les pièces, et ont enlevé 80 % de la calamine. Selon les préposés au nettoyage, ce type de nettoyage était plus performant que le dégraissage en phase vapeur. Ces nettoyants n'ont pas enlevé la cire de placage ni la calamine, même après une immersion de 90 minutes. Ils se sont aussi avérés inefficaces contre la corrosion.

Quant aux nettoyants à base de solvants organiques, le De-Solv-It[MD] (Orange-Sol) a relativement bien enlevé la cire de placage après 30-45 minutes. L'Exxate[MD] 1000 (Exxon) a aussi réussi à enlever la cire de placage, mais à un moindre degré; de plus, il a provoqué des maux de tête chez les préposés au nettoyage.

Aucun produit n'a donc réussi à enlever complètement la calamine. Puisque les produits utilisés pour enlever la corrosion et la calamine enlèvent aussi ces dépôts, il n'y a aucun avantage à utiliser les nettoyants aqueux pour les enlever.

Coûts Ces produits sont peu coûteux mais les investissements d'immobilisation nécessaires peuvent être plus élevés que ceux associés aux solvants traditionnels; l'adaptation des équipements en place réduirait évidemment ces coûts (Energy Pathways Inc., 1994; Energy Pathways Inc., 1993; Johnson, 1991 a). Il reste que l'importance des coûts d'immobilisation est très variable d'une entreprise à l'autre. On rapporte que les coûts peuvent être en deçà de ceux associés aux systèmes traditionnels mais qu'ils peuvent aussi être deux fois plus élevés (Energy Pathways Inc., 1994).

Les systèmes de nettoyage aqueux peuvent être plus ou moins encombrants que les systèmes qu'ils remplacent (Energy Pathways Inc., 1994; Energy Pathways Inc., 1993; Johnson, 1991 a).

L'introduction d'un système de nettoyage aqueux peut aussi engendrer des coûts énergétiques additionnels reliés aux étapes de rinçage et de séchage (Energy Pathways Inc., 1994; Energy Pathways Inc., 1993). Ces coûts peuvent être contrés en partie par le recyclage de l'eau et la récupération de la chaleur (Johnson, 1991a). Encore ici, les coûts rapportés par diverses compagnies varient énormément (Energy Pathways Inc., 1994).

L'implantation d'un système de nettoyage à base de nettoyants aqueux ne semble pas avoir d'incidence sur les coûts de main-d'oeuvre (Energy Pathways Inc., 1994).

Le besoin en eau très pure, exigé par certains procédés, peut entraîner des coûts supplémentaires (Energy Pathways Inc., 1994). Les effluents aqueux doivent être traités avant d'être rejetés dans l'environnement, ce qui représente des coûts supplémentaires par rapport au nettoyage aux solvants (Energy Pathways Inc., 1993).

7.2.11 Nettoyants aqueux acides

Les nettoyants acides sont des mélanges d'acides ou sels d'acides, d'agents mouillants, de détersifs et parfois de solvants. Les composants acides peuvent être inorganiques ou organiques, les plus communs étant les acides acétique, oxalique, crésylique, sulfurique, nitrique et chlorhydrique. Ils sont appliqués au chiffon, par projection ou par immersion. Dans ce dernier cas, les bains sont soit statiques ou agités mécaniquement ou aux ultrasons (Rehm, 1982). Ces nettoyants peuvent aussi enlever la rouille et la calamine et sont, à l'opposé des nettoyants alcalins, compatibles avec l'aluminium (Words and Publications, 1992).

7.2.12 Nettoyants semi-aqueux

Description Ces nettoyants sont des emulsions ou des solutions aqueuses de solvants pouvant contenir des agents tensioactifs (Words and Publications, 1992). Les solvants enlèvent les salissures polaires, alors que la partie aqueuse enlève les salissures non polaires (Energy Pathways Inc., 1993; Marbek Resource Consultants, 1993). La grande surface de contact du composant organique dispersé permet la réalisation de niveaux de propreté comparables à ceux observés avec les solvants organiques purs (USEPA, 1989a).

Habituellement, les agents tensioactifs employés sont non ioniques et certains nettoyants peuvent renfermer un produit alcalin (Marbek Resource Consultants, 1993). Les solvants les plus couramment utilisés sont le naphta, les glycols, les éthers de glycol, les alcools et les terpènes (Marbek Resource Consultants, 1993).

En général, les nettoyants semi-aqueux enlèvent bien les graisses lourdes, les goudrons, les lubrifiants, les huiles de coupe, les éclats métalliques, et les cires. Les emulsions alcalines contenant 20-80 % de solvant sont performantes pour le nettoyage de salissures organiques lourdes, cireuses ou polymériques (Energy Pathways Inc., 1994; Marbek Resource Consultants, 1993; Rehm, 1982). En règle générale, ces nettoyants sont compatibles avec la plupart des métaux et plastiques (Energy Pathways Inc., 1994; Energy Pathways Inc., 1993).

Ce type de nettoyage se prête bien à tout genre de nettoyage de métaux, bien que des appareils spécialisés puissent s'avérer nécessaires lorsque les pièces sont délicates, tubulaires ou de forme complexe (Words and Publications, 1992). Les nettoyants semi-aqueux sont particulièrement indiqués lorsqu'un niveau élevé de propreté est requis (Johnson, 1991 a).

À cause de leurs composants organiques, les nettoyants semi-aqueux laissent une mince pellicule huileuse sur les pièces. Cette couche peut conférer une résistance à la corrosion aux pièces lors des étapes de production subséquentes (Rehm, 1982).

La compagnie DuPont à mis au point l'Axarel^{MD} 52, un mélange d'hydrocarbures, d'agents tensioactifs et d'agents antirouille, pour usage dans le secteur du dégraissage (Zarno, 1991). Ce produit enlève les graisses lourdes, les cires à point de fusion élevé, les composés de polissage et les pâtes de rodage, et est compatible avec la plupart des plastiques et élastomères. Grâce à sa faible tension superficielle, il s'infiltre facilement dans les crevasses, les fentes et les trous.

Mode d'utilisation On utilise la projection ainsi que l'immersion avec agitation aux ultrasons ou avec recirculation (Words and Publications, 1992). Notons qu'un agent de couplage est nécessaire lorsque l'on veut employer l'agitation aux ultrasons, vu l'incapacité de la stimulation ultrasonique à induire la cavitation des nettoyants semi-aqueux (Koelsch, 1992).

Le nettoyage peut se faire à la température ambiante ou à température élevée, mais dans tous les cas la température de nettoyage doit être au moins 15°C en deçà du point d'éclair du nettoyant (Energy Pathways Inc., 1993; Koelsch, 1992). Il est aussi essentiel d'éviter la génération de brouillards, puisque ceux-ci peuvent s'enflammer facilement, indépendamment de leur point d'éclair (Koelsch, 1992). Pour cette raison, les buses de projection doivent toujours se situer en dessous de la surface du liquide.

L'air chauffé est habituellement utilisé si le séchage est nécessaire (Johnson, 1991 a).

Avantages Leurs tensions de vapeur sont faibles, plusieurs d'entre elles étant inférieures à 1,0 mm Hg; cela réduit considérablement les pertes par evaporation. Ils sont peu inflammables, non corrosifs, peu visqueux et peu moussants (Energy Pathways Inc., 1994; Energy Pathways Inc., 1993; Words and Publications, 1992).

Puisqu'ils ne sont pas alcalins, ils ne s'attaquent pas aux substrats métalliques et produisent des effluents moins contaminés (Energy Pathways Inc., 1994).

Désavantages Un brouillard inflammable est généré lors du nettoyage par projection, mais le danger d'explosion peut être minimisé par le choix judicieux du matériel (Energy Pathways Inc., 1994; Energy Pathways Inc., 1993; Johnson, 1991 a; Koelsch, 1992).

Les composants organiques de ces nettoyants peuvent être des COV (Energy Pathways Inc., 1994; Energy Pathways Inc., 1993).

Ce type de nettoyage exige du matériel spécialisé et les nettoyants deviennent rapidement contaminés (Words and Publications, 1992). Les agents tensioactifs de ces nettoyants peuvent s'avérer résistants au rinçage (Energy Pathways Inc., 1994).

Le recyclage et l'élimination des effluents aqueux peut être problématique (Energy Pathways Inc., 1993; Words and Publications, 1992). Cependant, il est possible de récupérer le composant organique du nettoyant et de s'en servir comme carburant (Koelsch, 1992).

Les nettoyants semi-aqueux ont généralement une capacité de nettoyage restreinte (USEPA, 1989a). À cause de leurs composants organiques, les nettoyants semi-aqueux laissent une pellicule mince huileuse sur les pièces; bien que bénéfique dans les cas où l'on veut protéger un substrat contre la corrosion, cette pellicule peut être problématique si les procédés de production suivants exigent une surface complètement propre (USEPA, 1989a). Le séchage des pièces peut être nécessaire si la suite du procédé l'exige (Energy Pathways Inc., 1994).

Coûts Les dépenses d'immobilisation dépassent celles associées à l'emploi des solvants halogènes (Johnson, 1991 a). Le recyclage et l'élimination des effluents aqueux entraînent des coûts supplémentaires (Environment Canada, 1994).

7. 2. 13 Éthers de glycol

Description Les éthers de glycols sont des dérivés alkylés de l'éthylène glycol, du propylène glycol et autres glycols. Les esters de ces diverses substances sont également classés dans la famille des éthers de glycol. Leur usage industriel tire avantage du fait qu'ils sont de bons solvants des résines tout en étant solubles ou compatibles avec l'eau, les autres solvants oxygénés et les hydrocarbures.

Mode d'utilisation Les éthers de glycols sont employés dans plusieurs branches industrielles et notamment dans la fabrication des peintures domestiques à base d'eau, en imprimerie pour le nettoyage des encres et pour l'enlèvement de la couche photosensible dans la fabrication des clichés, en électronique pour le nettoyage de la pâte et du flux de soudage et pour le décapage de la couche photosensible dans la fabrication des modules de circuits imprimés, pour le nettoyage du matériel de pulvérisation des peintures industrielles et pour le dégraissage en général dans la fabrication ou l'entretien de pièces métalliques. Les éthers de glycols sont le plus souvent utilisés concurremment avec d'autres solvants ou dans des systèmes semi-aqueux (Energy Pathways Inc., 1993).

À titre d'exemple, mentionnons que la société américaine Lockheed à Fort Worth au Texas a remplacé le CFC-113 dans toutes les opérations de nettoyage de surfaces métalliques lors de la fabrication d'avions par un mélange d'acétate d'éther méthylique du propylène glycol, d'isoparaffines et d'acétate de butyle (ICOLP, 1993). Weltman signale également les résultats d'une série d'essais d'une nouvelle préparation à base d'esters d'éther de glycol conçus pour le nettoyage au chiffon dans le secteur aérospatial (Weltman, 1992).

Avantages Leur volatilité est relativement faible et leur odeur n'est généralement pas désagréable. Ils sont facilement émulsifiables dans l'eau et se séparent bien de l'eau à l'étape de récupération (Research Triangle Institute, 1994).

Désavantages Ce sont des solvants inflammables qui sont classés comme COV (Energy Pathways Inc., 1993). Les éthers de glycol de la série éthylénique ont des effets testiculaires, hématologiques et sur le développement. En conséquence, les VLE en vigueur sont basses (Gouvernement du Québec, 1994). Les congénères du propylène glycol sont nettement moins

toxiques (Cicolella, 1992).

7.2.14 N-méthylpyrrolidone

La N-méthylpyrrolidone est utilisée à l'état pur ou en mélange avec de l'eau ou avec d'autres solvants pour le nettoyage de pièces métalliques souillées de graisse, d'huile ou de calamine (Research Triangle Institute, 1994). Le lecteur est référé au chapitre 10 sur le décapage pour de plus amples informations en rapport avec cette substance.

7.3 PROCÉDÉS DE SUBSTITUTION

7.3.1 Déhuilage thermique sous vide

Le déhuilage thermique sous vide est un procédé très simple par lequel les pièces sont chauffées sous vide dans une cuve et qui donne un fini particulièrement soigné (Koelsch, 1992; Words and Publications, 1992). Il est possible, en principe, de créer des vides suffisamment élevés pour permettre le déhuilage à la température ambiante; en pratique, le déhuilage se fait à des températures de 93-204°C et à des pressions de 13 Pa à 13 kPa (Koelsch, 1992).

Le déhuilage thermique sous vide ne distingue pas entre salissures mais s'avère utile pour le nettoyage de pièces issues de la coupe, de l'usinage ou de l'estampage, et en préparation pour le revêtement ou le traitement thermique (Words and Publications, 1992). Ce procédé est peu efficace contre les salissures qui ne s'évaporent pas facilement, telles que les flux de soudage et les lubrifiants solides comme le disulfure de molybdène (Koelsch, 1992).

7.3.2 Dégraissage électrolytique

Ce procédé repose sur l'électrolyse des pièces à nettoyer, dans un bain alcalin composé de soude caustique, d'agents mouillants, de sels de polissage, de dispersants et d'autres produits chimiques. Un courant continu de 3-12 volts est appliqué, la pièce à traiter agissant comme cathode. Les particules colloïdales de graisse, chargées négativement, sont repoussées, et l'hydrogène produit exerce un effet dégraisseur. Si la pièce sert d'anode, l'oxygène est libéré et les résidus métalliques sont repoussés. Le nickel et ses alliages doivent toujours être dégraissés en agissant comme cathode. Ce type de dégraissage est toujours suivi par une étape de rinçage (Environnement Canada, 1987).

7.3.3 Fluides supercritiques

Certains produits qui se trouvent en phase gazeuse à la température ambiante, tels que le dioxyde de carbone et les hydrocarbures légers, peuvent agir comme solvants s'ils sont utilisés à des températures et pressions supérieures à leurs points critiques. En général, les fluides supercritiques ont les caractéristiques suivantes (Gallagher, 1990):

- haute densité;
- viscosité semblable à celle des gaz;
- diffusion semblable à celle des gaz;
- capacité de pénétrer des pores et interstices très petits (très important pour les pièces complexes);

- pouvoir de dissolution proportionnel à la pression.

Dans ce procédé de dégraissage, les pièces sont déposées dans une cuve dans laquelle est acheminé le fluide supercritique. Le fluide, maintenant chargé de salissures dissoutes, est évacué dans une deuxième cuve où la pression est abaissée. Cette baisse de pression diminue le pouvoir de dissolution du gaz, entraînant la précipitation des salissures. Ces systèmes peuvent fonctionner par lots ou en mode continu (Gallagher, 1990).

Le dioxyde de carbone supercritique est un excellent solvant pour les saletés suivantes (Gallagher, 1990):

- hydrocarbures;
- esters;
- silicones;
- perfluoroéthers;
- triazines substituées aux halocarbures;
- organosilicones;
- chlorotrifluoroéthylène.

Par contre, ce procédé n'est pas approprié pour le polyethylene à haute densité, les résines réticulées telles que celles à base d'époxy ou de composés phénoliques, ni pour la rouille, la calamine, la charpie, les poussières, les salissures ioniques, les sels, et plusieurs flux. Les résidus de flux à base de colophane sont généralement insolubles dans le dioxyde de carbone supercritique (Gallagher, 1990).

Lors d'essais en laboratoire, la contamination huileuse de pièces en acier inoxydable et en aluminium a été réduite à 0,65 % du niveau initial (de 0,40 mg/cm^2 à 0,002 mg/cm^2) par suite d'un nettoyage pendant 15 minutes au dioxyde de carbone supercritique. En outre, la contamination de pièces normalisées en céramique a été réduite à 0,03 % (Salerno, 1990).

7.3.4 Eau à haute pression

Ce type de dégraissage se prête particulièrement bien au nettoyage des machines en acier inoxydable ou en fonte (Marbek Resource Consultants, 1993; USEPA, 1989a). On peut ajouter quelques parties par million de détersif pour rehausser le nettoyage des salissures huileuses ou graisseuses, et l'ajout d'une petite quantité d'un polyacrylate ou d'un polyacrylamide rehausse la capacité de coupe du jet (Marbek Resource Consultants, 1993). Si l'eau locale est dure, il peut s'avérer nécessaire de la déminéraliser ou de la déioniser, afin d'empêcher le colmatage des buses et la formation de taches sur les pièces (USEPA, 1989a).

7.3.5 Projection d'abrasifs

Description Cette technique, bien que plus répandue dans le secteur du décapage des revêtements, s'applique aussi au dégraissage industriel, surtout pour le nettoyage de moteurs à combustion interne et de leurs composants (Marbek Resource Consultants, 1993; Rehm, 1982). Elle est cependant mal adaptée au nettoyage comprenant des canaux ou tuyaux internes complexes (Rehm, 1982). Les matériaux utilisés comprennent le sable, les billes de verre, les grains de plastique, le dioxyde de carbone solide, le maïs séché, les écailles de riz

et les écailles de noix de Grenoble (Marbek Resource Consultants, 1993). On peut retrouver une description plus complète de la projection d'abrasifs dans le chapitre 10 sur le décapage.

Mode d'utilisation L'efficacité de nettoyage est fonction de la nature et de la taille du matériau, de la pression d'application, de la distance et de l'angle de la buse (Marbek Resource Consultants, 1993). Ce type de nettoyage est difficilement automatisé, seule l'application manuelle donnant des résultats adéquats (Rehm, 1982).

7.3.6 Récurage à sec

Cette technique mécanique peut s'avérer utile pour le nettoyage de petites pièces délicates (Marbek Resource Consultants, 1993). Une usine de la compagnie 3M à Columbia au Missouri a remplacé leur système à base d'acide ou de solvants halogènes pour le nettoyage des tôles de cuivre destinées à la fabrication des circuits électroniques par un système incorporant une brosse rotative et de la pierre ponce fine (Marbek Resource Consultants, 1993).

7.3.7 Technologies sans nettoyage

Le recours aux technologies sans nettoyage semble moins courant pour le dégraissage général que dans le secteur électronique.

Dans les procédés de coupage, de façonnage et d'usinage, le besoin de dégraissage peut être réduit en normalisant les types d'huiles utilisées à divers sites, en réservant certaines machines pour le travail avec certains métaux, et en substituant la chaux vive ou le borax aux huiles lubrifiantes (USEPA, 1993b; Baxter, 1991). Il est conseillé d'utiliser des lubrifiants émulsifiables ou des lubrifiants de formage que l'on peut enlever plus facilement avec des nettoyants aqueux (Words and Publications, 1992). Lors de l'estampage, l'on peut utiliser des lubrifiants pouvant rester sur les pièces jusqu'au moment de la recuite. Ils sont alors enlevés par combustion (Baxter, 1991).

Pour l'usinage des métaux, il est conseillé d'utiliser des revêtements détachables au lieu de l'huile protectrice et d'employer des huiles de coupe hydrosolubles. L'organisation des horaires de production permettant de traiter ensemble les métaux exigeant la même huile pourrait réduire le besoin de dégraissage (USEPA, 1993b).

7.4 CONCLUSION

Le dégraissage est un procédé industriel ubiquiste. À ce titre, les interventions visant la substitution des solvants dans ce domaine auront vraisemblablement un impact positif sur la qualité de l'environnement de travail d'un nombre important de travailleurs et entraîneront une diminution substantielle des rejets environnementaux. Heureusement, plusieurs produits et techniques de substitution sont disponibles.

Au Canada comme ailleurs, les principaux solvants organiques utilisés pour le dégraissage sont le 1, 1, 1-trichloroéthylène, le perchloroéthylene, le dichlorométhane et le CFC-113. Ces solvants peuvent être appliqués manuellement ou peuvent être utilisés dans des systèmes d'immersion, de projection ou de dégraissage en phase vapeur.

Parmi les produits de substitution, on retrouve les perfluorocarbures, les HCFC, les alcools, les cétones, la N-méthylpyrrolidone, les éthers de glycol et les esters d'éther de glycol. Cependant, les substituts les plus prometteurs et les plus éprouvés à ce jour sont les nettoyants aqueux alcalins, les nettoyants semi-aqueux, les terpènes (à l'état pur ou en tant que composant de nettoyants semi-aqueux) et les hydrocarbures aliphatiques.

On estime que les nettoyants aqueux alcalins peuvent remplacer 75 % du 1, 1, 1-trichloroéthane et du CFC-113 actuellement utilisés. Relativement peu coûteux, ils sont efficaces contre une large gamme de salissures tout en ne présentant aucun problème d'émission de COV ou de PDO. Par contre, les pièces doivent être séchées après le nettoyage et l'on doit prendre en compte les coûts de modification des appareils en place.

Le terpène le plus souvent utilisé comme solvant substitutif est le d-limonène, produit extrait de pelures d'agrumes. En général, les terpènes sont très efficaces contre plusieurs types de salissures mais sont aussi plus dispendieux que les solvants chlorés traditionnels. Les coûts supplémentaires encourus peuvent cependant être contrebalancés par des économies reliées à l'élimination des déchets.

Les hydrocarbures aliphatiques sont des nettoyants efficaces contre les huiles, les cires et les graisses, et peuvent être utilisés dans des appareils de dégraissage en phase vapeur modifiés. Ils possèdent généralement des points d'éclair relativement faibles, ce qui entraîne un risque d'incendie lors de leur utilisation.

CHAPITRE 8. LE DEGRAISSAGE ET LE NETTOYAGE DES INSTRUMENTS DE PRÉCISION

8.1 INTRODUCTION

Le terme «instruments de précision» regroupe une large gamme d'appareils ayant en commun la nécessité du maintien de marges de tolérance très étroites pour leur bon fonctionnement. En voici quelques exemples (Basu, 1990; Baxter, 1991; Words and Publications, 1992):

- composants aérospatiaux;
- gyroscopes;
- prothèses;
- lentilles de contact;
- disques d'ordinateur;
- galettes de silicium;
- appareils de contrôle des avions;
- systèmes inertiels de navigation automatique;
- appareils de contrôle de missiles et de satellites;
- systèmes hydrauliques d'avions et de missiles;
- boîtes à gants de centrales nucléaires;
- appareils utilisés dans les techniques de fabrication spécialisées;
- systèmes sous-marins.

Tous ces appareils partagent un certain nombre de caractéristiques, dont (Baxter, 1991; Johnson, 1991a):

- le besoin d'un niveau élevé de propreté pour leur bon fonctionnement;
- une certaine sensibilité chimique;
- des traits de géométrie ou de porosité qui rendent le séchage essentiel;
- des composants dispendieux.

Ces pièces peuvent être souillées par des particules, des silicones, des hydrocarbures, les huiles de la peau, les fluides d'équilibre à base de bromofluorocarbures, des flux et des adhésifs (Basu, 1990). Jusqu'à récemment, le CFC-113 et le 1, 1, 1 -trichloroéthane étaient les choix universels pour le nettoyage de ces pièces (Basu, 1990; Words and Publications, 1992). La popularité du CFC-113 est attribuable à sa stabilité chimique, sa compatibilité avec les matériaux utilisés dans ce secteur, sa faible toxicité, sa non inflammabilité et sa capacité de dissoudre le polychlorofluoroéthylène et le polybromofluoroéthylène à haute densité, tous deux utilisés dans la fabrication de gyroscopes et insolubles dans la plupart des solvants courants (Baxter, 1991). Le 1, 1, 1-trichloroéthane lui aussi est ininflammable et peu toxique; mais il est surtout utilisé en raison de sa vitesse d'évaporation élevée, de son point d'ébullition plus élevé que celui du CFC-113, de son pouvoir de dissolution spécifique à certaines salissures et de son coût moindre que celui du CFC-113 (Baxter, 1991).

En raison de la fragilité des instruments, il est souvent impossible de les nettoyer avec les mêmes techniques utilisées couramment pour le nettoyage d'autres pièces ou appareils industriels. Les techniques employées pour nettoyer ce type d'instruments comprennent le dégraissage en phase vapeur, le nettoyage sous pression, l'extraction au soxhlet, la projection à froid en enceinte et le nettoyage à froid aux ultrasons (Basu, 1990; Words and Publications, 1992).

8.2 PRODUITS DE SUBSTITUTION

8.2.1 HCFC

Description Les HCFC ont des propriétés semblables à celles du 1,1,1- trichloroéthane, y compris la compatibilité avec la plupart des métaux et des plastiques (Words and Publications, 1992). Il est à noter que le HCFC-123 et le HCFC-141 b sont, à la différence du 1,1,1-trichloroéthane et de l'eau, compatibles avec le béryllium, métal souvent utilisé pour la fabrication des instruments de haute précision (Basu, 1990).

Les HCFC sèchent rapidement. Les considérations de santé et d'économie exigent l'installation d'équipements conçus pour minimiser les émissions. Puisque leur usage ne sera permis que pour une vingtaine d'années environ, ils ne constitueraient pas des substituts de premier choix (Words and Publications, 1992).

Le HCFC-123 et le HCFC-141 b n'étant pas aussi efficaces individuellement que le CFC-113, il faut souvent les utiliser sous forme de mélanges (Basu, 1990; Words and Publications, 1992). Le HCFC-225 peut être employé pour le nettoyage des gyroscopes, des disques d'ordinateur, des systèmes de contrôle hydraulique, des composants optiques, des contacts électriques, des assemblages en plastique. De plus, le HCFC-225 est un choix approprié pour l'enlèvement de certains lubrifiants spécialisés (Energy Pathways Inc., 1993; Words and Publications, 1992).

Mode d'utilisation Les HCFC peuvent être utilisés dans les installations de nettoyage en phase vapeur, à condition que la hauteur libre soit majorée et la température des serpentins de condensation soit abaissée. Les considérations économiques peuvent rendre l'installation de mesures de contrôle d'émissions nécessaires (Baxter, 1991).

Performance Le pouvoir nettoyant du Genesolv^{MD} 2020 (Allied-Signal), un mélange 80:20 de HCFC-141 b et de HCFC-123, a été évalué dans le cadre des essais en laboratoire dans un appareil de dégraissage en phase vapeur. Ce produit a mieux nettoyé des pièces souillées par le phénylméthyl polysiloxane et la graisse de silicone que ne le faisait le CFC-113, bien que ce dernier ait mieux enlevé les huiles minérales (Basu, 1990).

Le nettoyant s'est avéré très résistant à l'hydrolyse: sa résistance était en fait comparable à celle du CFC-113 et de loin supérieure à celle du 1,1,1-trichloroéthane (Basu, 1990).

8.2.2 Alcools

Description Les alcools peuvent être employés pour le nettoyage des instruments de précision, bien que leur compatibilité avec les substrats à nettoyer doit être soigneusement vérifiée. Ils sont incompatibles, par exemple, avec le béryllium (Words and Publications, 1992). Les alcools méthylique, éthylique et isopropylique enlèvent très efficacement la colophane et les activateurs polaires (Baxter, 1991). En général, les alcools purs sont inefficaces contre les salissures non polaires, telles que la graisse (Baxter, 1991).

Mode d'utilisation Le nettoyage par immersion dans un bain d'isopropanol bouillant et agité aux ultrasons est couramment utilisé, bien qu'il soit contre-indiqué pour le nettoyage en salle blanche ou impliquant des substrats polymériques (Words and Publications, 1992).

En règle générale, le nettoyage avec les alcools à faible point d'éclair nécessite l'utilisation d'appareils antidéflagrants ou d'une couche de gaz protecteur (Words and Publications, 1992). La stratégie la plus courante est le recours à une couche protectrice à base de perfluorocarbures (Baxter, 1991). Les mélanges d'alcools et de perfluorocarbures étant ininflammables, il est possible de les distiller en mode continu, permettant un excellent rinçage des pièces (Baxter, 1991).

Avantages Les alcools ont un très bon pouvoir de dissolution et un nettoyage adéquat peut être réalisé avec des quantités relativement faibles (Baxter, 1991). Les perfluorocarbures sont ininflammables, peu toxiques, peu réactifs et ont un PDO nul (Baxter, 1991). Ni les alcools ni les perfluorocarbures ne laissent de résidus sur les pièces (Baxter, 1991).

Désavantages L'inflammabilité des alcools signifie qu'un danger d'explosion existe dans tout procédé de nettoyage qui les met en oeuvre. Les perfluorocarbures, bien qu'ininflammables, sont dispendieux et contribuent fortement à l'effet de serre. Les équipements de génération de couche protectrice sont très dispendieux (Baxter, 1991).

8.2.3 Perfluorocarbures

Description Les perfluorocarbures sont utilisés non seulement pour la prévention d'explosions lors du nettoyage aux alcools (voir ci-dessus) mais aussi comme nettoyants à l'état pur. Ils sont surtout utilisés pour le nettoyage des appareils médicaux et pour les gyroscopes en raison de leur compatibilité avec le béryllium. Ils sont inefficaces contre les huiles, mais enlèvent bien les résidus particulaires lorsque projetés à haute pression (Baxter, 1991).

Avantages Ce sont des solvants extrêmement stables, ininflammables, peu toxiques et dont le PDO est nul (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992).

Désavantages Les perfluorocarbures contribuent grandement à l'effet de serre (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992). Leur pouvoir de dissolution est faible (Baxter, 1991).

Coûts À la fin de 1990, un mélange type de point d'ébullition faible à moyen coûtait 90,00 $US par kilogramme (Baxter, 1991).

8.2.4 Hydrocarbures aliphatiques synthétiques

Description L'usage de mélanges d'hydrocarbures aliphatiques traditionnels (naphta, paraffines, kérosène) pour le nettoyage des instruments à haute précision ne fait pas l'unanimité (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992). La discussion suivante porte sur les hydrocarbures aliphatiques synthétiques dont l'usage semble moins controversé.

Les hydrocarbures aliphatiques synthétiques sont caractérisés par des tensions superficielles faibles et peuvent donc bien s'infiltrer dans les pièces complexes. Ils enlèvent une large gamme de salissures et sont particulièrement efficaces contre les lubrifiants lourds, le goudron et les cires. Ils sont très utiles pour le nettoyage de composants sensibles à l'eau et sont compatibles avec la plupart des caoutchoucs, plastiques et métaux (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992).

Mode d'utilisation Ils sont surtout utilisés dans des systèmes d'immersion, avec rotation de pièces, pompage du bain ou agitation aux ultrasons. Le nettoyage par projection ou par génération de brouillards est à éviter, compte tenu des dangers d'explosion. Les pièces sont habituellement séchées à l'air forcé (Baxter, 1991).

Avantages Les pertes par evaporation sont faibles. Ils sont recyclables par distillation et ne génèrent aucun effluent aqueux (Baxter, 1991).

Désavantages Les hydrocarbures aliphatiques sont inflammables. Cependant, le danger d'explosion peut être minimisé par le choix judicieux du matériel de dégraissage (Baxter, 1991). Ils sont classifies comme des COV. On réduit leur émissions par des techniques comme l'adsorption sur charbon actif ou par condensation (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992).

8.2.5 N-méthylpyrrolidone

La N-méthylpyrrolidone est utilisée pour divers types de nettoyage. Son emploi pour le nettoyage des instruments de précision est à l'étude. Elle est compatible avec l'acier au carbone, l'acier inoxydable 304, 316 et 317, le laiton Carpenter 20CB3 Admiralty, le cupro-nickel 90/10, le Monel^{MD} 400, le cuivre CDA 110, l'aluminium et le ferralium. Certains polymères, tels que ceux à base d'époxy et de polyuréthanes, sont cependant incompatibles. Les résultats d'essais préliminaires indiquent que la N-méthylpyrrolidone est un fluide de couplage efficace pour l'agitation aux ultrasons soit à la température ambiante ou à température élevée (Baxter, 1991).

8.2.6 Nettoyants aqueux

Description Il est probable que le nettoyage aqueux devienne la technique de remplacement de choix pour le 1,1,1-trichloroéthane dans ce secteur. En effet, ces nettoyants dissolvent mieux les salissures ioniques que ne le fait le CFC-113, bien que leur capacité à enlever les salissures organiques telles que les huiles et les graisses soit inférieure (Basu, 1990; Baxter, 1991). Les nettoyants aqueux ne peuvent pas être employés pour le nettoyage des pièces en béryllium, parce que ces dernières subissent facilement la corrosion (Basu, 1990). Ils nettoient les particules et les pellicules mieux que ne le font les nettoyants à base de solvants (Baxter, 1991).

Utilisation Les nettoyants aqueux peuvent être projetés sur les pièces à nettoyer, ou les pièces peuvent être immergées dans des bains agités aux ultrasons. À cause de leur temps de séchage relativement long, un système de séchage antitaches, notamment avec des fours à air chaud ou à vide, est nécessaire (Words and Publications, 1992). Les nettoyants aqueux sont plus susceptibles à la cavitation, ce qui les rend plus performants dans des systèmes agités aux ultrasons que ne sont le CFC-113 et le 1,1,1-trichloroéthane (Baxter, 1991; Energy Pathways Inc.,).

Dans les systèmes de nettoyage par immersion avec agitation aux ultrasons, les pièces extrêmement délicates sont habituellement nettoyées à une fréquence de 40 kHz (Baxter, 1991). Il est toutefois important de porter une attention particulière à la conception des équipements, afin d'éviter l'érosion des pièces.

Maltby a esquissé les grandes lignes de la conception et de l'implantation d'un système de nettoyage aqueux avec agitation aux ultrasons (Maltby, 1992). Cela consiste essentiellement en trois étapes:

Lavage C'est au poste de lavage que sont enlevées les salissures. Ce poste comprend, en plus d'une unité de génération d'ultrasons, une unité de filtration du nettoyant recirculé, afin de minimiser le dépôt des salissures et de prolonger la durée de vie du bain. Les critères de conception du poste de lavage comprennent la facilité d'usage, la durée de vie du bain, la minimisation des pertes par entraînement et la minimisation du nombre de lavages.

Rinçage En général, le rinçage comprend deux étapes. La première étape, en circuit fermé, comprend des procédés de projection et d'immersion et sert à enlever la majorité des contaminants de surface. Lors de la deuxième étape, les pièces sont d'abord immergées dans un bain agité aux ultrasons, puis rincées par projection. Il est préférable que le bain soit chauffé, afin de faciliter l'étape subséquente de séchage.

Séchage La technique de séchage la plus courante est la recirculation d'air chauffé. Les installations de séchage comprennent habituellement des filtres à haute efficacité (filtres HEPA), des systèmes de chauffage de l'air en continu, et des dispositifs de contrôle de l'humidité de l'air.

L'air chaud est incapable de sécher complètement les trous borgnes profonds, les bacs à cuvette et les surfaces imbibées d'eau. Toutes ces pièces doivent passer à une étape secondaire de séchage, dont la plus courante est le séchage à vide. La combinaison du séchage à l'air chauffé et du séchage à vide permet le séchage de presque n'importe quelle pièce tout en ne laissant aucune tache.

Dans le nettoyage par projection, les nettoyants sont appliqués à des pressions de 140 à 14000 kPa, parfois plus élevés encore. Les jets à haute pression augmentent l'efficacité du rinçage des surfaces et réduisent la rétention d'eau. Pour ce type de nettoyage, les agents tensioactifs peu moussants sont obligatoires; en pratique cela implique le recours aux agents tensioactifs non ioniques. Ces agents sont moins efficaces que ceux utilisés pour le nettoyage par immersion, mais l'effet mécanique du jet compense en grande partie. Le nettoyage par projection peut produire des pièces beaucoup plus propres que le nettoyage par immersion, puisque les nettoyants sont toujours propres au moment où ils entrent en contact avec les pièces (Baxter, 1991).

Un **rinçage** à faible pression (280-560 kPa) et grand débit est le plus efficace. Pour les pièces de géométrie complexe, un rinçage par immersion en bain agité aux ultrasons s'avérera utile. Les pièces doivent obligatoirement être mouillées jusqu'à ce qu'elles arrivent à l'étape finale de séchage (Baxter, 1991).

Les contraintes énergétiques et temporelles de production ne permettent généralement pas le **séchage** par simple evaporation. Il faut donc recourir à des moyens mécaniques tels que les souffleries à turbine (Baxter, 1991).

Avantages Les nettoyants aqueux sont ininflammables et non explosifs. Leur plus grande susceptibilité à la cavitation les rend plus efficaces que les solvants pour le nettoyage aux ultrasons (Baxter, 1991).

Désavantages Les principaux désavantages de ces nettoyants découlent des propriétés physiques de l'eau. Ainsi, généralement, les pièces nettoyées doivent être séchées avant de passer à la prochaine étape de production. La tension superficielle relativement élevée de l'eau fait en sorte qu'il est très difficile de sécher les trous borgnes (Baxter, 1991).

Pour accélérer le séchage des pièces, les nettoyants ainsi que l'eau servant au rinçage peuvent être chauffés. Cela entraîne nécessairement des coûts énergétiques supplémentaires (Baxter, 1991).

Dans certains cas, le rinçage devient obligatoire, afin d'assurer la propreté voulue des pièces. La présence d'agents tensioactifs dans ces nettoyants peut cependant rendre le rinçage difficile. Certains procédés peuvent aussi exiger le recours à une eau de haute pureté, afin de minimiser les résidus ioniques (Baxter, 1991).

Finalement, le nettoyage aux nettoyants aqueux génère une quantité importante d'effluents qui doivent être traités avant d'être rejetés dans l'environnement (Baxter, 1991).

Coûts Dans certains cas, les systèmes de nettoyage aqueux avec agitation aux ultrasons peuvent occuper moins d'espace que des systèmes traditionnels, mais les économies associées à cette réduction peuvent être contrebalancées par les coûts associés à l'entretien plus fréquent que ces systèmes exigent ainsi que l'augmentation de la consommation d'eau (Maltby, 1992).

8.2.7 Nettoyants semi-aqueux

Description Les nettoyants semi-aqueux sont des mélanges d'hydrocarbures et d'agents tensioactifs dans l'eau appliqués sous forme d'émulsion diluée dans l'eau ou sous forme concentrée; dans ce dernier cas, une étape de rinçage à l'eau est nécessaire (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992). Ces produits sont particulièrement efficaces contre les lubrifiants lourds, le goudron et les cires et sont compatibles avec la plupart des métaux et plastiques (Baxter, 1991).

Utilisation Quelques nettoyants possèdent des points d'éclair supérieurs à 200°C et peuvent être utilisés pour le nettoyage à chaud. Il s'agit cependant d'exceptions, la plupart d'entre eux étant caractérisés par des points d'éclair assez bas. À cause du danger d'explosion, il faut donc éviter les techniques d'application qui favorisent la génération de brouillards, notamment la projection ou le nettoyage en phase vapeur, à moins que des équipements de génération d'atmosphère inerte ou d'autres équipements de protection spécialisés ne soient installés. L'apport d'énergie mécanique requis pour réaliser un nettoyage adéquat est moindre avec les nettoyants semi-aqueux qu'avec les nettoyants aqueux, à cause de leur pouvoir de dissolution plus élevé (Baxter, 1991).

Avantages Ces nettoyants ont des tensions de vapeur faibles, ce qui se traduit par peu de pertes par evaporation. Puisqu'ils ne sont pas alcalins, ils ne s'attaquent pas aux substrats métalliques et produisent des effluents moins contaminés (Baxter, 1991).

Désavantages Tel qu'indiqué plus haut, les composants organiques de ces nettoyants sont inflammables. Cependant, le risque d'explosion peut être minimisé par le choix judicieux du matériel de dégraissage (Baxter, 1991).

Certains nettoyants possèdent une odeur désagréable (Baxter, 1991).

Les agents tensioactifs dans ces nettoyants peuvent être résistants au rinçage. À des concentrations élevées, certains nettoyants ont tendance à former des gels (Baxter, 1991).

Certains constituants organiques sont classifies comme COV. Dans tous les cas, les coûts de recyclage ou d'élimination des effluents sont inévitables (Baxter, 1991).

Une étape de séchage est souvent nécessaire, ce qui augmente les coûts d'exploitation et peut exiger des modifications de procédé (Baxter, 1991).

8.3 PROCÉDÉS DE SUBSTITUTION

8.3.1 Nettoyage au plasma

Description Un plasma est un gaz chargé électriquement, composé d'atomes ionisés, d'électrons, de radicaux libres et d'espèces neutres. Il est créé en soumettant un gaz (tel que l'argon, l'oxygène, l'hélium, le tétrafluorure de silicium ou l'air) à une décharge de haute fréquence radio (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992). Les salissures des pièces sont volatilisées par contact avec le plasma et sont ensuite évacuées de la chambre de nettoyage par un gaz vecteur. Cette technologie est utilisée pour le nettoyage des gyroscopes et pour l'enlèvement de la contamination organique, des résidus de bains de placage et de lavage, de certains revêtements, et des marquages incorrects (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992).

Utilisation Puisque le procédé n'est efficace que sur des surfaces ultrapropres, les pièces à nettoyer doivent toujours subir un prénettoyage aux solvants (Words and Publications, 1992). Les plasmas froids (dont la température est inférieure à 60°C) sont les plus appropriés pour le nettoyage. Les temps de nettoyage varient de quelques secondes à plusieurs heures (Baxter, 1991).

Avantages La plupart des gaz de procédé sont non toxiques et non caustiques (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992). De petites quantités de gaz suffisent pour nettoyer chaque lot de pièces. La qualité du nettoyage ne dépend pas de la géométrie des pièces (Baxter, 1991).

Désavantages Les salissures se trouvant à la surface sont enlevées plus rapidement que celles qui se trouvent plus près du substrat (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992). Il est donc difficile de prédire le temps nécessaire au nettoyage. La capacité de nettoyage est faible, et les pièces doivent toujours subir un prénettoyage aux solvants (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992). La génération du plasma est inefficace dans les parties cachées des pièces complexes, et sa diffusion à ces endroits est lente (Baxter, 1991).

Coûts Les gaz utilisés sont relativement peu coûteux et les frais d'exploitation sont relativement faibles, surtout par rapport au nettoyage aux solvants. Les coûts d'immobilisation sont par contre importants: 20 000 - 130 000 $US (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992).

8.3.2 Gaz sous pression

Description Les gaz à haute pression sont de plus en plus utilisés pour remplacer le 1,1,1-trichloroéthane dans le nettoyage des particules et poussières métalliques sur les points de mire des instruments d'arpentage, les tubes cathodiques à haute résolution et les canons d'électrons (Words and Publications, 1992). Cependant ce procédé est plutôt inefficace contre les particules microscopiques (Baxter, 1991). Plusieurs gaz peuvent être utilisés pour ce type de nettoyage: l'hélium, le néon, l'argon, le krypton, le xénon, l'air, le dioxyde de carbone, l'azote et le HCFC-22 (Baxter, 1991).

Avantages Ces gaz sont peu visqueux et pénètrent bien les pièces complexes. Ils sont ininflammables et peu toxiques (Baxter, 1991).

Désavantages Les pressions d'applications nécessaires peuvent, dans certains cas, rompre les joints d'étanchéité des équipements (Baxter, 1991).

Coûts Les coûts d'immobilisation et d'exploitation de ce type de nettoyage sont faibles (Baxter, 1991).

8.3.3 Fluides supercritiques

Description Un fluide supercritique est un gaz maintenu à une température et une pression supérieures à celles du point critique. Dans ces conditions sa densité se rapproche de celle d'un liquide. Ce sont de puissants solvants qui enlèvent rapidement les composés de poids moléculaire moyen et de faible polarité (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992).

Le procédé DriClean^{MD} de Phasex est un système de nettoyage aux fluides supercritiques conçu pour remplacer le nettoyage au CFC-113 des gyroscopes, des composants d'appareils lasers, des accéléromètres, des joints d'étanchéité de soupapes nucléaires et des commutateurs thermiques (Gallagher, 1990).

Avantages Les fluides supercritiques sont caractérisés par des coefficients de diffusion élevés, des densités faibles et des viscosités faibles comparativement au CFC-113 et au 1, 1, 1-trichloroéthane (Baxter, 1991). Ce mélange de propriétés favorise l'extraction rapide des contaminants et la séparation rapide des phases (Baxter, 1991),

Désavantages Certaines pièces peuvent ne pas supporter les températures et pressions élevées associées avec ce type de nettoyage (Baxter, 1991).

Coûts Comme le nettoyage au plasma, le nettoyage aux fluides supercritiques est caractérisé par des coûts d'immobilisation importants mais de faibles coûts d'exploitation (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992).

8.3.4 Rayonnement ultraviolet/ozone

Description Le rayonnement ultraviolet peut être utilisé de concert avec l'ozone pour le nettoyage par oxydation de pellicules organiques sur une large gamme de substrats, y compris le verre, le quartz, le mica, le saphir, les céramiques, les métaux, le silicium, l'arséniure de gallium et les ciments à base de polyamides (Baxter, 1991; Words and Publications, 1992). Cependant, il s'avère inefficace contre les particules et les salissures inorganiques (Baxter, 1991).

Mode d'utilisation L'efficacité du nettoyage est fonction de la nature des contaminants, du degré de prénettoyage des pièces, des longueurs d'ondes utilisées, de la distance et de la nature de l'atmosphère entre la source du rayonnement ultraviolet et les pièces, de l'angle de

contact du faisceau de rayonnement ultraviolet et de la durée d'exposition. Les pièces très sales ou couvertes de plusieurs couches de salissures doivent subir un prénettoyage (Baxter, 1991).

Avantages Le procédé est simple, peu coûteux et rapide. L'entretien des équipements est facile, puisqu'il n'y a aucune pièce en mouvement (Baxter, 1991).

Désavantages Ce type de nettoyage implique une exposition potentielle au rayonnement ultraviolet et à l'ozone et nécessite alors des installations ou équipements de protection spécifiques (Words and Publications, 1992).

Certaines pièces peuvent être endommagées, décolorées ou tachées. Certains matériaux peuvent être corrodés s'ils sont surexposés (Baxter, 1991).

8.4 CONCLUSION

Le secteur du nettoyage des instruments de précision est en fait un sous-ensemble de celui du dégraissage étudié au chapitre 5. La plupart des techniques de substitution présentées pour le dégraissage et le nettoyage des surfaces métalliques sont applicables au nettoyage des instruments de précision. Les pièces à nettoyer dans ce secteur ont cependant certaines particularités qui interdisent l'application simpliste des techniques employées pour le nettoyage et le dégraissage dans l'industrie en général. On pense ici au niveau élevé de propreté exigé, aux configurations et tolérances rarement rencontrées dans d'autres contextes, et à la susceptibilité de plusieurs substrats, notamment le béryllium, aux substances chimiques.

Néanmoins, il est toujours vrai que les nettoyants aqueux et semi-aqueux sont les substituts les plus couramment utilisés pour les instruments de précision, comme dans le secteur du dégraissage et du nettoyage en général.

CHAPITRE 9. LE NETTOYAGE DES COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

9.1 INTRODUCTION

Le besoin de nettoyage dans le secteur électronique est largement issu de la nécessité d'enlever les résidus de flux laissés sur les modules de circuits imprimés lors du soudage des composants électroniques. Les autres utilisations des solvants dans l'électronique ne sont pas traitées. Ainsi il ne sera pas question de l'emploi des éthers de glycol pour le décapage de la couche photosensible («photoresist») servant à la fabrication des circuits imprimés.

Les résidus de flux modifient la performance électrique des circuits et leur nettoyage facilite les essais et l'inspection, minimise les fuites de courant et empêche la corrosion (Words and Publications, 1992). Historiquement, le nettoyage se faisait à l'aide de mélanges de CFC-113 et d'alcools (habituellement l'éthanol). Jusqu'à tout récemment, 45 % du CFC-113 utilisé a été consommé par le secteur électronique (Johnson, 1991 a; Sørensen, 1993c; Words and Publications, 1992). L'utilisation du 1, 1, 1-trichloroéthane est plutôt limitée dans ce secteur, en raison de son pouvoir de dissolution trop élevé, pouvant endommager les composants électroniques et parce que des mélanges 1, 1, 1-trichloroéthane/alcool enlèvent uniquement les salissures ioniques (Johnson, 1991 a; Words and Publications, 1992).

9.1.1 Facteurs à considérer

Comme pour tout exercice de substitution, la substitution dans le secteur de l'électronique doit prendre en compte plusieurs facteurs (voir à ce sujet le chapitre 4). Il existe cependant un certain nombre de facteurs propres à ce secteur et qui doivent être évalués afin d'identifier les produits et les technologies les mieux adaptés aux besoins spécifiques de l'entreprise. Ces facteurs incluent (Altpeter, 1993; Lea, 1991):

- le respect des spécifications. Les résidus produisent souvent des défectuosités telles que la vésication;
- la compatibilité avec les technologies actuelles de montage en surface;
- le taux de défectuosités;
- les questions reliées aux retours de marchandise par les clients (pourcentage d'unités retournées, facilité de réparation des unités, adéquation des réparations et modifications sur le terrain);
- les normes sectorielles. L'emploi des équipements normalisés réduit le coût des pièces de remplacement et des services, augmente la disponibilité des ressources techniques et réduit les risques;
- l'aspect esthétique des modules de circuits imprimés;
- la capacité des fournisseurs à satisfaire les spécifications. La qualité des circuits et composants de base sont des éléments clef de la réussite des technologies sans nettoyage. En l'absence de nettoyage ultérieur dans les chaînes de production adoptant les technologies sans nettoyage, l'absence de toute

oxydation et de tout autre contaminant sur les modules est d'une grande importance;

- la flexibilité du procédé, telle que témoignée par le nombre de composants de nature différente pouvant être soudé par le nouveau procédé et la compatibilité du procédé avec les matériaux types;
- le contrôle de procédé - la facilité d'opération et de manipulation des procédés de soudage et de nettoyage;
- le débit du procédé. Ceci est très important pour la réussite des technologies sans nettoyage. Ces technologies pourraient être mal adaptées aux chaînes à débit faible ou aux entreprises utilisant un grand nombre de composants, car le stockage de ces derniers pour des périodes relativement longues entraîne inévitablement leur contamination;
- les contraintes temporelles. La conversion au nouveau procédé peut exiger le remplacement d'anciens équipements, l'installation de nouveaux équipements, leur mise à l'essai et l'établissement de nouveaux protocoles de production;
- la formation du personnel;
- les questions reliées à la santé et la sécurité du travail et à l'environnement;
- les coûts éventuels, dûs par exemple à l'élimination des déchets et au respect des normes;
- la disponibilité du procédé. Celle-ci peut être variable d'une région à l'autre, indépendamment des normes sectorielles;
- la compatibilité du procédé;
- les exigences en espace. Les technologies sans nettoyage exigent habituellement moins d'espace que les installations de dégraissage en phase vapeur;
- les exigences opérationnelles et d'entretien. Chaque nouveau procédé exige la mise au point de nouveaux modes opératoires et de nouvelles techniques d'entretien;
- la durée du procédé. L'avantage économique d'un procédé est fonction du nombre de modules produits par heure; en général, les technologies sans nettoyage permettent la production d'un plus grand nombre de modules;
- la main-d'oeuvre. Les technologies sans nettoyage éliminent les coûts associés à la formation de la main-d'oeuvre pour l'opération des équipements de nettoyage.

Une variété de produits alternatifs de nettoyage sont disponibles pour le secteur électronique. Ceux-ci peuvent être appliqués par nettoyage en phase vapeur, récurage, immersion (avec et sans agitation aux ultrasons), projection à haute pression, ou un procédé combinant l'immersion et la projection (Words and Publications, 1992).

9.2 PRODUITS DE SUBSTITUTION

9.2.1 Eau

Description Si des flux hydrosolubles ou des flux à base de colophane comprenant des agents de saponification sont utilisés, il est possible de nettoyer les pièces à l'eau. Une étape de séchage est évidemment obligatoire, mais des problèmes de compatibilité avec les composants des pièces peuvent survenir même en présence d'un séchage adéquat (Lea, 1991).

Mode d'utilisation Le nettoyage à l'eau peut se faire soit en mode continu ou par lots. Dans tous les cas, il faut adoucir l'eau de procédé afin d'éviter le colmatage des buses. Si le séchage se fait par lame d'air, l'eau de robinet adoucie peut convenir; autrement il faut recourir à de l'eau de haute pureté. Les assemblages en montage de surface ne peuvent pas être nettoyés par lots puisqu'ils exigent un système de projection à haute pression, système peu compatible avec le traitement par lots. Des systèmes en circuit fermé sont disponibles (Lea, 1991).

Avantages L'eau est un produit inoffensif du point de vue de la santé, de la sécurité et de l'environnement.

Désavantages En raison du pH, de la teneur en métaux, de la DBO ou de la DCO, un traitement des effluents peut être nécessaire avant leur évacuation (Lea, 1991).

9.2.2 Nettoyants aqueux

Description L'eau est un excellent solvant pour les salissures ioniques et les flux hydrosolubles. Lorsque combinée avec des agents tensioactifs, des alcools, des agents de neutralisation ou des détersifs, elle peut aussi enlever les salissures non polaires telles que les flux à base de colophane, les huiles et les activateurs (Words and Publications, 1992).

Utilisation Le nettoyage aqueux peut se faire dans des appareils mécanisés de nettoyage par récurage à la brosse, des appareils de nettoyage par lots, des bacs d'immersion automatisés et des systèmes en ligne munis de convoyeurs (Words and Publications, 1992).

Désavantages L'eau peut devenir fortement contaminée et peut exiger un traitement de déionisation, d'osmose inversée ou d'adsorption sur charbon actif avant d'être évacuée. De nouveaux systèmes en circuit fermé recyclent l'eau usée, minimisant ainsi les rejets environnementaux (Words and Publications, 1992).

Coûts Même en tenant compte des coûts de traitement des effluents aqueux, le nettoyage aqueux est généralement moins onéreux que le nettoyage aux solvants (Words and Publications, 1992).

9.2.3 Nettoyants semi-aqueux

Description Les substances incorporées aux nettoyants semi-aqueux utilisés dans ce secteur comprennent des terpènes, des alcools, des aldéhydes et des esters (Words and Publications, 1992). Ces nettoyants enlèvent bien les flux à base de colophane et une gamme de salissures polaires et non polaires, mais sont peu efficaces contre les salissures ioniques (Lea, 1991; Words and Publications, 1992). Ils retiennent leur pouvoir nettoyant même souillés (Lea, 1991).

Mode d'utilisation Les nettoyants semi-aqueux sont employés depuis relativement peu de temps. De nouveaux solvants et des équipements appropriés sont toujours en développement (Lea, 1991). Les nettoyants semi-aqueux peuvent être utilisés dans les systèmes en continu ou par lots. Ils nettoient bien à des températures basses les modules électroniques dont les composants sont étroitement espacés (Lea, 1991; Words and Publications, 1992). Les assemblages de montage en surface doivent être nettoyés par projection (Lea, 1991). Des systèmes en circuit fermé sont disponibles et minimisent la consommation d'eau et la quantité d'effluents à traiter (Lea, 1991).

Avantages Les nettoyants semi-aqueux sont non corrosifs, peu visqueux et peu moussants (Lea, 1991; Words and Publications, 1992).

Désavantages Les nettoyants semi-aqueux possèdent de faibles points d'éclair et peuvent être inflammables à la température ambiante (Words and Publications, 1992). Des pièces de nettoyage spécialement conçues sont donc nécessaires, surtout pour le nettoyage d'assemblages de montage en surface, qui doivent être nettoyés par projection (Lea, 1991; Words and Publications, 1992).

Les composés organiques inclus dans ces mélanges sont classifies comme COV (Words and Publications, 1992). Ce type de nettoyage génère des effluents et des déchets qui doivent être traités, mais des systèmes en circuit fermé minimisent leur volume. En outre, les déchets peuvent être utilisés comme carburant (Lea, 1991). La nature des solvants utilisés dans les préparations commerciales détermine leurs propriétés toxicologiques spécifiques.

L'étape de séchage obligatoire consomme beaucoup d'énergie; elle est coûteuse et prolongée (Lea, 1991).

Certains nettoyants possèdent une forte odeur (Lea, 1991).

9.2.4 Alcools et cétones

Description En général, les cétones et les alcools enlèvent efficacement les résidus de flux et de salissures polaires et ont très peu d'incompatibilités avec les matériaux rencontrés dans ce secteur (Lea, 1991; Words and Publications, 1992). Des appareils adaptés sont maintenant disponibles pour le nettoyage avec des solvants inflammables à base d'alcools. Parmi ceux-ci, l'on retrouve les appareils de nettoyage à solvant à froid ou chauffés, les appareils de

nettoyage en phase vapeur par lots, des nettoyants en ligne et des nettoyants par immersion (Words and Publications, 1992). Ces derniers utilisent généralement l'agitation aux ultrasons (Words and Publications, 1992). Le CFC-113 peut être remplacé par l'isopropanol (particulièrement pour la colophane activée) et l'acétone. Enfin, des mélanges d'alcools et de perfluorocarbures peuvent aussi être utilisés pour le nettoyage des modules de circuits imprimés (Energy Pathways Inc., 1993; Words and Publications, 1992).

Avantages Comme les pièces nettoyées sont sèches lorsqu'elles sortent du procédé de nettoyage, il n'est pas nécessaire de recourir à une étape de séchage (Lea, 1991).

Désavantages Ces produits sont classés comme COV. Une ventilation adéquate doit être assurée en raison de leur inflammabilité (Words and Publications, 1992). Le risque d'incendie peut être amoindri en installant un système de protection à couche de gaz inerte (p. ex. l'azote), en mélangeant les alcools avec des fluorocarbures (pour les systèmes en phase vapeur) ou en se servant d'un alcool partiellement fluoré (Lea, 1991).

9.2.5 HCFC

Description Les HCFC sont les produits qui, à plusieurs égards, ressemblent le plus au CFC-113 et constituent le moyen de substitution le plus facile pour les petites entreprises (Lea, 1991). Cependant, à cause de leur éventuelle interdiction, et la difficulté actuelle d'approvisionnement, il est probablement plus efficace à long terme de rechercher d'autres solutions.

Leur compatibilité avec les matériaux et composants couramment retrouvés dans ce secteur est bonne (Lea, 1991). Le HCFC-225 peut remplacer le 1, 1, 1-trichloroéthaneet un mélange de HCFC-141b, de HCFC-123 et de méthanol est disponible pour usage dans des appareils de dégraissage en phase vapeur (Words and Publications, 1992).

Avantages L'étape de séchage est superflue parce que les pièces sont sèches à la fin du nettoyage en raison de la volatilité des HCFC. Malgré leur volatilité, les HCFC sont ininflammables. Ils sont peu toxiques, mais un peu plus que les CFC (Lea, 1991).

Coûts En général, les HCFC coûtent trois à cinq fois plus cher que le CFC-113 (Lea, 1991).

9.3 TECHNOLOGIES SANS NETTOYAGE

Dans le secteur électronique, l'appellation «technologies sans nettoyage» désigne le recours aux flux qui ne sont pas dommageables pour les produits finis et qui peuvent alors y être laissés après le soudage. En enlevant l'étape de nettoyage, ces technologies suppriment l'usage du CFC-113 et du 1, 1, 1-trichloroéthane. Cette élimination du nettoyage signifie que les modules et les autres composants à souder doivent être propres au moment du soudage. Ceci peut représenter un défi de taille pour les fournisseurs. Dans ce contexte, il est beaucoup plus important de porter une attention particulière à la manipulation des composants avant le soudage (Altpeter, 1993).

Ces technologies laissent nécessairement sur les produits finis des imperfections sur le plan esthétique, mais cela peut être acceptable dans plusieurs applications et peut être minimisé par le recours à une atmosphère inerte (Altpeter, 1993).

Le choix de la pâte à soudage doit tenir compte des caractéristiques d'affaissement, des points de soudage et de dépôt recherchés. Il peut s'avérer nécessaire de modifier l'épaisseur ou l'ouverture du cliché afin de s'assurer du dépôt de la même quantité de pâte (Altpeter, 1993).

Puisque la marge de manoeuvre est réduite dans le soudage sans nettoyage, il pourrait être nécessaire de modifier le profil des températures du procédé; cela peut être particulièrement problématique sur les grands modules de circuits imprimés dont la capacité d'accumuler la chaleur est grande (Altpeter, 1993).

La façon la plus simple de convertir les chaînes de soudage par fusion à ces technologies est d'éliminer le nettoyage suivant le soudage, tout en gardant la pâte RMA (rosin, mild activation). Si cela ne donne pas les résultats escomptés, on peut ensuite utiliser des pâtes sans nettoyage à faible teneur en solides. Cependant ces pâtes doivent souvent être utilisées sous une atmosphère contrôlée pour donner des soudures acceptables (Altpeter, 1993). Finalement, il est possible de modifier la technique du fluxage dans des systèmes de soudage à la vague afin de permettre un contrôle plus précis de la quantité et du profil de dépôt (Altpeter, 1993).

9.3.1 Flux hydrosolubles

Les flux hydrosolubles ont été utilisés dans le soudage à la vague depuis les 10 dernières années et donnent de bons résultats. Puisque ces flux sont très corrosifs, leur nettoyage au complet est obligatoire. Aucun solvant n'est nécessaire, le nettoyage se faisant à l'aide d'un jet d'eau à haute pression. Les modules produits avec ces flux et nettoyés à l'eau dépassent la norme de propreté des forces armées américaines (Sørensen, 1993c).

Les activateurs organiques contenus dans ces flux sont habituellement irritants pour les yeux, la peau et les voies respiratoires, mais, à la différence des flux à base de colophane, ils ne provoquent pas d'asthme professionnel (Sørensen, 1993c).

9.3.2 Flux à faible teneur en solides

Description Les flux à faible teneur en solides se démarquent des flux traditionnels par la quantité de matières solides qu'ils contiennent (tableau 9.1). Ils sont plus populaires en Europe et au Japon qu'aux États-Unis où les imperfections de nature esthétique qu'ils occasionnent ont limité leur adoption (Altpeter, 1993).

Les caractéristiques des flux à faible teneur en solides correspondent bien aux exigences de la production de produits électroniques de masse, où le niveau de propreté exigé n'est pas élevé (Words and Publications, 1992). Ils sont par contre incompatibles avec les revêtements dits «conformai» (Lea, 1991). Des flux hydrosolubles à faible teneur en matières solides sont

en développement (Altpeter, 1993).

Tableau 9.1
Comparaison des flux traditionnels aux flux à faible teneur en solides

Composant	Flux traditionnels (%)	Flux à faible teneur en solides (%)
Matières solides	15-40	0,5-10
Solvants	≤ 60	≤ 97
Activateurs	≤ 5	≤ 2
Colophane	≤ 35	0
Agents tensioactifs/ inhibiteurs	0	≤ 1

(Altpeter, 1993; Words and Publications, 1992)

Utilisation Il peut être nécessaire de modifier les machines de soudage pour utiliser ces flux, puisque la formation de soudures adéquates et l'aspect esthétique des modules est fonction du dépôt des flux (Altpeter, 1993; Words and Publications, 1992). Les appareils habituels de fluxage à la vague et à la mousse ont tendance à déposer trop de flux et peuvent donc être inadaptés (Altpeter, 1993). Le fluxage par projection est cependant bien adapté à ce genre de flux, en raison du contrôle rigoureux de la quantité et de la configuration du flux déposé qu'il permet (Altpeter, 1993).

Avantages Ces flux réduisent les problèmes de corrosion à long terme causés par la présence d'activateurs puissants, car ils sont en mesure de les neutraliser (Altpeter, 1993; Lea, 1991). Plusieurs flux à faible teneur en solides sont non corrosifs et ont des résistances d'isolation superficielle élevées (Words and Publications, 1992).

Désavantages Leur teneur élevée en solides peut augmenter leur pégosité («tackiness»), modifier leur propriété électrique et occasionner des problèmes de pénétration des sondes d'essai (Altpeter, 1993; Lea, 1991). Dans certains cas, ils peuvent laisser des résidus qui empêchent la vérification des produits, mais dans d'autres, le nettoyage peut s'avérer facultatif (Altpeter, 1993; Words and Publications, 1992).

9.3.3 Soudage en atmosphère contrôlée

Description Les gaz employés peuvent être inertes ou réactifs. Dans le cas du soudage en atmosphère inerte, le gaz utilisé (le plus souvent l'azote sec) déplace l'air dans le creuset de soudage, réduisant parfois la teneur en oxygène à des niveaux inférieurs à 10 ppm (Altpeter, 1993). Sans oxygène ambiant, la formation d'oxydes est sensiblement réduite, la réduction allant jusqu'à 90 % dans certains cas (Words and Publications, 1992). Le soudage

en atmosphère réactive utilise un agent réactif mélangé à un véhicule inerte pour empêcher la formation d'oxydes (Words and Publications, 1992). Ce type de soudage peut réduire radicalement la quantité de flux exigée et peut même en éliminer le besoin complètement, et réduit aussi le temps réservé à l'entretien (Altpeter, 1993).

Le soudage en atmosphère contrôlée peut être appliqué au soudage à la vague et au soudage par fusion. Habituellement, le soudage à la vague avec flux sans nettoyage dans l'air donne des résultats inacceptables, à cause de l'interférence avec les essais subséquents et à la déposition de quantités excessives de résidus (Altpeter, 1993). Pour cette raison, le soudage à la vague des flux sans nettoyage se fait surtout en atmosphère contrôlée.

Mode d'utilisation

Soudage à la vague

De par sa consommation réduite de flux et de pâte à soudage, le soudage à la vague en atmosphère contrôlée laisse moins de salissures sur les modules et nécessite conséquemment moins de nettoyage. La propreté des plaquettes produites avec ce procédé est très proche de celle prescrite par les normes des forces armées américaines (S0rensen, 1993c).

Dans certains cas, le flux peut être complètement remplacé par une solution de 1-2 % d'acide adipique dans l'alcool (Altpeter, 1993; Sørensen, 1993c). L'injection d'acide formique gazeux permet de réduire la formation de crasse et de favoriser le mouillage (Altpeter, 1993). À titre d'exemple, une série d'essais a mis en évidence un plus grand pouvoir mouillant des fils de cuivre trempés dans un flux à base de colophane lorsque les essais se faisaient sous azote comparativement à l'air; le temps de mouillage a aussi été réduit de 32 % (Altpeter, 1993).

Le fluxage à la mousse, à la vague ou par projection peuvent être utilisés de concert avec le soudage à la vague avec des flux sans nettoyage. La modification de la technique de fluxage nécessite l'ajout d'un module autonome de fluxage ou la modification des équipements en place (Altpeter, 1993).

Dans le **fluxage à la vague,** qui s'apparente au soudage à la vague, le module de circuits imprimés passe par dessus une vague de flux (Altpeter, 1993).

Le **fluxage à la mousse** implique le moussage de flux traditionnel par le barbotage d'air au fond du bain de flux. Encore ici, le module de circuits imprimés passe par dessus la vague de flux et reçoit un dépôt de flux (Altpeter, 1993).

Le **fluxage par projection** est basé sur le dépôt d'une mince couche de flux sur les modules de circuits imprimés par un brouillard dont les caractéristiques sont rigoureusement contrôlées. Les dangers pour la santé et la sécurité sont plus élevés avec ce type de fluxage (Altpeter, 1993).

Une modification minimale des équipements en place peut suffire pour permettre l'implantation du soudage à la vague avec des flux sans nettoyage, ce qui minimise les coûts reliés aux achats, à l'exploitation et à l'entretien des équipements de nettoyage (Altpeter, 1993).

Modification des équipements en place

Les équipements courants de soudage à la vague doivent être modifiés et équipés d'une hotte capable de contrôler la teneur en oxygène dans le module de soudage. La façon la plus simple mais aussi la moins efficace de réaliser cette modification est d'installer une hotte au dessus du creuset de soudage. Une stratégie plus performante est d'installer une hotte qui recouvre les modules de préchauffage et le creuset de soudage. Cette modification permet le maintien de faibles teneurs en oxygène et consomme moins d'azote. Dans certains cas, il peut s'avérer nécessaire d'expédier l'unité en entier au fabricant pour qu'il effectue les modifications voulues (Altpeter, 1993).

Installation de nouveaux équipements

Les appareils en tunnel ouvert permettent la circulation continue de modules à souder mais peuvent utiliser d'importantes quantités d'azote (Altpeter, 1993).

Les appareils en tunnel fermé peuvent maintenir des niveaux extrêmement bas d'oxygène mais ne permettent pas la circulation continue des modules et sont donc caractérisés par un faible rendement (Altpeter, 1993).

Les appareils en tunnel partiellement fermé recourent à l'injection étroitement focalisée d'azote pour réduire la concentration d'oxygène tout en utilisant moins d'azote que les autres techniques. La modification des équipements en place pour permettre l'emploi de cette technologie est relativement facile. Des utilisateurs de systèmes en tunnel partiellement fermé ont indiqué que cette technique permet le soudage à un niveau acceptable tout en réduisant l'affaiblissement dû à la dérivation (shuntage). Comme il n'y existe aucun tunnel réel, il n'y a aucun besoin de mesures de prévention telles que l'évacuation par ventilation locale des fumées et les écrans de protection contre les éclaboussures (Altpeter, 1993).

Soudage par fusion La plupart des fours de soudage par fusion peuvent être modifiés en ajoutant une source d'azote, un moniteur d'oxygène et des rideaux empêchant la sortie de l'azote à l'entrée de la zone de préchauffage et à la sortie de la zone de fusion (Altpeter, 1993).

Avantages Le soudage en atmosphère contrôlée augmente le rendement du soudage en diminuant les défectuosités dues au mouillage, permet la réalisation de meilleures soudures, améliore l'aspect esthétique des modules et diminue la quantité de crasses de soudage et donc

d'effluents (Altpeter, 1993). De plus, il améliore la qualité et la géométrie des soudures (Lea, 1991).

Puisque le soudage à la vague en atmosphère contrôlée s'apparente au soudage traditionnel, les coûts de formation sont minimes (Altpeter, 1993).

Désavantages L'acide formique est corrosif et aucune donnée n'est disponible sur ses effets à long terme sur la santé. L'acide adipique est irritant pour les yeux, la peau et les voies respiratoires, et est allergène (Sørensen, 1993c).

Des équipements de contrôle des émissions atmosphériques sont nécessaires pour purger les gaz lorsqu'il y a soudage en atmosphère contrôlée (Lea, 1991).

Ce type de soudage augmente l'affaiblissement dû à la dérivation, bien que cet effet est souvent fonction du devis du module de circuits imprimés. L'affaiblissement dû à la dérivation est destiné à diminuer à mesure que des équipements plus sophistiqués seront développés (Altpeter, 1993).

9.4 MODIFICATION DES PROCÉDÉS DE PRODUCTION

La quantité et le type de nettoyage requis est fonction des technologies employées pour assembler les modules de circuits imprimés (Words and Publications, 1992).

Historiquement, les modules ont été assemblés par la technique du trou de passage, mais la technique de montage en surface gagne de plus en plus d'adeptes. Cette dernière technique permet l'installation d'un plus grand nombre de composants sur un module et exige moins de pièces de raccordement, entraînant une réduction de la taille du module et, par le fait même, de la quantité de nettoyant requis (Words and Publications, 1992).

9.5 CONCLUSION

Le secteur de l'électronique a surtout utilisé les solvants pour le nettoyage des modules de circuits imprimés. La substitution de presque tous les solvants utilisés à cette fin est maintenant terminée. Non seulement ce secteur constitue-t-il un cas d'espèce à cet effet, mais, de plus, la substitution a surtout été réalisée en modifiant les procédés et non en substituant un produit chimique pour un autre.

L'introduction des technologies dites «sans nettoyage» - recours aux flux hydrosolubles ou à faible teneur en solides, et soudage en atmosphère contrôlée -a permis l'élimination dans plusieurs cas de l'étape de nettoyage de modules qui était autrefois nécessaire. Dans les cas où le nettoyage s'avère toujours nécessaire, le recours aux flux hydrosolubles permet maintenant le nettoyage à l'eau ou aux nettoyants aqueux. Si toutefois les salissures laissées sur les modules résistent à ces nettoyants, il existe des nettoyants semi-aqueux qui semblent être des substituts efficaces pour les solvants.

CHAPITRE 10. LE DÉCAPAGE

10.1 INTRODUCTION

Le décapage peut être défini comme l'enlèvement d'un revêtement tout en laissant le substrat intact. Le décapant idéal possède les propriétés suivantes (Whittaker, 1991):

- efficacité contre plusieurs types de revêtement;
- efficacité aussi bien sur les nouveaux revêtements que sur ceux durcis à coeur;
- action rapide;
- faible coût;
- faible toxicité;
- sans odeur;
- non-inflammabilité.

En général, plus la vitesse d'évaporation du décapant est élevée, plus le produit est performant. Une faible tension superficielle facilite le mouillage des surfaces et le remplissage des pores. Les préparations visqueuses sont plus difficiles à récupérer et à recycler (Walsh, 1991).

Les décapants chimiques renferment habituellement 50 % de dichlorométhane et peuvent contenir jusqu'à 20 % de composés phénoliques (Ivey, 1990). Certaines préparations peuvent aussi contenir de l'acide formique (Carnes, 1991).

Le dichlorométhane est un excellent décapant qui pénètre rapidement la couche durcie d'une large gamme de revêtements, y compris les apprêts à base de résine époxy et les couches de finition à base de polyuréthane (Wolf, 1991).

Le dichlorométhane est largement utilisé dans divers procédés de fabrication impliquant des opérations de peinture pour le décapage du matériel d'application et des projections sur les parois et le sol des cabines ainsi que sur les supports et convoyeurs des pièces peintes (Wolf, 1991b).

Le dichlorométhane est ininflammable et ne contribue pas à la formation de smog photochimique, de sorte qu'il n'est pas classifié comme COV (Meade, 1991; Wolf, 1991). Par contre, sa vitesse d'évaporation élevée interdit les temps de contact prolongés (Meade, 1991).

Les principaux désavantages du décapage chimique traditionnel sont reliés à l'élimination des déchets dangereux générés, aux dangers d'explosion et aux dangers pour la santé (Mathur, 1991). Entre autres, la concentration de composés phénoliques ordinairement présents dans les décapants chimiques dépasse la capacité des installations de traitement des eaux usées, et les boues doivent être séchées et éliminées comme déchets dangereux (Ivey, 1990). D'autre part le dichlorométhane est une substance très volatile, présentant des propriétés toxiques d'irritation de la peau et des yeux lors du contact avec le liquide, ainsi que des effets

sur le système nerveux par inhalation. Il est considéré par l'ACGIH et le Règlement québécois sur la qualité du milieu de travail comme cancérogène soupçonné chez l'humain, ce qui entraîne une obligation de réduire l'exposition en milieu de travail au minimum (ACGIH, 1992; Gouvernement du Québec, 1994).

10.2 PRODUITS DE SUBSTITUTION

10.2.1 Produits caustiques

Description Les informations présentées sur ce genre de décapant proviennent d'un article sur la série de décapants commerciaux Peel Away^{MD} (Arndt, 1991). Les décapants caustiques ne sont pas recommandés pour le bois dur, le contreplaqué, l'aluminium et certains types de plâtre. Ils sont peu performants contre les revêtements à base de résine époxy, ou en polyuréthane, les finis cuits, et le latex sur le béton (Arndt, 1991).

Les préparations Peel Away^{MD} sont d'épaisses pâtes renfermant 7-8 % de substances caustiques ainsi qu'un agent complexant le plomb. Elles peuvent être appliquées en couches épaisses, facilitant le décapage de films épais de peinture en une étape, tout en s'infiltrant dans les sillons et crevasses profondes.

Le Peel Away^{MD} 1 est conçu pour le décapage de multiples couches de peinture sur le bois, la brique, le plâtre, les métaux, le béton, le stucco, la fonte, le marbre et la fibre de verre. Suite à son application, la pâte est recouverte d'une toile laminée fournie par le fabricant et servant à limiter l'évaporation du produit. Une fois toute la peinture émulsifiée, la toile est retirée en entraînant la pâte et la peinture qui y adhère.

Le Peel Away^{MD} St-1 est conçu pour le décapage de structures d'acier et adhère à toute surface irrégulière. L'alcalinité du décapant protège l'acier décapé contre la corrosion.

Avantages En raison de leur capacité à complexer le plomb, ces produits réduisent le volume des boues dangereuses nécessitant un traitement avant d'être évacuées dans l'environnement.

Désavantages L'alcalinité du produit fait en sorte que les opérateurs doivent porter des tenues de protection en chlorure de polyvinyle, des gants de protection, des équipements de protection oculaire, et lors du décapage des peintures plombifères, un demi-masque.

Coûts Les coûts varient selon la nature et l'épaisseur du revêtement et la nature du substrat. Une fourchette de 29,60-66,20 $US/m^2 a été rapportée dans la documentation.

10.2.2 Solvants aromatiques

Description Habituellement, ces décapants renferment 50-80 % d'hydrocarbures aromatiques, 5-30 % d'un cosolvant, des émulsifiants, des agents épaississants, et des agents antiodorants. Les cosolvants les plus courants sont la N-méthylpyrrolidone, l'alcool furfurylique, les éthers de glycol et leurs esters (Seifert, 1991).

Utilisation Ces décapants sont appliqués par jet à faible pression ou en les laissant couler sur la pièce. On les laisse agir pendant 5-10 minutes, suivi d'un rinçage à l'eau à haute pression (Seifert, 1991).

Désavantages Les dangers principaux de ces décapants sont leur points d'éclair relativement bas (40-68°C) et leur toxicité (Seifert, 1991).

Performance Les décapants à base de solvants aromatiques sont moins efficaces que le dichlorométhane, mais cette différence devient négligeable en pratique, compte tenu des temps de contact utilisés (Seifert, 1991).

Coûts Ces décapants sont 10-50 % plus coûteux que le dichlorométhane (Seifert, 1991).

10.2.3 N-méthylpyrrolidone (NMP)

Description La N-méthylpyrrolidone est un lactame qui se présente sous la forme d'un liquide incolore, hygroscopique et qui possède une légère odeur d'aminé. Elle est complètement soluble dans l'eau, les alcools, les éthers, les cétones, et les hydrocarbures aromatiques ou chlrorés. C'est un solvant pour de nombreux polymères. Les propriétés physiques suivantes indiquent que la NMP est un solvant peu volatil et modérément inflammable (Flick, 1991; INRS, 1986):

Point d'ébullition: 203° C à la pression atmosphérique
Point d'éclair: 95° C en coupelle ouverte
Tension de vapeur: 0,29 mm Hg à 20° C
Température d'auto-ignition: 270° C

La NMP n'est pas miscible avec les hydrocarbures aliphatiques de sorte que l'ajout d'un troisième solvant est nécessaire si l'on désire la mélanger à ces derniers (Sullivan, 1991).

La NMP possède une faible toxicité aiguë. Trochimowicz a effectué une revue sommaire de la toxicologie de cette substance (Trochimowicz, 1994). L'AIHA recommande de limiter l'exposition des travailleurs à une concentration moyenne pondérée sur 8 heures de 10 ppm (AIHA, 1994).

Avantages La N-méthylpyrrolidone est peu volatile. Certaines préparations commerciales sont ininflammables, biodégradables et non cancérogènes (Johnson, 1991b; Sullivan, 1991).

Désavantages Le temps de séchage des boues peut s'étendre sur plusieurs jours, à cause de la faible volatilité de la N-méthylpyrrolidone (Walsh, 1991; White, 1991 a).

Performance La NMP décape plus lentement que le dichlorométhane en raison de sa tension de vapeur et de sa tension superficielle inférieure (Walsh, 1991). La NMP est un décapant efficace par elle-même mais on lui ajoute un ou plusieurs diluants en raison de son coût élevé. En général, l'efficacité des préparations commerciales de NMP est fonction de la polarité et

de la volatilité du diluant utilisé. La performance de décapage est diminuée par les solvants polaires alors que les solvants non polaires améliorent son efficacité (Sullivan, 1991).

Des mélanges de N-méthylpyrrolidone et d'éthers de glycol ou de leurs acétates sont de bons décapants; les mélanges de N-méthylpyrrolidone et d'acétate de l'éther monométhylique de l'éthylène glycol sont moins coûteux mais aussi moins efficaces (Sullivan, 1991).

Les préparations de N-méthylpyrrolidone décapent efficacement (Walsh, 1991):

- les latex acryliques;
- les peintures époxy en aérosol;
- les émaux à base de polyuréthane;
- les finis brillants pour bois à base de polyuréthane;
- la peinture alkyde à base d'huile de suif.

Le Woodfinisher's Pride[MD] est un gel contenant de la N-méthylpyrrolidone et de la gamma-butyrolactone (Johnson, 1991 b). Il est efficace pour le décapage des laques, de la gomme-laque, des vernis, des peintures acryliques, des revêtements à base de polyuréthane, d'alkyde, de latex ou de résine époxy pour le bois, le verre et les métaux. Une application de 30 minutes suffit pour enlever plusieurs couches de revêtement. Son taux d'évaporation est 360 fois moindre que celui du dichlorométhane et il ne laisse aucun résidu cireux.

Les préparations de N-méthylpyrrolidone décapent les émaux en polyuréthane, les peintures époxy en aérosol, les alkydes, les latex acryliques et les polyuréthanes moins rapidement que ne le fait le dichlorométhane. Cependant, dans certains cas, le temps de décapage peut être réduit en abaissant la tension superficielle des mélanges (Walsh, 1991).

Coûts La N-méthylpyrrolidone et ses préparations sont plus coûteuses que le dichlorométhane. Néanmoins le décapage à la N-méthylpyrrolidone peut être économique parce que les quantités utilisées sont plus petites pour un travail équivalent (Sullivan, 1991; Walsh, 1991). Johnson a calculé que le Woodfinisher's Pride[MD] (voir ci-dessus) était plus économique de 27% par unité de surface que les décapants traditionnels (Johnson, 1991 b). Cependant, on peut calculer des coût supérieurs de 45 % dans le cas d'une autre préparation commerciale à base de N-méthylpyrrolidone (White, 1991a).

10.2.4 Esters de diacides

Description Les décapants de type esters de diacides, couramment appelés esters dibasiques (EDB), produits notamment par la société DuPont, sont des esters diméthyliques des acides adipique, glutarique et succinique. Ce sont des liquides peu coûteux, caractérisés par une faible toxicité et des points d'ébullition et d'éclair élevés.

Les esters dibasiques sont plus performants lorsque mélangés à d'autres solvants. Ainsi, des préparations tout usage renferment typiquement 70-80 % d'EDB et 20-30 % de N-méthylpyrrolidone.

Désavantages Les résultats d'expériences animales indiquent que les esters dibasiques pourraient agir en tant qu'irritants cutanés légers (Jackson, 1991).

Les préparations à base d'esters dibasiques sont difficiles à appliquer et exigent des temps de contact de plusieurs heures (Johnson, 1991b). À cause de leur faible volatilité, les boues générées peuvent prendre plusieurs jours pour sécher (White, 1991a).

Performance Jackson a évalué l'efficacité avec laquelle une préparation commerciale d'esters dibasiques a décapé les revêtements durcis suivants sur du pin (Jackson, 1991):

- émaux latex extérieurs;
- émaux alkydes extérieurs;
- laques;
- vinyl-acryliques intérieurs;
- peintures à base de résine époxy;
- vernis polyuréthanes;
- peintures marines;
- vernis marins.

En général, la préparation à base d'esters dibasiques était aussi performante que les décapants au dichlorométhane, mais a agi 50 % plus lentement.

Coûts Les coûts de décapage des essais de Jackson (Jackson, 1991} cités ci-dessus étaient de 0,43 $US/$m^2$. Puisque la superficie décapée n'est pas précisée dans l'article de White (White, 1991 a), il n'est pas possible de calculer un coût unitaire de décapage. Cependant, sur la foi des renseignements indiqués sur les coûts des produits par gallon et des volumes utilisés, l'on peut estimer ceux-ci à 2,58 fois le coût du décapage au dichlorométhane.

10.2.5 Autres solvants

Plusieurs solvants sont utilisés concurremment avec les produits mentionnés plus haut comme cosolvants ou diluants dans certaines préparations commerciales. C'est le cas notamment de la gamma-butyrolactone (Sullivan, 1991). Ce solvant est peu volatil (tension de vapeur: 150 Pa @ 20° C) et modérément inflammable (point d'éclair: 98° C). Il est soluble en toute proportion dans l'eau, l'éthanol, l'éther éthylique, l'acétone et le benzène mais partiellement soluble dans l'huile de soya. Le lecteur est référé à la monographie de BG Chemie pour une description des propriétés toxicologiques de cette substance (Anonyme, 1990c).

Le carbonate de propylène est aussi utilisé aux mêmes fins (Sullivan, 1991). C'est un ester cyclique très peu volatil (tension de vapeur: 4 Pa (0,03 mm Hg) @ 20° C) et peu inflammable (point d'éclair: 135°C). Il est soluble dans l'eau, l'éthanol et l'éther éthylique. Il n'existe que peu de données sur ses propriétés toxicologiques (Bisesi, 1994).

10.3 PROCEDES DE SUBSTITUTION

10.3.1 Projection d'abrasifs

10.3.1.1 Généralités

Les abrasifs utilisés pour le décapage peuvent être projetés sous forme sèche (billes de plastique, amidon de blé) ou mouillée (bicarbonate de sodium, eau à haute pression) (Wolf, 1991 b). A quelques exceptions près (le dioxyde de carbone étant peut-être le contre-exemple par excellence), les matériaux utilisés sont tous portés à s'incruster. Ce phénomène peut entraîner le masquage complet des fissures, même à l'inspection au liquide fluorescent pénétrant (Larson, 1990). Le masquage est particulièrement problématique lorsque les abrasifs ne sont pas hydrosolubles, donc résistants au nettoyage à l'eau (Larson, 1990).

L'abrasion manuelle ou à la machine des revêtements autour des têtes de rivets entraîne le réchauffement par friction, et provoque des rainures et des petites ruptures. De plus, elle diminue la protection contre la corrosion et enlève du métal du revêtement métallique et des têtes de rivets (Carnes, 1991). La corrosion sous tension, filiforme, galvanique et intergranulaire peut aussi survenir (Carnes, 1991). Le recours au décapage par jet d'abrasif n'élimine pas complètement la production de déchets dangereux, puisque l'aéronef doit toujours être lavé avant d'être décapé (Ivey, 1990).

10.3.1.2 Plastique

Description Les systèmes de projection de matière plastique sont utilisés aux États-Unis depuis 1984 (Carnes, 1991). Les matériaux employés comprennent les résines acryliques, de mélamine-formol ainsi que les polyesters (Ivey, 1990). Des systèmes de classification ont été établis à l'intérieur desquels les matériaux sont regroupés en fonction de leur dureté et leur capacité à endommager divers substrats (Larson, 1990). Puisque les abrasifs mous nécessitent des temps de contact plus longs, ils peuvent, pour un niveau de décapage donné, endommager les substrats aussi bien que les abrasifs durs (Larson, 1990).

Très répandu dans le secteur de l'entretien (Wolf, 1991b), ce type de décapage est aussi utilisé pour le décapage de (Konopka, 1991):

- robinets en laiton;
- cadres en zinc de miroirs automobiles moulés en coquille;
- boîtiers de chaufferettes en acier mince;
- lentilles de verre des phares automobiles.

À cause de son pouvoir érosif élevé, ce type de décapage n'est pas recommandé pour les composites, exception faite de ceux en graphite ou en résine époxy stratifiée à la fibre de bore (Larson, 1990). La projection de plastique décape efficacement les

revêtements appliqués par électrodéposition ou en poudre ainsi que les revêtements résistant aux produits chimiques sur les véhicules militaires (Konopka, 1991).

Systèmes de projection automatisés Des systèmes de projection automatisé de plastique ont été mis au point pour le décapage d'avions. Ces systèmes exigent des équipements de qualité aérospatiale et utilisent du plastique de Type II (classification des forces armées des États-Unis). Ils s'avèrent efficaces pour le décapage de revêtements métalliques ou de composites aussi minces que 3 et 4 mm respectivement (Carnes, 1991).

La très grande majorité des particules (90 % des particules de plastique et 99 % de la poussière et des écailles de peinture) sont captées au point de décapage. Pour être économiques, ces systèmes doivent comprendre un appareil de recyclage du plastique. Ces appareils récupèrent le plastique sans ramasser la poussière ou les écailles de peinture. Les séparateurs utilisés enlèvent toutes les particules plus denses que 1,5 g/cm^3, soit 99,98 % de toutes les particules (Carnes, 1991).

Systèmes de projection à froid Les pièces sont gelées à l'aide d'azote liquide, afin de rendre les revêtements plus cassants, puis décapées par projection de grains de polycarbonate. Les grains sont récupérés et recyclés alors que l'azote gazeux épuré est évacué à l'air extérieur (Mathur, 1991).

Ces systèmes sont utilisés, entre autres, pour le nettoyage des équipements sur des chaînes de production utilisant des peintures alkydes, acryliques, polyesters et vinyliques, ainsi que des laques. Ils sont cependant peu performants contre les revêtements à base de résine époxy ou de polyuréthane (Mathur, 1991).

Mode d'utilisation Le plus souvent, la projection de plastique se fait manuellement dans des cabines ou en aire ouverte (Konopka, 1991). La pression varie de 140 à 410 kPa (Konopka, 1991).

Avantages Les avantages sont multiples (Konopka, 1991):

- l'abrasif est facilement récupérable et réutilisable;
- il y a réduction de problèmes de santé, de sécurité, et environnementaux;
- il y a diminution du volume de déchets et des coûts d'élimination;
- l'abrasif ne s'imbrique pas dans la plupart des substrats;
- l'abrasif n'endommage pas les revêtements anodisés, galvanisés, ou plaqués;
- le décapage des composites est plus rapide et plus sécuritaire;
- il n'y a aucun risque de fragilisation;
- le procédé ne produit pas de piqûres sur les métaux tels que le zinc moulé en coquille, le magnésium, l'aluminium et le laiton coulé;

- le procédé est souvent plus rapide que le décapage chimique traditionnel;
- il n'y a aucune rétention capillaire;
- le procédé peut éliminer la nécessité de désassembler les pièces;
- il y a diminution des coûts associés à l'entretien des équipements comparativement à la projection d'abrasifs plus durs;
- le procédé ne modifie pas la tolérance sur les pièces délicates;
- le procédé ne corrode pas les pièces décapées.

Le plastique récupéré et recyclé est propre et sans danger, et ne constitue pas un déchet dangereux. Il peut être éliminé par incinération dans des fours, y compris les fours à ciment, laissant un peu de noir de carbone comme seul résidu (Carnes, 1991)

Les systèmes de projection à froid possèdent les avantages supplémentaires suivants (Mathur, 1991):

- absence d'effluents gazeux dangereux;
- absence de dangers d'explosion ou d'incendie;
- élimination du nettoyage des pièces suivant le décapage.

Désavantages Les plastiques utilisés peuvent être suffisamment durs pour endommager certains substrats et il est même possible d'endommager des avions si les conditions d'opération ne sont pas convenablement réglées (Carnes, 1991; Wolf, 1991 b). Le plastique «vierge» (neuf, non recyclé) est plus mou que les rebuts de plastique mais il est aussi plus coûteux et se dégrade souvent plus rapidement (Carnes, 1991). Les particules de plastique ont tendance à s'infiltrer dans les jonctions et joints d'étanchéité des revêtements d'avions (Ivey, 1990). Ce phénomène peut être évité par le masquage des endroits sensibles, mais cette étape nécessite l'emploi de beaucoup de main-d'oeuvre (Ivey, 1990).

Bien qu'il diminue la quantité de déchets dangereux générée, ce type de décapage ne les élimine pas complètement. Par exemple, le décapage d'un avion F-15 génère 680 à 1 360 kg de déchets dangereux solides (Ivey, 1990). En plus de ces déchets, le procédé génère une quantité importante de rebuts de plastique, à cause de la désintégration des granules de plastiques en particules trop fines pour être recyclées (Ivey, 1990; Wolf, 1991b).

L'utilisation des équipements nécessaires au contrôle de l'exposition des employés aux poussières générées par le procédé peut entraîner des coûts d'immobilisation importants (Wolf, 1991 b).

La projection à froid entraîne quelques dangers spécifiques (Mathur, 1991):

- déficience en oxygène suite à l'évacuation de l'azote;
- exposition au froid à cause de la manipulation de pièces froides pendant le déchargement de la cuve de projection. Le port de gants est

recommandé. Habituellement, les pièces peuvent être manipulées avec les mains nues après cinq minutes.

Performance La vitesse de décapage est fonction de la résistance de la peinture, de la pression d'application, de l'angle d'application, de la taille des particules et de la distance de la surface (Konopka, 1991). La performance des systèmes dépend beaucoup de l'habileté des opérateurs (Carnes, 1991). Le Tableau 10. 1 présente des paramètres opérationnels représentatifs.

Tableau 10. 1

Paramètres opérationnels de la projection de plastique

Type de plastique[1]	**Vitesse de décapage[2] (cm^2/min)**		**Consommation de plastique**	
	Fourchette	Valeur type	g/cm_2	g/min
I	46,4-260	139	0, 59-3,22	27,2-839
II	278-1 390	929	0,12-0,29	36,3-408
III	557-1 670	1 160	0,17-0,32	95,2-540
IV	465-1 210	836	0,17-0,29	81,6-354
V	139-697	465	0,10-0,15	13,6-104
VI	232-929	697	0,20-0,44	45,3-408

[1]MIL Spec P-85891A
[2]Buse de 0, 625 cm
adapté de (Konopka, 1991)

À titre d'exemple, des systèmes automatisés consomment 113-129 kg/min et peuvent atteindre des vitesses de 1,33 à 2,00 m^2/min, en fonction de l'épaisseur du revêtement. Une diminution du temps de décapage d'un avion de 87 % par rapport au procédés traditionnels a été rapportée, cette diminution atteignant 99 % lorsque la projection se fait à l'aide d'une turbine (Carnes, 1991).

Les systèmes de projection à froid ne décapent que des revêtements dont l'épaisseur se situe entre 0,025 et 12 mm. Le taux de consommation de l'abrasif est de 178 kg pour une période de 5 à 15 minutes (Mathur, 1991).

Coûts Les systèmes de projection à froid sont particulièrement économiques dans les situations suivantes (Mathur, 1991):

- grand volume de production;
- coûts élevés associés à l'élimination des déchets;
- les pièces peuvent être endommagées par la chaleur ou les produits chimiques.

Carnes rapporte que l'implantation d'un système de projection automatisé aurait engendré des coûts d'immobilisation de 6,8M $US. L'abrasif coûte entre 3,26 et 3,53 $US/kg (Carnes, 1991). La marine américaine a estimé que le recours à la projection manuelle de plastique a réduit les coûts associés au décapage des avions de 48 % (Konopka, 1991).

10.3.1.3 Amidon de blé

Description Le matériau projeté ici est une forme d'amidon de blé traité pour le rendre cristallin (Larson, 1990; Lenz, 1991). La granulométrie du matériau conditionne en partie son efficacité: les préparations dont le diamètre est relativement grand sont plus efficaces pour le décapage des revêtements d'élastomères, tandis que les préparations de petit diamètre sont mieux adaptées au décapage de revêtements cassants tels que les apprêts à base de résine époxy et les couches de finition (Larson, 1990).

Ce type de décapage laisse un fini acceptable sur la plupart des métaux et composites, et s'avère particulièrement efficace sur les métaux et les composites mous (Larson, 1990; Lenz, 1991). Le seul dommage observé sur une feuille d'aluminium de 5 mm d'épaisseur était une légère déformation de la surface plaquée (Larson, 1990). Voici quelques exemples d'applications de la projection d'amidon incluant le décapage mais ne s'y limitant pas (Lenz, 1991):

- nettoyage des équipements;
- ébarbage dans le secteur électronique;
- décapage des pièces délicates en aluminium ou magnésium, lorsqu'il faut éviter la gravure des surfaces;
- nettoyage des moteurs où l'on doit éliminer tout abrasif solide avant de remettre les moteurs en service;
- préparation de surface des pièces métalliques ou en composite;
- ébavurage des métaux et nettoyage de moules.

Dans le secteur aérospatial l'amidon est utilisé pour le décapage de revêtements sur divers substrats: composites à base de fibre de verre ou de graphite, aluminium plaqué ou anodisé ainsi que panneaux muraux d'intérieurs d'aéronefs.

Les grains d'amidon commencent à se briser à une pression d'application d'environ 200-300 kPa (Larson, 1990; Lenz, 1991). Même à 300 kPa, le taux de dégradation n'est que de 5 %, permettant la réutilisation du matériau sur des périodes prolongées (Lenz, 1991). En fait, le morcellement de l'abrasif s'avère bénéfique, puisque ce processus rend l'amidon plus efficace, en raison de l'augmentation du nombre d'arêtes vives par unité de poids (Larson, 1990). Cependant, pour le décapage du Kevlar^{MD}, l'amidon vierge permet un meilleur contrôle (Larson, 1990).

La désintégration de l'amidon entraîne la génération d'un aérosol opaque de poussière qui doit être soumis à l'action d'un cyclone ou d'un autre appareil de séparation de poussières (Larson, 1990; Lenz, 1991). Le taux de génération de poussière est fonction des pressions d'application et des taux de décapage (Lenz, 1991).
Selon Larson, il est peu probable qu'un danger d'explosion de poussière surgisse à l'occasion du décapage par projection d'amidon, puisque la structure de l'amidon cristallin diffère de celle du polymère à l'état naturel. Les aérosols d'amidon cristallin de 0,06 à 1,7 mm de diamètre ne seraient pas explosifs (Larson, 1990).

On recommande d'éliminer les poussières contaminées par des substances toxiques par incinération dans un four à ciment.

Utilisation La projection peut se faire avec des appareils à pression directe dans de petites cabines ou encore dans de grandes salles. Les appareils commerciaux de projection utilisés pour la projection de plastique peuvent aussi servir pour l'amidon. Dans tous les cas, il faut assurer une source d'air propre et sec (Lenz, 1991).

Avantages L'amidon de blé est non explosif et inodore. C'est une ressource renouvelable (Lenz, 1991).

Désavantages L'efficacité du procédé dépend de la siccité du matériau - lorsque ce dernier est mouillé, il perd tout son pouvoir abrasif (Carnes, 1991). Le décapage de revêtements contenant des substances toxiques nécessite la mise en place de mesures de protection des travailleurs en raison des poussières générées ainsi que de méthodes appropriées d'élimination des déchets (Lenz, 1991).

Performance La projection d'amidon peut décaper le polyuréthane à des taux de 230-920 cm^2/min dans des cabines manuelles et jusqu'à 2 320 cm^2/min dans de grandes installations (Lenz, 1991).

Les taux de décapage sont de 40-60 % plus lents que ceux offerts par la projection de plastique de Type II (Carnes, 1991).

Coûts L'amidon coûte 5,00 $US par kilogramme (Carnes, 1991). Le coût estimé pour le décapage complet d'un avion en aluminium enduit d'une peinture à base de résine époxy ou de polyuréthane est de 20,13 $US/$m^2$ (Lenz, 1991).

10.3.1.4 Bicarbonate de sodium

Description Il existe plusieurs systèmes commerciaux de décapage par projection de bicarbonate de sodium. Les systèmes Accustrip^{MD} et Enviraclean^{MD}, par exemple, utilisent de la projection humide à basse pression avec l'abrasif Armex^{MD}, une préparation de bicarbonate de sodium dont la granulométrie est rigoureusement contrôlée (Anonyme, 1992c; McDonald, 1991).

L'abrasif Armex[MD] est très efficace pour le décapage de minces couches d'oxydes métalliques ainsi que toute la gamme des peintures, en passant des acryliques aux polyamides jusqu'aux revêtements en poudre. Il est très efficace sur le plastique, les composites et autres substrats sensibles et décape aussi bien des substrats métalliques minces que des produits moulés à paroi épaisse (Carnes, 1991; Larson, 1990; McDonald, 1991).

Cette technologie est utilisée dans plusieurs secteurs dont l'aérospatial, l'entretien industriel et la fabrication de machines. On l'emploie pour le décapage général ainsi que pour les substrats suivants (Anonyme, 1992c; McDonald, 1991):

- aluminium et composites de qualité aérospatiale;
- plastiques automobiles;
- tuiles industrielles;
- verrerie de qualité instrumentale;
- revêtements de ponts de bateaux.

Le bicarbonate de sodium est aussi très utile pour le décapage des pièces avant les essais non destructifs, puisqu'il facilite la visualisation de fissures très fines sans avoir besoin de récurer le substrat (Anonyme, 1992c).

La peinture, les graisses, les huiles et les salissures semblables sont insolubles dans l'Armex[MD] et peuvent alors en être facilement séparés (McDonald, 1991). La solubilité de l'Armex[MD] dans l'eau à la température ambiante est d'environ 10 % (McDonald, 1991).

Mode d'utilisation Le système Accustrip[MD] peut être installé en poste fixe ou mobile. La pression à la buse est réglée en fonction du type de substrat et de l'épaisseur du revêtement, mais se situe habituellement entre 210-410 kPa, avec un débit d'eau inférieur à 1,9 l/min (McDonald, 1991).

Avantages L'Armex[MD] est hydrosoluble, non toxique, ininflammable, non explosif et ne génère pas d'étincelles (Anonyme, 1992c; McDonald, 1991). D'autre part, il est une bonne source d'alcalinité, qualité recherchée dans les effluents aqueux, et entraîne une diminution du volume de déchets (McDonald, 1991).

Puisque l'Armex[MD] est plus mou que la plupart des substrats métalliques, il est souvent possible d'éliminer l'étape de masquage, réduisant ainsi les coûts associés à la préparation et à la décontamination (McDonald, 1991). Cependant le caractère hygroscopique du bicarbonate de sodium fait en sorte qu'une étape de rinçage est presque obligatoire après le décapage (voir ci-dessous), réduisant sensiblement l'avantage de l'élimination du masquage.

Désavantages L'Armex^{MD} ne peut pas être recyclé (Larson, 1990; McDonald, 1991).

Sur un avion déjà peint le bicarbonate de sodium résiduel peut se transformer en soude caustique à la chaleur sur le tarmac et ainsi corroder le substrat métallique (Carnes, 1991). Même en absence de cette transformation, le bicarbonate de sodium peut, de par ses propriétés hygroscopiques, favoriser la corrosion du substrat, entraîner la fragilisation par l'hydrogène et promouvoir la propagation de fissures; ceci est particulièrement problématique lorsque l'on travaille avec l'aluminium (Carnes, 1991; Larson, 1990). Une étape de rinçage poussée est alors souvent obligatoire (Larson, 1990). Certains auteurs prétendent qu'un rinçage à raison d'au moins 410 l/m^2 est nécessaire pour enlever le bicarbonate de sodium résiduel (Carnes, 1991). Le rinçage à l'acide est encore plus efficace que le rinçage à l'eau, mais est peu pratique pour les structures ou pièces importantes (Larson, 1990). De plus, les effluents acides doivent être traités avant d'être relâchés dans l'environnement, entraînant des coûts supplémentaires (Larson, 1990; McDonald, 1991).

Il semble malheureusement impossible d'empêcher complètement l'infiltration du bicarbonate de sodium dans les pièces ou véhicules à décaper (Carnes, 1991).

Performance Le décapage par projection de bicarbonate de sodium ne provoque aucun dommage visible des substrats en alliage d'acier, d'aluminium ou d'autres matériaux structuraux, à l'exception des substrats en aluminium plaqué. Sur ces derniers, l'on peut observer du bossellement, bien qu'à un moindre degré qu'avec d'autres techniques de décapage (McDonald, 1991).

On a rapporté un taux de décapage de 1 240 cm^2/min pour un revêtement binaire à base de résine époxy d'une épaisseur de 0,25 mm sur un substrat en acier et de 465 cm^2/min pour des revêtements de peintures en poudre d'une épaisseur de plus de 0,51 mm (McDonald, 1991). Un système de peinture appliqué sur de l'aluminium de qualité aérospatiale et comprenant une couche de finition de polyuréthane et un apprêt à base de résine époxy, d'une épaisseur totale de 0,10-0,15 mm, a été décapé à un taux de 1 860cm^2/min (McDonald, 1991).

Le décapage de plusieurs couches de peinture sur un avion (superficie de 500 m^2) à l'aide d'un système à base d'Armex^{MD} muni d'une buse de 12,5 mm de diamètre et opérant à une pression moyenne à la buse de 310-480 kPa a pris 200 heures (Anonyme, 1992c). Le taux de décapage était de 1-6 m^2/h pour cette surface.

Coûts Dans le secteur aérospatial, le décapage par projection de bicarbonate de sodium est plus dispendieux que le décapage par projection de plastique (Carnes, 1991). Le coût global (main d'oeuvre, matériaux, appareils, énergie et élimination des déchets) pour le décapage d'un avion au complet avec le système Accustrip^{MD}/Armex^{MD} a été estimé à 37,78 $US/m^2 (McDonald, 1991). Une qualité moins coûteuse d'Armex^{MD} pourrait être utilisée dans d'autres contextes, réduisant ainsi le coût à 16,15 $US/m^2, tandis que le bicarbonate de sodium de qualité ordinaire coûte approximativement 5,38

$US/m^2 (Larson, 1990; McDonald, 1991).

10.3.1.5 Dioxyde de carbone

Description Des grains de dioxyde de carbone d'un diamètre maximal d'un peu plus de 6 mm à des températures de -43 à -70°C sont projetés sur la surface à être décapée sous une pression supérieure à 1 400 kPa (Carnes, 1991; Ivey, 1990; Stratford, 1991). Suite à l'impact, le dioxyde de carbone se sublime, laissant simplement les résidus de peinture (Ivey, 1990).

Le mécanisme d'action du dioxyde de carbone diffère de celui des autres matériaux discutés dans cette section. Alors que ces derniers agissent par cisèlement en coupant le revêtement et en endommageant parfois le substrat, le dioxyde de carbone exerce plutôt un effet d'impact-lavage (Stratford, 1991). Lors de l'impact, les grains de dioxyde de carbone produisent des fissures à la surface et en dessous de la surface du revêtement; à mesure que les grains se désintègrent, un faisceau de particules exerce un effet de soulèvement et de cisaillement (Stratford, 1991). Malgré les affirmations de certains auteurs (Carnes, 1991; Ivey, 1990), il appert que le choc thermique n'est pas un facteur important dans la plupart des cas (Stratford, 1991). L'effet du choc thermique répété sur la structure cristalline des substrats, notamment les revêtements métalliques d'avions, est toutefois inconnu (Carnes, 1991).

Le dioxyde de carbone est très efficace pour le nettoyage de l'huile, des graisses et des empreintes digitales (Stratford, 1991). Il peut être utilisé comme décapant pour une large gamme de substrats, bien qu'il soit contre-indiqué pour le décapage de couches épaisses de peinture sur les revêtement d'avions en aluminium mince. En effet, les alliages d'aluminium de moins de 0,81 mm d'épaisseur peuvent être déformés (Carnes, 1991; Ivey, 1990; Schmitz, 1990; Schmitz, 1991). Larson a rapporté des cas où l'aluminium de 5 mm d'épaisseur a été bosselé par le décapage au dioxyde de carbone (Larson, 1990). Celui-ci ne décape que partiellement l'aluminium plaqué (Ivey, 1990) et endommage les substrats tissés, les composites thermodurcis et les fibres en aramide, à moins qu'une attention particulière ne soit portée au temps de contact et à la distance de projection (Carnes, 1991; Schmitz, 1990; Schmitz, 1991).

La littérature technique (Stratford, 1991) rapporte l'emploi du dioxyde de carbone pour le décapage de:

- moules;
- fours;
- convoyeurs;
- presses à extrusion;
- presses;
- sous-systèmes électriques;
- béton à haute densité revêtu de peinture radioactive;
- citernes d'eau revêtues de peintures à base de résine époxy et de brai

de goudron de houille;
- revêtements multicouches à l'alkyde industriel;
- soudures des cuves à haute pression dans l'industrie chimique.

La projection de dioxyde de carbone satisfait ou dépasse les normes suivantes du «Steel Structures Painting Council» (SSPC, Conseil sur la peinture des structures en acier) (Stratford, 1991):

- SP-1 (nettoyage aux solvants)
- SP-2 (nettoyage avec des outils manuels)
- SP-3 (nettoyage avec des outils à moteurs)
- SP-6 (grenaillage commercial, sauf pour l'acier neuf, puisque la projection de dioxyde de carbone n'enlève pas les scories de laminoir)
- SP-7 (grenaillage léger)

Les normes du SSPC sont établies pour indiquer la qualité minimale requise de la préparation d'une surface d'acier devant être peinte.

Mode d'utilisation Les grains peuvent être projetés à des vitesses subsoniques, soniques ou supersoniques (Ivey, 1990). Dans la plupart des cas, il n'y a aucun avantage à refroidir la surface à décaper; les revêtements en paraffines, les agents de démoulage ou les scellants peuvent cependant bénéficier d'un refroidissement (Stratford, 1991). Dans le cas du décapage des peintures à base de résine époxy et de brai de goudron de houille, le refroidissement peut même entraîner une diminution du taux de décapage de 20 % comparativement au taux observé à la température ambiante (Stratford, 1991).

Les buses de projection et les boyaux pèsent approximativement 9 kg; lorsque l'on décape une structure par en dessous, la poussée de projection ajoute 4,5 kg supplémentaires. À cause de cette contrainte ergonomique, les équipes de projection alternent aux 15 minutes (Ivey, 1990).

L'angle optimal d'application est de 75-90° (Stratford, 1991).

Avantages Cette méthode ne nécessite pas de lavage ou de traitement préalable des surfaces car son efficacité n'est pas fonction de leur propreté (Ivey, 1990; Larson, 1990; Schmitz, 1990; Schmitz, 1991). Puisqu'il n'y a aucune infiltration de matériau, il n'y a presque jamais besoin de masquer ou de désassembler les structures avant le décapage, ni de les laver par après (Ivey, 1990; Schmitz, 1990; Schmitz, 1991; Stratford, 1991). Seules les pièces délicates peuvent exiger un masquage (Ivey, 1990).

La projection de dioxyde de carbone ne modifie pas la surface des pièces usinées à haute précision (Stratford, 1991).

Le nettoyage postdécapage est très simple, se limitant essentiellement aux résidus de peinture (Schmitz, 1991; Stratford, 1991). Schmitz signale un cas où la quantité de déchets dangereux générée a été réduite de 96 % comparativement au décapage chimique, alors que les coûts de main-d'oeuvre associés au nettoyage ont été réduits de 50 % (Schmitz, 1991).

Désavantages Le dioxyde de carbone est plus lourd que l'air et déplace l'oxygène; cela peut être particulièrement problématique lorsque le décapage se fait par en dessous (Stratford, 1991).

En raison des contraintes ergonomiques, les équipes doivent alterner aux 15 minutes, ce qui implique l'allocation de deux personnes par buse (Ivey, 1990). Ces contraintes peuvent réduire de deux-tiers le taux de décapage théorique (Ivey, 1990).

Les niveaux de bruit engendrés par la projection à haute pression peuvent varier de 105 à 120 dbA (Stratford, 1991).

Puisque les grains de dioxyde de carbone se désintègrent à l'impact, ils ne peuvent donc pas rebondir et nettoyer les surfaces cachées des structures complexes (Stratford, 1991).

Performance Des taux de décapage de 93 à 930 cm^2/min ont été rapportés, les taux les plus faibles étant observés avec les substrats en aluminium plaqué (Ivey, 1990; Schmitz, 1991). Un taux de 465 cm^2/min a été rapporté pour le décapage de revêtements d'avion en aluminium plaqué ou en composites thermodurcis (Schmitz, 1990).

Stratford (Stratford, 1991)a étudié l'efficacité avec laquelle le dioxyde de carbone a décapé divers revêtements d'une épaisseur de 0,11 mm sur une surface préparée selon la norme SP-10 de la SSPC (grenaillage pour obtenir un métal presque blanc). Les taux de décapage observés s'étendaient de moins de 300 cm^2/min à plus de 3 000 cm^2/min, les peintures à base de résine époxy étant les plus résistantes.

Coûts L'appareillage de base coûte 100 000 $US et est plus dispendieux que celui requis pour la projection de plastique (Carnes, 1991; Stratford, 1991). Par contre, le coût opérationnel est de \$53,82 \$US/m^2 comparativement à 204,50 $US pour le décapage chimique (Schmitz, 1991). Dans certains cas, ce procédé peut entraîner une réduction de 50 % des heures allouées à l'entretien (Schmitz, 1990).

10.3.1.6 Eau à haute pression

Description Le décapage par jet d'eau à haute pression est utilisé surtout dans le secteur de la fabrication du matériel de transports. On le trouve donc chez Lufthansa, General Motors, et dans des chantiers maritimes et constructeurs d'automobiles coréens (Hirsch, 1991; Scharwat, 1991). Plus le revêtement à décaper est dur, plus

cette méthode s'avère efficace (Hirsch, 1991). Il est possible de décaper des revêtements aussi minces que 0,1 mm, et l'application d'un agent gonflant tel que l'alcool benzylique permet également le décapage de la couche d'apprêt dans certains cas (Scharwat, 1991).

Les revêtements céramiques, à base de résine époxy, aux polyuréthanes, certains revêtements en poudre, les laques et le caoutchouc dur peuvent être décapés par cette méthode. Un jet d'eau à basse pression et haut volume s'avère plus efficace pour les revêtements mous, collants ou gélatineux (Hirsch, 1991).

La projection d'eau à haute pression décape bien sur l'acier et sur d'autres métaux semblables mais n'est pas recommandée sur le bois, le plastique ou les composites. Il est possible d'employer cette méthode pour le décapage sur l'aluminium, mais à cause du dommage possible du substrat, il faut porter une attention particulière aux paramètres opérationnels tels que la pression, la distance de projection et le temps de contact (Hirsch, 1991).

Voici des exemples de l'application de cette méthode (Hirsch, 1991):

- le décapage des couches de peintures à base de polyuréthane accumulées sur les convoyeurs d'automobiles dans les chaînes de montage;
- le décapage de peintures à base de polyuréthane ou de résine époxy sur la coque des navires;
- l'enlèvement de la peinture et des couches minces de béton contaminé dans les centrales nucléaires;
- le décapage de revêtements en caoutchouc dur sur les réservoirs et les rouleaux métalliques;
- le décapage de revêtements céramiques et de couches d'apprêt sur des composants de moteurs à réaction.

Mode d'utilisation Ce type de décapage nécessite des installations de purification et de filtration d'eau, et, dans des les avionneries, un système sophistiqué de contrôle robotique (Carnes, 1991). Que l'application soit manuelle ou automatisée, il est important de bien contrôler l'angle d'attaque et le temps de contact (Carnes, 1991). La pression d'application varie de 50 000 à 380 000 kPa, en fonction du type d'application: le décapage manuel d'avions se fait à une pression de 50 000 à 240 000 kPa, mais dans des installations robotisées la pression peut atteindre 380 000 kPa (Carnes, 1991; Hirsch, 1991; Scharwat, 1991; Schmitz, 1990).

Avantages La projection à haute pression produit une quantité relativement réduite d'effluents aqueux et de déchets dangereux. Elle est peu énergivore et permet une séparation facile des déchets (Hirsch, 1991).

Désavantages Il s'agit d'un procédé bruyant. Le traitement des eaux usées peut être problématique et dépend de la nature et de la solubilité aqueuse des revêtements

décapés (Carnes, 1991).

Performance Les taux de décapage suivants ont été observés pour une application de 10,6 l/min à une pression de 240 000 kPa (Hirsch, 1991):

Peinture à base de polyuréthane sur acier (0, 13-0, 25 mm)	1 550-3 100cm^2/min
Peinture à base de polyuréthane sur acier (0, 38-0, 51 mm)	465 - 1 550 cm^2/min
Arcor^{MD} S30 sur acier (1, 27-6, 35 mm)	1 860cm^2/min
Peinture commerciale sur béton	775 - 1 240 cm^2/min

Coûts Hirsch *a* produit l'estimation suivante des coûts associés à ce type de décapage (Hirsch, 1991):

	Immobilisation ($US)	Opération ($US/h)
Pompe:	76500	4-5
Boyau:	1 325	2
Lance:	7 800	2

10. 3. 1. 7 Eau-glace

Description Ce procédé a été conçu par la marine canadienne pour le décapage de revêtements intérieurs de sous-marins. La glace est broyée puis triée et enfin projetée à des pressions de 480-960 kPa sur les surfaces à décaper (Carnes, 1991; Larson, 1990). Le décapage se fait par fragmentation et non par abrasion. Les grosses particules de glace amorcent la fragmentation, tandis que les petites agrandissent les fissures existantes (Visaisouk, 1991).

Les mélanges eau-glace n'endommagent pas le verre, la fibre de verre, les plastiques, l'aluminium (même mince), les composites ou le caoutchouc (Larson, 1990; Visaisouk, 1991). Dans certains cas, il est possible de ne décaper que la couche de finition, en laissant l'apprêt intact (Visaisouk, 1991).

Mode d'utilisation La projection des mélanges eau-glace exige une machine à glace, un module central, un compresseur d'air, une unité de réfrigération, et une buse. Le module central intègre le fonctionnement de la machine à glace, le compresseur et l'unité de réfrigération. Pour des installations fixes, il faut assurer une production de 90-180 kg/heure/buse. Des compresseurs d'air habituels suffisent pour ce procédé. Des revêtements d'émail (alkyde) peuvent être décapés à une pression de 480 kPa tandis que ceux à base de polyuréthane nécessitent une pression de 860 kPa (Visaisouk, 1991).

Avantages La séparation des déchets est facilitée par la fonte de la glace en eau, ce qui minimise le volume de déchets (Larson, 1990; Visaisouk, 1991). Aucun prélavage n'est requis (Larson, 1990).

Désavantages Le traitement des eaux usées peut être problématique. Cela dépend de la nature et de la solubilité aqueuse des revêtements décapés (Carnes, 1991).

La pression d'application est limitée par la fragmentation de la glace sous la pression (Visaisouk, 1991).

Performance Le décapage par projection de mélanges eau-glace est relativement lent; les taux de décapage suivants ont été rapportés (Carnes, 1991):

Revêtement	Taux (cm^2/min)
Polyuréthanes	1 240 - 1 550
Alkydes, émaux	3 100
Peintures époxy	770 - 2 300

En général, ce procédé consomme approximativement 80 kg de glace par heure (Visaisouk, 1991).

Coûts Les coûts de matériaux sont très faibles, puisque la glace est fabriquée à partir de l'eau. D'après Visaisouk, les coûts d'immobilisation associés à ce type de décapage seraient de 650 000 $ (Visaisouk, 1991).

10.3.2 Méthodes physiques

10.3.2.1 Décapage à la chaleur

Description Dans le décapage à la chaleur, les surfaces à décaper sont soumises à une énergie lumineuse intense qui vaporise le revêtement une couche à la fois (Carnes, 1991; Trippe, 1991). Le plus souvent, la source de chaleur est une lampe au xénon. Ce procédé n'endommage pas les substrats métalliques, mais enlève les composites en couches, par un processus tout à fait analogue à son action décapante sur les peintures (Larson, 1990).

Ce type de décapage n'est pas bien adapté à la fabrication. Il est utilisé pour le décapage de peinture des avions, l'entretien des navires et l'enlèvement de couches d'huile protectrice sur l'acier en tôle (Larson, 1990; Trippe, 1991).

Mode d'utilisation Les conditions types d'utilisation sont les suivantes (Trippe, 1991):

Densité de l'énergie lumineuse:	1 -20 J/cm^2
Superficie de décapage:	20-300 cm^2
Fréquence d'impulsion:	0,1-5 Hz
Durée d'impulsion:	0,5-2 ms
Efficacité énergétique:	30%

Désavantages Le décapage à la chaleur peut générer des produits de décomposition dangereux, surtout si l'apport d'oxygène est insuffisant pendant le décapage de revêtements en polyuréthane (Carnes, 1991; Larson, 1990; Wolf, 1991b). Il est aussi un procédé bruyant (Carnes, 1991).

L'efficacité de décapage est fonction de la planéité, de la couleur et du pouvoir réfléchissant de la surface (Carnes, 1991; Larson, 1990). De plus, ce type de décapage laisse des résidus de carbone sur le substrat, ce qui nécessite une étape ultérieure de nettoyage à la méthyléthylcétone ou la projection de dioxyde de carbone (Carnes, 1991; Larson, 1990; Wolf, 1991b). Ce procédé ne distingue pas entre les couches de finition et les apprêts (Larson, 1990).

Performance Le décapage à la chaleur est inefficace sur les revêtements pâles et sans effet sur les revêtements blancs lustrés (Larson, 1990). Le taux de décapage des couches de finition foncées (e.g. MIL-C-83286) se situe aux alentours de 1 930 cm^2/min (Larson, 1990).

Une lampe au xénon a décapé une couche de finition à base de polyuréthane d'une épaisseur de 0,06 mm sur une couche d'apprêt à base de résine époxy à un taux de 0,47 m^2/min (Van Alstyne, 1991),

10.3.2.2 Décapage au laser

Description Le mécanisme d'action de ce type de décapage est similaire à celui du décapage à la chaleur mais se contrôle mieux. Le décapage au laser se prête mieux à la robotisation que le décapage à la lampe au xénon (Larson, 1990).

Performance À la différence du décapage à la chaleur, ce procédé réussit à enlever les couches de finition pâles ou lustrées (Larson, 1990). Le taux de décapage de ces finis est toujours inférieur à celui observé pour les revêtements foncés (Larson, 1990).

10.4 CONCLUSION

La nécessité du remplacement des solvants de décapage, en particulieur le dichlorométhane, a suscité de nombreuses recherches sur les procédés de décapage alternatifs. Une très grande partie de ces recherches a été réalisée dans le secteur aérospatial. Pour cette raison, et parce que l'industrie de la fabrication, de l'entretien et de la réparation des aéronefs et des pièces

d'aéronefs est très importante au Québec, nous avons consacré une partie importante de ce chapitre à divers aspects du décapage des avions et des matériaux utilisés dans cette industrie. Les méthodes et résultats décrits sont toutefois applicables aux procédés de décapage dans d'autres secteurs.

De plus en plus, le décapage de grandes surfaces se fait par projection d'abrasifs. Peu importe l'abrasif spécifique utilisé, cette technique permet d'éliminer complètement l'usage de produits chimiques organiques qui sont ensuite rejetés dans l'environnement. Qui plus est, les dangers de santé et de sécurité associés à cette technique sont généralement faibles à l'exception du bruit, la silice cristalline n'étant pas recommandée pour le décapage. Les abrasifs couramment utilisés comprennent le plastique, l'amidon de blé, le bicarbonate de sodium et le dioxyde de carbone. Le décapage au dioxyde de carbone réduit au minimum la quantité de déchets à éliminer, puisque le dioxyde de carbone se sublime, ne laissant que les résidus de peinture. En revanche, ce procédé génère des risques d'asphyxie et des contraintes ergonomiques.

Du coté des décapants chimiques substitutifs, les produits à base de N-méthylpyrrolidone ou d'esters dibasiques semblent le plus prometteurs.

CHAPITRE 11. LES ADHÉSIFS

11.1 INTRODUCTION

Quarante-huit entreprises québécoises fabriquent des adhésifs et scellants avec **722** employés travaillant à la fabrication, au service technique et à la distribution (Vendette, 1992). Dans le cadre d'une étude du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), l'association des fabricants d'adhésifs et de scellants du Canada (AFASC) indique que leur utilisation des solvants organiques a diminué en moyenne de 4 % par année entre 1985 et 1990 et que cette tendance devrait se poursuivre dans les prochaines années (CCME, 1990). L'AFASC rapporte que les facteurs influençant le marché vers une moins grande utilisation de solvants organiques sont les suivants (CCME, 1994):

« - les pressions exercées par les autorités gouvernementales;
- la détermination des employeurs à réduire l'exposition des employés aux solvants;
- les coûts des assurances et des solvants; et
- la demande des consommateurs. »

Un autre facteur important, c'est la disponibilité de nouveaux adhésifs contenant peu ou pas de solvants organiques et dont la performance est tout aussi bonne sinon supérieure aux adhésifs traditionnels.

Mentionnons aussi le programme Choix environnemental qui a été mis sur pied par Environnement Canada afin, notamment, de soutenir les efforts déployés pour réduire la consommation de solvants organiques. Ce programme permet aux entreprises, qui le désirent, d'obtenir l'autorisation d'apposer le sigle Eco-Logo sur leurs produits, s'ils sont en mesure de respecter les exigences particulières de ce programme. Parmi les exigences relatives aux solvants, aucun solvant halogène ou aromatique ne doit être utilisé et la concentration des composés organiques volatils (COV) doit être inférieure à 20 g/l (Environnement Canada, 1993a).

Aux États-Unis, la décision de passer d'un adhésif à base de solvants organiques à un produit alternatif moins polluant est stimulée par la législation limitant l'émission des COV. Cependant, pour certaines applications industrielles, on estime que cette tendance se poursuivrait même en l'absence de règlements parce que les technologies alternatives sont plus compétitives en termes de coût et de performance (UNEP, 1991). D'autres paramètres contribuent à cette tendance, dont l'augmentation des coûts des solvants et ceux reliés à leur élimination, les coûts plus élevés de transport et d'emballage pour les matières dangereuses et une plus grande sensibilisation aux dangers de l'exposition aux solvants (Full, 1991).

Les sections suivantes traiteront d'abord du profil des principaux utilisateurs d'adhésifs suivi d'une description sommaire des adhésifs, de leur composition et des différents types d'adhésifs, ainsi que des résines et solvants servant à leur fabrication. Nous aborderons par

la suite la composition, les avantages et les désavantages des adhésifs substitutifs et des exemples d'applications seront donnés. Enfin les principales technologies d'application seront brièvement décrites pour terminer en donnant des exemples de substitution.

11.1.1 Les utilisateurs

Les utilisateurs d'adhésifs sont nombreux et se retrouvent dans plusieurs types d'industries. Historiquement, la plus grande partie des adhésifs produits servait pour quatre types de substrats poreux: le béton, le bois, le papier et les textiles. De nos jours, on observe une augmentation de l'utilisation des adhésifs surtout pour les substrats non poreux tels que le plastique, le métal, le caoutchouc et le verre (Skeist, 1990).

Les secteurs où ils sont utilisés sont: la construction, les produits forestiers, le meuble, l'automobile, la construction aéronautique, l'électronique, les appareils électroménagers, l'emballage, la reliure, les rubans adhésifs, le textile, les couches sanitaires, la chaussure, l'industrie du cuir, les abrasifs et le marché dédié aux consommateurs en général (Skeist, 1990).

On a peu de données portant sur les volumes d'adhésifs employés par chacun de ces secteurs industriels. On dispose toutefois de données pour quelques segments de marchés aux États-Unis et en Europe. En effet, un groupe d'experts des Nations unies, dans le cadre d'un programme sur la protection de l'environnement a estimé la demande en adhésifs pour différents segments de marchés aux USA et en Europe en 1988 (UNEP, 1991). Les trois plus gros secteurs d'utilisation étaient l'emballage, la construction et le transport avec, respectivement 42,4 %, 16,9 % et 5,1 % de la consommation totale.

L'industrie de l'emballage a utilisé 1 135 millions de kg d'adhésifs solides pour les USA et l'Europe pour la seule année 1988 (UNEP, 1991). Cette industrie utilise environ une trentaine d'adhésifs dans 35 applications différentes. Les adhésifs sont surtout utilisés pour le scellage de cartons et de boîtes, pour les cartons ondulés et les sacs (Skeist, 1990).

Le domaine de la construction utilise une quarantaine d'adhésifs dans une trentaine d'applications différentes. Une bonne partie des adhésifs utilisés sont constitués de résines thermoplastiques et d'adhésifs à base d'eau (Skeist, 1990).

11.1.2 Description et composition

Les adhésifs, naturels ou synthétiques, sont presque toujours des polymères à haut poids moléculaire. En plus des solvants qui permettent de contrôler la viscosité des mélanges, on ajoute à la plupart des adhésifs divers additifs afin d'obtenir les propriétés nécessaires pour une application précise. On utilise notamment des catalyseurs et des durcisseurs qui sont les agents de reticulation du liant. Les accélérateurs, les inhibiteurs et les retardateurs vont contrôler la vitesse de réaction de la reticulation. D'autres additifs tels que les charges, les plastifiants, les stabilisants et les agents mouillants sont ajoutés pour altérer les propriétés des adhésifs.

Les forces interfaciales liant deux surfaces l'une à l'autre sont classées en termes de forces physiques ou de liaisons chimiques. Dans le cas de l'adhérence physique, elle a lieu lorsque l'adhésif pénètre le support et permet aux molécules de s'entrelacer avec les fibres du substrat. Ce type d'adhérence n'est évidemment possible qu'avec des matériaux poreux ou fibreux tels que le papier, le carton ou le textile. Par contre, lorsque le substrat est imperméable comme pour le métal ou le verre, l'adhésif doit avoir une affinité chimique avec la surface considérée pour qu'il y ait adhérence. Le lecteur est référé à la monographie de Cognard et coll. pour une description de la théorie de l'adhérence des matériaux (Cognard, 1982).

Il existe des dizaines de types d'adhésifs qui ont été développés pour une multitude d'applications. Cognard et coll. en donnent une bonne description (Cognard, 1982). Sørensen et coll. classent les adhésifs d'après leur niveau de risque potentiel pour la santé des utilisateurs (S0rensen, 1993b):

Niveau de risque élevé:

- à base de solvants organiques;
- à base de résines polyesters;
- à base de résines acrylates modifiées;
- à base de résines époxy;
- à base de résines polyuréthanes.

Ils ont potentiellement des effets à long terme.

Niveau de risque moyen:

- cyanocryiates;
- anaérobies.

Ils sont caractérisés par des effets à long terme, mais ceux-ci sont moins prononcés. En outre, ces adhésifs sont utilisés en très faibles quantités.

Niveau de risque faible:

- thermofusibles (sans isocyanates ni colophane);
- à base d'eau;
- à base de résine de silicone (sans solvants organiques).

Ils n'ont pas d'effets à long terme reconnus.

11.1.2.1 Adhésifs à base de solvants (Cognard, 1982)

Les principales résines utilisées pour les adhésifs à base de solvants organiques sont les suivantes:

- les résines cellulosiques;
- les résines polyvinyliques;
  Ex.: chlorure de polyvinyle (PVC) et copolymères
  acétate de polyvinyle et copolymères
- les résines acryliques;
- les résines à base de caoutchouc;
  Ex.: caoutchouc naturel
  polychloroprène (néoprène ou colle contact)
  caoutchouc nitrile
  caoutchouc chloré
  caoutchouc butyle
  élastomères thermoplastiques
  élastomères de polyuréthanes
- diverses résines;
  Ex.: résine-alcools (colophane + résines vinyliques + alcools + hydrocarbures).

Les solvants organiques typiquement utilisés pour la fabrication de ces adhésifs sont le 1, 1, 1-trichloroéthane, le dichlorométhane, le toluène, le n-hexane, la méthyléthylcétone, l'acétate d'éthyle, l'éthanol, le xylène, l'acétone (Sørensen, 1993b; UNEP 1991).

Le tableau 11. 1 présente la proportion en solvants organiques de quelques adhésifs vendus au Canada.

Tableau 11. 1

Proportion en solvants de quelques adhésifs vendus au Canada.

Type d'adhésifs (à base de solvants organiques)	% de solvants
Colles contact	80
Caoutchoucs synthétiques styrène-butadiène (SBR)	75
Agents d'étanchéité/mastics	25
Autres	60

(tiré de CCME, 1994)

Le chapitre 2 présente des données récentes sur la consommation globale de solvants par l'industrie québécoise des adhésifs. Les risques associés à l'utilisation des solvants en général sont également décrits brièvement dans ce chapitre.

11.2 ADHÉSIFS SUBSTITUTIFS

Les adhésifs substitutifs qui ont été développés afin de réduire l'utilisation des solvants organiques sont les suivants (UNEP 1991):

- les préparations à base d'eau;
- les adhésifs thermofusibles («hot melts»);
- les adhésifs autocollants;
- les adhésifs réagissant au rayonnement ultraviolet et au faisceau d'électrons;
- les préparations à haute teneur en solides;
- les liquides réactifs;
- les poudres.

11.2.1 Adhésifs à base d'eau (UNEP, 1991)

Un adhésif à base d'eau peut être une solution, un latex, ou une emulsion. Les liants typiquement utilisés pour leur fabrication sont les suivants:

- les substances naturelles telles que l'amidon, la dextrine et le caoutchouc naturel;
- les caoutchoucs synthétiques tels que le copolymère de styrène-butadiène, le néoprène^{MD} et le polyisoprène;
- les résines vinyliques telles que l'acétate de polyvinyle (PVAc) et le chlorure de polyvinyle (PVC);
- les résines acryliques;
- les résines époxy.

Les principaux avantages des adhésifs à base d'eau sont les suivants:

- une bonne durabilité;
- l'adhérence à une multitude de substrats, et plus spécifiquement l'adhérence entre substrats non poreux et poreux;
- une meilleure adhérence aux surfaces humides comparativement aux adhésifs à base de solvants organiques;
- une plus grande force de cohésion lors de la formation des liens initiaux dans les applications de laminage. Cette plus grande force est due au fait que le poids moléculaire des résines employées pour les emulsions est indépendant de la viscosité des mélanges puisque celles-ci ne forment pas une solution mais plutôt une dispersion d'un liquide dans un autre.

Les principaux désavantages sont les suivants:

- les problèmes d'adhérence de substrats non poreux car l'eau s'évapore difficilement de ces substrats;
- le maintien de l'agitation des mélanges lors du stockage afin d'assurer une certaine consistance. Cette agitation va toutefois causer la formation de mousse et forcer

l'utilisation d'agents antimousse qui ont pour effet de réduire l'adhérence;
- les surfaces doivent être exemptes d'huile et de graisse;
- les températures de séchage doivent être plus élevées et le volume d'air requis doit être plus important (Long, 1993);
- la possibilité de gel lors du transport et de l'entreposage;
- la possibilité de corrosion exige l'utilisation de matériaux résistants pour le transport et l'entreposage. Certains fabricants d'adhésifs maintiennent toutefois qu'en ajoutant certains additifs, on peut prévenir la corrosion des équipements;
- ils ne «mouillent» pas aussi bien les surfaces en raison de leurs tensions superficielles élevées et de la polarité de l'eau. On doit donc effectuer un traitement à la décharge électrique («corona») lors du laminage de certains films de plastique afin d'augmenter l'énergie de surface (Full, 1991);
- la difficulté de coller des élastomères non polaires tels que le copolymère d'éthylène-propylène;
- ils ne peuvent fournir une adhérence comparable à celles des adhésifs à base de solvants organiques pour les fluoroélastomères et les silicones.

Cognard et coll. ainsi que Tinker rapportent les exemples d'applications suivants (Cognard, 1982; Tinker, 1993):

- les rubans adhésifs;
- les enveloppes autocollantes;
- les étiquettes;
- l'enduction de papier;
- le collage de revêtements de sols vinyliques;
- les feuilles de PVC sur des panneaux de bois;
- le laminage de feuilles d'aluminium et le polyethylene ou de feuilles d'aluminium et le papier;
- l'emballage de savons et de nourriture.

11.2.2 Adhésifs thermofusibles («Hot melt adhesives») (UNEP, 1991)

Les adhésifs thermofusibles ont connu une forte progression annuelle d'environ 10 % entre 1970 et 1985 (Skeist, 1990). Ces adhésifs sont des thermoplastiques appliqués à l'état fondu. Il y a prise lors du refroidissement. Les principaux liants utilisés sont les suivants:

- le copolymère éthylène/acétate de vinyle (EVAc)
- les polyoléfines;
- les polyamides (p. ex. le nylon^{MD});
- les polyesters;
- les alliages polyesters/polyamides;
- les élastomères thermoplastiques.

Les principaux avantages responsables de leur forte progression sont les suivants (Skeist, 1990):

- l'absence de solvants organiques;
- le temps de prise plus court permettant l'augmentation de la productivité. En effet ces adhésifs peuvent être appliqués plus rapidement et plus efficacement car le temps nécessaire à leur refroidissement est plus court que le temps requis pour l'evaporation des solvants;
- la facilité d'automatiser le procédé de mise en oeuvre de ces adhésifs;
- il n'est plus nécessaire d'avoir un système de récupération des solvants;
- la disparition des coûts reliés à l'élimination des solvants;
- l'entretien et le nettoyage des équipements sont réduits;
- les coûts de stockage et de transport attribués à la présence de solvants sont éliminés;
- il y a réduction de l'espace nécessaire aux équipements, de l'énergie requise au fonctionnement et une réduction des coûts de fabrication.

Les principaux désavantages sont les suivants:

- le danger de brûlures étant donné la présence d'équipements chauffés;
- la conversion à un système permettant l'utilisation d'adhésifs thermofusibles requiert l'installation de nouveaux équipements qui sont normalement assez dispendieux;
- ils ont une faible adhérence sur plusieurs types de substrats et une résistance à la chaleur qui est limitée.

Voici quelques exemples d'applications:

- la reliure;
- l'emballage;
- les textiles;
- la fabrication de chaussures;
- les appareils électroménagers;
- l'assemblage de produits dont notamment les panneaux de portes d'automobiles ou l'installation de tapis.

11.2.3 Adhésifs autocollants (Cognard, 1982)

Une autre possibilité de substitution consiste à utiliser des rubans ou adhésifs sur support de film et applicables par pression. Cette solution peut constituer dans certains cas une alternative intéressante car ces adhésifs ne contiennent qu'environ 1 % de solvants organiques ou de monomères. On utilise des résines à base de caoutchoucs synthétiques ou d'acrylates. Les avantages de ce type d'adhésifs sont nombreux: assemblage uniforme, mise en oeuvre propre, rapidité d'assemblage, film double pour l'assemblage de substrats incompatibles. Par contre, une résistance moins grande à des températures élevées et des forces d'arrachement plus faibles constituent des inconvénients. À titre d'exemple d'application, mentionnons les revêtements muraux en plastique autoadhésif et les carrelages posés par pression. Cognard et coll. décrivent en détail une multitude d'applications possibles pour les rubans adhésifs.

11.2.4 Adhésifs réagissant au rayonnement ultraviolet (UV) ou au faisceau d'électrons (EB) (UNEP, 1991)

Les résines qui peuvent être réticulées à l'aide du rayonnement UV ou au EB sont de type acrylique, époxy, uréthane, polyester et anaérobie. Ces adhésifs ne contiennent généralement pas de solvant (Hoffman, 1992). On abaisse leur viscosité en ajoutant des monomères qui réagiront avec les résines de prépolymères (Huffman, 1992).

Les principaux avantages de ces adhésifs sont les suivants:

- la réduction des coûts en énergie, des émissions de COV et des déchets liquides;
- la rapidité de la reticulation ou du durcissement;
- l'installation des équipements ne requiert que peu d'espace;
- l'application possible sur des matériaux sensibles à la chaleur (Hoffman, 1992);
- ils peuvent être stockés pendant une période plus longue que pour la plupart des adhésifs;
- la réduction des coûts de transport étant donné l'absence de solvants.

Les principaux désavantages sont les suivants:

- leur résistance aux températures élevées est limitée (Hoffman, 1992);
- le coût est perçu comme étant élevé. Cependant, si l'on tient compte des coûts de transport, de l'élimination des solvants, des coûts énergétiques reliés au durcissement et au séchage des adhésifs traditionnels, on constate que le coût de ces adhésifs est compétitif (Hoffman, 1992);
- les adhésifs structuraux (participant à l'intégrité d'une structure) sensibles aux UV doivent avoir au moins une des pièces à coller qui soit transparente au rayonnement, ce qui limite leur usage à des pièces en verre ou en plastique (Woods, 1986);
- les monomères utilisés ont encore une certaine toxicité (Woods, 1986). Le lecteur est référé à Walata III et coll. pour une description de la toxicité des substances utilisées (Walata III, 1991);
- les équipements utilisés pour les adhésifs à base de solvants organiques ne peuvent pas être modifiés en vue d'utiliser ce genre d'adhésifs.

Généralement, les systèmes UV sont plus économiques pour les plus petites installations, tandis que les systèmes EB sont mieux adaptés aux grandes installations ayant de gros volumes de production.

Les principales applications se retrouvent dans le domaine de l'électronique, des communications, des produits de consommation, du transport, de l'emballage, de la médecine et de la dentisterie.

Les systèmes EB sont surtout utilisés dans le domaine du laminage notamment celui des papiers et plastiques métallisés (Woods, 1986). Les systèmes UV sont plus largement utilisés et ils le sont dans des applications très variées. On les emploie par exemple, comme adhésifs

structuraux, comme composites dentaires et dans le domaine des rubans adhésifs sensibles à la pression («pressure-sensitive tapes») (Woods, 1986). On prévoit de fortes croissances des ventes pour les systèmes réagissant au rayonnement UV et au EB.

11.2.5 Adhésifs à haute teneur en solides (UNEP. 1991)

Une autre manière de réduire les émissions de COV lors de l'application des adhésifs est d'utiliser des formulations à haute teneur en solides. La teneur en solides des produits à base de solvants organiques se situe habituellement à environ 30 %, mais on a développé des formulations à haute teneur en solides contenant jusqu'à 80 % de solides (USEPA, 1994e).

On obtient généralement de bonnes performances avec les adhésifs à haute teneur en solides et ils peuvent être appliqués en modifiant légèrement les équipements de laminage utilisés pour les adhésifs traditionnels et cela à des vitesses d'application similaires (USEPA, 1994c). Ils sont largement utilisés dans le domaine des mousses flexibles et des planchers en bois dur (USEPA, 1994c).

Il y a des domaines où les performances ne sont pas encore adéquates, notamment dans le cas de l'assemblage de pièces en caoutchouc, les films produits étant trop épais.

11.2.6 Liquides réactifs (UNEP, 1991)

Ces adhésifs ne contiennent pas de solvants. Ce sont des adhésifs qui vont se réticuler au contact de l'humidité de l'air ou qui sont constitués de deux parties réactives. Les résines employées pour les adhésifs réagissant à l'humidité sont des isocyanates.

Dans le cas des adhésifs à deux parties réactives (monomères/prépolymères et agent de durcissement), celles-ci sont gardées séparées jusqu'au moment de l'application. Les liants utilisés dans les liquides réactifs sont des résines époxy, des polyuréthanes, polyesters, silicones, polysulfures, et des résines acryliques et phénoliques modifiées.

Les principaux avantages sont les suivants:

- les adhésifs réagissant à l'humidité de l'air ne nécessitent pas de système de séchage, ce qui réduit les coûts en énergie;
- l'application se fait à l'aide d'équipements plus compacts que ceux utilisés pour les adhésifs à base de solvants.

Les principaux désavantages sont les suivants:

- les équipements pour les adhésifs à base de solvants ne peuvent être utilisés pour ces adhésifs;
- comme ce sont des liquides réactifs, la nature de ces molécules fait en sorte que leur potentiel de toxicité sera plus élevé. Il faut donc porter une attention particulière lors de leur utilisation.

Les liquides réactifs sont généralement utilisés dans des applications à haute performance reliées au maintien de l'intégrité de structures.

11.2.8 Poudres (UNEP, 1991)

Elles sont souvent composées soit de résines époxy, de substances naturelles ou de polyuréthanes et ne contiennent pas de solvants. Les poudres doivent être chauffées pour activer la reticulation des résines. Elles sont appliquées selon trois modes:

- en pulvérisant les poudres sur un substrat pré-chauffe;
- en trempant le substrat pré-chauffe dans la poudre;
- en fondant la poudre pour ensuite l'appliquer par des méthodes traditionnelles.

Il est recommandé de réfrigérer les poudres pour maximiser leur durée de vie durant le stockage, ce qui augmente les coûts d'utilisation. Nous n'avons pas de données comparant leur performance ou leur coût par rapport aux adhésifs classiques.

11.3 TECHNOLOGIES D'APPLICATION (Cognard, 1982):

On utilise de nombreux équipements pour l'application des adhésifs. Tout matériel d'application comprend un système d'alimentation et un système d'application des adhésifs. On distingue quelques systèmes de base tels que:

- systèmes à plat, par brosses, rouleaux, spatules, encolleuses automatiques à rouleaux;
- systèmes par pulvérisation;
- systèmes par extrusion, avec buse ou machines à rideau.

Les applications mécaniques et automatiques se font dans des installations de grandes dimensions. On peut distinguer entre les équipements destinés à l'application à froid et ceux destinés à l'application à chaud pour les adhésifs thermofusibles. Cognard et coll. et Fauner et coll. donnent une description détaillée des différentes méthodes d'application (Cognard, 1982; Fauner, 1984).

11.4 CAS DE SUBSTITUTION

Le tableau 11.2 présente divers cas décrits au chapitre 13 de même qu'une série d'autres exemples de substitution portant notamment sur la production de fenêtres en PVC, de chaussures en cuir, de circuits électroniques, ainsi que l'installation de tapis et de revêtements de sols.

11.5 CONCLUSION

Le but visé par ce chapitre était de présenter sommairement les différentes alternatives à l'utilisation d'adhésifs à base de solvants. Les avantages et les désavantages de chaque adhésif substitutif ont été décrits et des exemples de substitution ont été présentés.

On a vu qu'il existe, au Canada et aux États-Unis, une tendance au remplacement des adhésifs à base de solvants surtout pour réduire l'émission des COV. Il existe des produits alternatifs intéressants qui permettent de réduire substantiellement les émissions de COV et d'améliorer le milieu de travail des utilisateurs. Parmi les adhésifs substitutifs les plus utilisés, il faut noter ceux à base d'eau et les adhésifs thermofusibles. Ces adhésifs vont croître en popularité car ils offrent des avantages intéressants à des coûts très concurrentiels (UNEP, 1991).

Tableau 11.2

Cas de substitution d'adhésifs

Adhésifs utilisés	Applications	Adhésifs substitutifs	Référence
À base de dichlorométhane	Tubes de PVC	À base de N-méthylpyrrolidone	Cas 3050
À base de tétrahydrofuranne/ cyclohexanone	Fenêtres en PVC	À base de N-méthylpyrrolidone	Cas 3051
À base de solvants organiques	Emballage flexible	À base d'eau	Cas 3052
À base de solvants organiques	Assemblage de kiosques d'exposition	Adhésif au latex	Cas 3053
Colles résine-alcools (alcools + hydrocarbures)	Tapis à envers de mousse SBR	Colles emulsions acryliques	Cognard, 1982
Colles au néoprène[MD]	Revêtements de sols en PVC	Colles emulsions acryliques	Cognard, 1982
Colles au néoprène[MD] ou solutions de bitume	Dalles vinyl-amiante	Colles emulsions acryliques	Cognard, 1982
Colles au néoprène[MD]	Cuir sur renforts en carton	Colles au latex de caoutchouc naturel (contient toutefois de l'ammoniac)	Cognard, 1982
Colles au néoprène[MD]	Cuir sur cuir	Thermofusibles (surtout à base de polyamides)	Cognard, 1982
À base de solvants organiques	Caoutchoucs et métaux	Cyanoacrylates	Sørensen, 1993b
Cyanoacrylates avec un apprêt à base de solvants organiques	Fils de circuits électroniques	Thermofusibles	Sørensen, 1993b
À base de solvants organiques	Verre et acier	Thermofusibles	Sørensen, 1993b
À base de solvants organiques	Métal sur métal Métal sur caoutchouc Métal sur PVC	A base d'eau	Sørensen, 1993b

CHAPITRE 12. LA FABRICATION D'OBJETS EN POLYESTER STRATIFIÉ

12.1 INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objectif de faire le point sur la substitution comme moyen d'éliminer le styrène lors de la fabrication d'objets en plastique à base de polyesters insaturés renforcés à la fibre de verre (plastiques composites), souvent appelés polyesters stratifiés.

H y aurait au Québec une centaine d'entreprises utilisant ce procédé et qui emploieraient environ 3 000 travailleurs (Vangheluwe, 1994).

Après une description sommaire des procédés de mise en oeuvre de ces plastiques nous résumerons les aspects de santé du travail reliés à l'exposition au styrène dans ces applications; les éléments de littérature scientifique et technique portant sur les substituts éventuels au styrène dans ces procédés sont ensuite abordés ainsi que, de façon plus succincte, les autres approches préventives qui, si elles ne permettent pas l'élimination de l'utilisation du styrène, constituent néanmoins des éléments valables de solution au problème de la surexposition des travailleurs.

12.2 LES PROCÉDÉS DE MISE EN OEUVRE DES POLYESTERS STRATIFIÉS

12.2.1 Composition des résines et autres matières premières (INRS, 1989; Makhlouf, 1982; Sullivan, 1986)

Les polyesters stratifiés sont mis en oeuvre à partir d'une résine de type polyester insaturé en solution dans le styrène (ou parfois dans un autre solvant réactif), de divers additifs et d'un renfort. Le polyester insaturé est un polymère résultant de la réaction entre un acide ou un anhydride insaturé et un polyol. Le styrène sert à la fois de solvant pour la résine, la rendant suffisamment fluide pour être appliquée de diverses façons, et de co-monomère, réagissant avec la résine par la formation de ponts entre les chaînes menant à la reticulation et au durcissement du produit. Le styrène représente généralement de 30 à 45 % de la composition totale de la résine. Divers additifs sont utilisés notamment des inhibiteurs, des accélérateurs et des initiateurs ou catalyseurs ainsi que des matériaux inertes de charge. À part la résine elle-même, incluant le styrène, le composant le plus important pour la fabrication d'un polyester stratifié est le renfort ou matériau de renforcement. Il s'agit de façon très prépondérante de fibre de verre sous forme de tissus, de mat (matelas de fibres non tissées), ou de fil et qui forme typiquement de 30 à 60 % par poids du matériau selon l'application.

12.2.2 Les procédés de mise en oeuvre (Crandall, 1985; INRS, 1989; Laforest, 1981; Makhlouf, 1982; Sullivan, 1986; USEPA, 1991 b)

12.2.2.1 Vue d'ensemble des procédés

Les polyesters stratifiés servent à la fabrication d'une grande variété de produits tels que bateaux, réservoirs, tuyaux, panneaux, éléments de salle de bain, pièces de camion et d'automobiles. Leur utilisation si extensive vient de leur excellent rapport résistance-poids donnant un produit plus léger que le bois ou le métal et plus solide que les plastiques non-renforcés. Ils sont résistants à l'abrasion, à la corrosion et à l'action de nombreux agents chimiques tout en ayant un bon pouvoir isolant thermique, phonique et électrique.

Les procédés de mise en oeuvre varient selon le type de produit à fabriquer. On distingue traditionnellement les procédés ouverts et les procédés à moule fermé. Parmi les procédés ouverts l'on retrouve le moulage par contact (le plus fréquent), l'enroulement filamentaire (pièces cylindriques telles que tuyaux, réservoirs) et le laminage continu (panneaux pour serres, murs et plafonds). Ceux qui nous intéressent particulièrement dans cette revue de littérature, à cause de leur utilisation très fréquente et à cause des fortes émissions de styrène possibles, sont les procédés ouverts de moulage par contact.

Les procédés à moule fermé à haute température et à haute pression comme le procédé SMC («sheet molding compound») ayant moins de potentiel d'émission de styrène ne sont pas abordés, ni d'ailleurs les procédés ouverts tels que l'enroulement filamentaire, la pultrusion ou le laminage continu qui sont moins bien documentés. Le procédé à moule fermé par transfert de résine (RTM) est abordé plus bas car il représente une alternative potentielle intéressante aux procédés de moulage par contact.

12.2.2.2 Le moulage par contact

Il s'agit d'un procédé très courant dans diverses industries car il permet la fabrication de pièces de formes et de dimensions très variées. Habituellement la fabrication commence par l'application, généralement par pulvérisation, directement sur la face du moule prétraité avec un agent de démoulage, d'une première couche de résine pigmentée (peinture) appelée «gel-coat», qui servira de fini extérieur à la pièce. Cette étape n'est cependant pas toujours nécessaire. La stratification elle-même (ou laminage) consiste en l'application simultanée ou consécutive de fibre de verre et de résine en couches successives en s'assurant de la bonne imprégnation des matériaux et de l'expulsion des bulles d'air. Les étapes suivantes sont le séchage menant à la reticulation et au durcissement du matériau ainsi que diverses opérations éventuelles de finition (ponçage, peinture, collage).

L'application de résine et de fibre de verre peut se faire selon diverses technologies. Dans le procédé à la main («hand lay-up») le renfort de fibre de verre est placé d'abord et la résine appliquée au pinceau, rouleau ou par pulvérisation. Dans le procédé par projection («spray-up») la fibre hachée et la résine sont appliqués simultanément par l'intermédiaire d'un pistolet à haute pression («chopper gun»). Les deux techniques, à la main et par projection, peuvent d'ailleurs être combinées dans la même production. Les opérations d'imprégnation et de débullage (ou ébullage) sont effectuées manuellement avec des rouleaux.

12.3 EFFETS TOXIQUES DU STYRÈNE ET EXPOSITION PROFESSIONNELLE LORS DE LA MISE EN OEUVRE DES POLYESTERS STRATIFIÉS

12.3.1 Effets toxiques du styrène chez l'humain (IARC, 1994a)

Le styrène est un irritant des yeux et des voies respiratoires supérieures. Dans plusieurs études l'on a observé des effets sur le système nerveux central et le système nerveux périphérique. Des dommages chromosomiques ont été observés dans l'industrie des plastiques stratifiés où l'exposition au styrène est particulièrement élevée. Par contre l'exposition au styrène ne semble pas associée de façon claire à des effets reprotoxiques. En ce qui concerne la cancérogénicité, la plus récente évaluation (mars 1994) faite par le Centre international de recherche sur le cancer classe le styrène dans le groupe 2B (possiblement cancérogène pour l'humain). La preuve de cancérogénicité chez l'animal a été jugée comme limitée tandis que la preuve apportée par les études épidémiologiques a été évaluée comme inadéquate.

Au Québec la valeur limite d'exposition au styrène a été fixée à 50 ppm (213 mg/m^3) pour 8 heures et 100 ppm (426 mg/m^3) pour 15 minutes (Gouvernement du Québec, 1994).

12.3.2 Exposition professionnelle au styrène lors de la mise en oeuvre des polyesters stratifiés

Le présent paragraphe reprend de façon résumée une contribution que l'auteur de ce chapitre (Michel Gérin) a fournie dans le cadre de la récente monographie sur le styrène du Centre international de recherche sur le cancer (IARC, 1994a).

L'exposition au styrène dans les ateliers de mise en oeuvre de polyesters stratifiés se fait essentiellement par inhalation de vapeur de styrène relâché dans l'air ambiant à partir de la résine lors des diverses opérations comme la pulvérisation ou projection, le laminage par rouleau et le séchage menant au durcissement. De l'ordre de 10 % du styrène initialement présent dans la résine peut ainsi se retrouver dans l'air ambiant, le reste réagissant lors de la reticulation.

Les techniques de moulage à moule ouvert (moulage par contact) impliquent des niveaux d'exposition plusieurs fois plus élevés que les techniques à moule fermé. Dans le moulage par contact les plus fortes expositions surviennent lors de la fabrication de grands objets tels que

bateaux, pièces de camion, douches et baignoires. La technique d'enroulement filamentaire peut mener également à de fortes expositions. Les lamineurs (usage du rouleau) et opérateurs de pistolet à pulvérisation sont les plus exposés, suivis des applicateurs de gel-coat, ces derniers opérant souvent en cabine pour des raisons de contrôle de qualité. Les niveaux d'exposition moyens sur huit heures mesurés ces dix dernières années en Amérique du Nord et en Europe dépassent fréquemment 50 ppm et même 100 ppm aux postes de lamineur et d'opérateur de pistolet.

L'utilisation d'indicateurs biologiques d'exposition tels que l'acide mandélique et l'acide phénylglyoxylique urinaires ou le styrène sanguin a permis de montrer que l'absorption percutanée du styrène est négligeable dans ces opérations. Ceci ne veut pas dire que les travailleurs ne devraient pas porter de gants, à cause de problèmes cutanés potentiels. L'on a pu également montrer que le port de protection respiratoire sous forme de masque pour vapeurs organiques pouvait réduire l'exposition mais généralement de façon incomplète. De plus il a fréquemment été observé que les masques mis à la disposition des employés étaient totalement inadéquats pour la protection contre les vapeurs organiques.

Une étude récente menée au Québec (Truchon, 1992) ainsi que les données publiées par l'IRSST indiquent que l'exposition au styrène peut être importante à divers postes de travail dans les opérations de moulage par contact et que le portrait général dressé ci-dessus s'applique à la situation québécoise.

12.4 LA SUBSTITUTION DU STYRÈNE PAR UN AUTRE SOLVANT RÉACTIF DANS LA FORMULATION DE LA RÉSINE

Rappelons que les résines polyesters sont livrées déjà formulées avec généralement de 30 à 45 % de styrène. Toute substitution du styrène par une autre substance ne peut donc se faire qu'au niveau du fabricant ou du formulateur de la résine et non pas des utilisateurs que sont les fabricants d'objets en polyester stratifié. Tout substitut au styrène devrait jouer le même double rôle de solvant pour la résine, lui conférant ainsi une fluidité adéquate pour les opérations de moulage, et de monomère réactif, permettant la reticulation de la résine et son durcissement.

Divers solvants réactifs ont été essayés ou sont présentement à l'essai pour remplacer le styrène dans ces applications. Les formulateurs sont à la recherche d'un produit ayant de meilleures caractéristiques environnementales ou techniques. Il s'agit de monomères de type acrylique (notamment le méthacrylate de méthyle et des méthacrylates à point d'ébullition élevé), de l'o-phtalate de diallyle, du divinylbenzène, du p-(t-butyl)styrène, du p-méthylstyrène et du vinyltoluène (Anonyme, 1979; Anonyme, 1980; Anonyme, 1988; Anonyme, 1990b; Geuskens, 1992; Kalliokoski, 1982; Koenig, 1990; Liebe, 1986; Makhlouf, 1982; Skrifvars, 1992; Todd, 1985; Whitfield, 1978; Willis, 1980). L'on retrouve très peu de détail dans la littérature scientifique et technique sur ces formulations et les résultats des essais. En règle générale ces solutions alternatives au styrène sont rejetées pour diverses raisons dont le prix de certains de ces monomères, leur volatilité trop élevée dans certains cas, leur toxicité jugée équivalente ou plus importante ou encore moins bien évaluée que celle du styrène, ou finalement pour

certaines propriétés techniques défavorables (viscosité ou manque de réactivité de la résine, fragilité des produits finis). Dans certains cas ces monomères seraient utilisés en combinaison avec le styrène comme co-monomères.

Deux de ces substances, proches du styrène, font l'objet de rapports récents un peu mieux détaillés: le p-méthylstyrène (PMS) et le vinyltoluène (VT). Le vinyltoluène commercialement disponible est un mélange d'environ 70 % de m-méthylstyrène et de 30 % de p-méthylstyrène. Les fabricants de PMS et de VT considèrent que le principal avantage de leurs produits réside dans leur volatilité plus faible que celle du styrène, ce qui permet de rencontrer les normes environnementales plus facilement, et aussi dans le fait que l'équipement d'application des résines n'a pas besoin d'être modifié de façon importante (Anonyme, 1988; Anonyme, 1990b). Ainsi le remplacement total du styrène par le VT résulterait, lors de la mise en oeuvre, en une perte de poids réduite de 45 % par rapport à la perte encourue avec le styrène (c'est-à-dire un dégagement de vapeur organique dans l'air ambiant réduit de moitié environ) tandis que le remplacement par un mélange 1:1 styrène-VT réduirait la perte de poids de 32 %. D'ailleurs le remplacement d'une partie seulement du styrène par le VT ou le PMS est présenté comme pouvant être une bonne solution du point de vue à la fois technique et environnemental.

Kalliokoski et coll. présentent des résultats rapportés par Dow Chemical confirmant des réductions de pertes de monomère de l'ordre de 40 % dans le cas du VT, avec des concentrations de monomère en milieu de travail réduites de 21 à 44 %. Ils mettent cependant en doute la valeur de cet avantage à cause d'une toxicité probablement plus importante du vinyltoluène (Kalliokoski, 1982). De même Skrifvars et coll. rapportent une réduction d'environ trois fois des émissions de monomère durant la phase d'application au rouleau lorsque l'on substitue le styrène pour du PMS. En plus de l'objection du prix, ils se posent également la question de la toxicité des monomères de substitution, ceux-ci n'ayant pas fait l'objet d'autant d'étude que le styrène (Skrifvars, 1992). On retrouve une description des propriétés toxicologiques des isomères du vinyl toluène dans la même monographie IARC que celle du styrène (IARC, 1994b).

12.5 LES AUTRES MÉTHODES DE PRÉVENTION

12.5.1 Résines dites à faible émission de styrène (LSE)

Les premières résines dites «à faible émission de styrène» («low styrène emission resins» ou résines LSE) furent introduites industriellement il y a plus de vingt ans et utilisaient de la paraffine comme agent filmogène (Koenig, 1990; Willis, 1980). Le film formé par la migration du produit à la surface de la résine diminue l'evaporation du styrène. Cependant des problèmes de délamination seraient apparus selon certains auteurs (Anonyme, 1979; Anonyme, 1980; Willis, 1980). Depuis, diverses autres formulations ont été mises au point basées sur l'ajout d'additifs variés (et confidentiels), notamment des produits filmogènes, dont l'effet est de diminuer l'evaporation du styrène sans pour autant compromettre les performances des produits finaux. Ces résines sont parfois appelées écologiques. Une façon complémentaire de réduire les émissions de styrène consiste à diminuer jusqu'au minimum techniquement possible la teneur en styrène de la résine (Skrifvars, 1992).

L'efficacité des résines LSE à diminuer les émissions de styrène lors de la mise en oeuvre de polyesters stratifiés a été rapportée par divers auteurs (Anonyme, 1980; Duffy, 1979; Kalliokoski, 1982; Pritchard, 1978; Säämänen, 1991; Schumacher, 1981; Skrifvars, 1992; Walewski, 1985; Whitfield, 1978). Säämänen et coll. ont démontré que les résultats des tests gravimétriques d'évaporation ne doivent pas être utilisés directement pour estimer la réduction d'émission de styrène dans les conditions dynamiques d'un atelier de stratification. Alors que les tests gravimétriques indiquent des réductions d'émission de 50 à 90 %, les niveaux d'exposition en milieu de travail n'ont été réduits que de 30 à 50 % ou parfois moins. Les résultats de leurs propres tests indiquent que l'évaporation totale de résine diminue de 30 à 60 % avec utilisation de résines LSE dans des procédés de moulage manuel (rouleau). Le gain le plus marqué est obtenu, non pas durant la phase de laminage elle-même (utilisation de rouleaux), mais durant la phase de séchage entre le laminage et le durcissement. Ils en déduisent par ailleurs qu'il faut réduire au minimum la période d'application du rouleau (résines et mats bien imprégnants) et concentrer les efforts de ventilation sur cette phase ainsi que sur la phase de durcissement lors du pic exothermique (Säämänen, 1991). De même l'utilisation de résines LSE n'apporterait pas de réduction importante de l'émission du styrène durant la phase de pulvérisation (projection) de résine lorsque cette technologie est utilisée (Kalliokoski, 1982; Skrifvars, 1992).

Au total la réduction de l'exposition professionnelle au styrène par l'utilisation de résines à faible émission de styrène serait particulièrement avantageuse pour la fabrication d'objets à grandes surfaces alors que seulement une petite partie de la pièce est traitée à la fois, ou pour la fabrication de plusieurs petites pièces que l'on peut laisser sécher avec leur moule en dehors de la cabine d'application. Il existerait également des résines non thixotropes à faible émission de styrène pour utilisation dans le procédé à enroulement filamentaire (Koenig, 1990).

Il faut également signaler l'introduction récente sur le marché de polymères hybrides de type polyester-polyuréthane qui peuvent remplacer les polyesters traditionnels dans une variété d'application. Ces matériaux permettraient une réduction de l'émission de styrène tout en accélérant la production (Anonyme, 1992a; Smoluk, 1990). Bien que la quantité de styrène soit diminuée il faudrait cependant se poser la question de la présence additionnelle possible d'isocyanates dans les milieux de travail et des problèmes de santé qui pourraient en résulter.

Finalement il existe d'autres modifications à la composition de la résine présentées comme permettant une réduction d'émissions de styrène dans certains types de productions: l'utilisation d'initiateurs qui permettent de réduire le temps entre la gélification de la résine et le pic exothermique (von Hassel, 1991) et l'utilisation de résines à photodurcissement permettant la formation rapide d'une peau étanche au styrène sur la surface après exposition à un rayonnement ultraviolet (Anonyme, 1979; Koenig, 1990; Liebe, 1986). Signalons enfin que les modifications à la composition de la résine entraînent généralement de nouvelles contraintes techniques qui ne sont pas nécessairement compatibles avec toute forme de production.

12.5.2 Procédé de moulage par transfert de résine

Une méthode efficace d'intervention préventive consiste à réduire le danger à la source en utilisant un procédé encapsulant la substance dangereuse. Dans le cas des procédés de fabrication d'objets en polyester stratifié il s'agit de travailler avec une technique de moule fermé plutôt que la technique à moule ouvert (moulage par contact) traditionnellement adoptée pour la fabrication des pièces de moyenne et de grande taille. Des développements importants ont eu lieu dans la technologie dite de moulage par transfert de résine («resin transfer molding», RTM) au cours des dernières années (Gauvin, 1991; Smoluk, 1990; USEPA, 1991b). Dans cette technique le renfort fibreux est positionné dans le moule et la résine injectée à basse pression (pompée) dans le moule refermé. Un important programme de recherche, dirigé par le professeur Gauvin de l'École Polytechnique de Montréal, est en cours au Québec, financé en partie par l'IRSST, sur l'utilisation de ce procédé et visant le développement d'un logiciel de conception des moules. En effet, bien que, selon Gauvin (1991), le procédé RTM résulte en des evaporations de styrène six à huit fois moins grandes que le moulage par contact et puisse amener certaines améliorations techniques au produit fini, la technique est encore peu répandue au Québec. Ceci serait dû notamment, à des problèmes liés à une mauvaise connaissance du procédé ainsi qu'à la conception et à la fabrication difficiles des moules, ce qui peut amener des pertes financières aux entreprises. Le développement de cette technique serait donc en grande partie lié à l'élaboration d'outils d'analyse et de conception de moules pour les industriels (Gauvin, 1991).

12.6 AUTRES MODIFICATIONS AU PROCÉDÉ OU À L'ÉQUIPEMENT (INRS, 1989; Liebe, 1986; USEPA, 1991b)

Il est possible de minimiser l'evaporation de styrène en optimisant les procédures d'application de la résine (ou du gel-coat). Tout d'abord l'on doit chercher à éliminer ou à réduire l'excédent de brouillard généré lors de l'application au pistolet. Ainsi il n'est pas recommandé d'utiliser de pistolet à air à haute pression (génération d'un important brouillard). Les pistolets sans air sont recommandés et plus spécialement le pistolet sans air à basse pression avec apport d'air («low-pressure air-assisted airless spraygun»). Dans cette dernière technologie le jet de résine est enveloppé par un jet d'air pressurisé qui en contrôle la dispersion. Le choix de buses appropriées permet d'avoir des applications efficaces par exemple sous forme de rideau ou d'éventail. D'autres technologies permettent dans certains cas d'éviter complètement la pulvérisation, notamment l'utilisation de pré-imprégnés («prepregs») ou de demi-produits en bande. Il s'agit de renforts de fibre de verre qui sont présaturés de résine. Il est également possible d'utiliser sur place des imprégnateurs de résine couplés directement à l'opération de laminage, ce qui réduirait les coûts par rapport à l'utilisation de pré-imprégnés.

12.7 LA VENTILATION

La plupart des auteurs s'accordent pour dire que la ventilation constitue présentement la méthode de choix pour le contrôle de l'exposition au styrène du moins dans les procédés à moules ouverts, bien que, historiquement, les installations de ventilation aient été généralement mal conçues et relativement inefficaces (Andersson, 1993; Crandall, 1985;

Geuskens, 1992; INRS, 1989; Kalliokoski, 1988; Niemelä, 1991; Schumacher, 1981; Tood, 1985). Les travaux les plus récents offrent des solutions techniques adaptables à l'ensemble des situations y compris la fabrications de grosses pièces creuses comme les coques de bateau (Andersson, 1993; INRS, 1989; Kalliokoski, 1988; Niemelä, 1991). Nous recommandons la consultation du guide pratique de ventilation de l'INRS qui a été conçu spécialement pour cette industrie (INRS, 1989) et qui présente un certain nombre de dossiers techniques. Généralement la ventilation de dilution (ventilation générale) est inadéquate à moins d'être complétée par le soufflage bien conçu de courants d'air directionnels. Selon les dimensions et la forme des pièces (petites, grandes et planes, grosses et creuses) les solutions varieront et comprendront des techniques comme la cabine ouverte, la cabine fermée, le captage localisé avec ou sans soufflage d'air, et la ventilation générale avec soufflage d'air.

Une dernière forme de prévention, soit le port d'équipement de protection individuelle, a déjà été évoquée plus haut dans la section sur l'exposition professionnelle au styrène.

12. 8 CONCLUSION

Cette revue de littérature portait principalement sur la possibilité d'éliminer l'utilisation du styrène dans les procédés de fabrication d'objets en polyesters stratifiés par moulage par contact. L'information obtenue indique que les formulateurs de résine disposent d'alternatives au styrène comme solvant réactif mais que ces formulations n'ont pas atteint de façon significative le marché. D'autre part, même si certains substituts sont moins volatils que le styrène, par exemple les vinyltoluènes, et contribuent ainsi à diminuer la pollution externe, il reste des incertitudes sur l'effet de leur utilisation en terme de santé au travail. Il apparaît d'autre part que souvent ces produits sont utilisés en complément du styrène qui reste alors présent dans la formulation. Une voie intéressante qui diminue, mais ne supprime pas, l'émission de styrène en milieu de travail ainsi que dans l'environnement, consiste à utiliser des résines LSE lorsque le procédé le permet. De plus des techniques de ventilation bien adaptées aux divers procédés permettent de contrôler les niveaux de styrène en milieu de travail sous les limites réglementaires. Finalement l'implantation de techniques à moule fermé, notamment le moulage par transfert de résine, permettrait de considérablement diminuer les émissions de styrène bien qu'elle se heurte encore à des difficultés techniques et financières. Ces dernières avenues, les résines LSE, la ventilation et les moules fermés, seules ou en combinaison, demeurent ainsi les techniques à privilégier dans l'immédiat. Quant aux résines sans styrène elles sont l'objet de travaux de développement qui doivent encore faire leurs preuves au niveau technique comme toxicologique.

Troisième partie

Présentation de cas concrets de substitution des solvants

CHAPITRE 13. CAS CONCRETS DE SUBSTITUTION

13.1 INTRODUCTION

Plusieurs auteurs ont souligné l'importance grandissante de l'outil informatique dans le domaine de l'information en hygiène du travail (Begin, 1989; Takala, 1993). Certains ont proposé l'élaboration de banques de données spécialisées dans la fourniture d'informations devant aider les intervenants en santé et en sécurité du travail à partager avec d'autres les solutions qu'ils ont mis en oeuvre dans leur milieu (Swuste, 1994a; Swuste, 1994b). C'est dans cet esprit que nous avons entrepris l'élaboration d'une banque de données de cas concrets de substitution des solvants. Cet exercice, très incomplet comme nous allons le voir, s'est greffé au projet principal sans avoir été initialement prévu au protocole. Nous avons choisi de présenter ces données, même très partielles et sous forme papier seulement, à cause de l'intérêt qu'elles peuvent néanmoins représenter pour un certain nombre d'utilisateurs. La structure de la banque de données est présentée a l'annexe 5.

Les 260 cas recensés proviennent principalement de la littérature scientifique et technique mais aussi de données recueillies lors de l'enquête auprès des hygiénistes du réseau public québécois de santé au travail (voir l'annexe 2).

Les principaux critères de sélection sont les suivants:

- secteurs d'utilisation de solvants jugés prioritaires au Québec, c'est-à-dire ceux étudiés dans la deuxième partie du rapport;
- cas concrets réalisés en entreprise;
- substitution motivée pour des raisons de santé, de sécurité au travail ou pour la protection de l'environnement;
- minimum d'information de base: procédé de fabrication visé, nature du produit à remplacer et du produit substitutif, référence (pas de littérature commerciale).

Les contraintes de temps nous ont empêché d'extraire et d'inclure l'ensemble des cas disponibles dans les documents en notre possession. Pour les mêmes raisons, les informations recueillies lors de notre enquête dans les entreprises et les associations n'ont pu être incluses dans la banque. De même la saisie de certains champs n'est que partielle; c'est le cas notamment des champs du secteur économique et de la profession. Enfin, la qualité des sources documentaires étant très variable, il n'a pas été possible de fournir tous les éléments d'information pour chaque cas.

Afin de faciliter la recherche d'informations dans ce chapitre, la section suivante présente un index ventilant les cas selon le type de fabrication ou de procédé impliqué. Une éventuelle application informatique permettrait bien entendu une exploitation beaucoup plus souple de ces données.

13.2 INDEX DES CAS

Adhésifs	# DE CAS
Bois et dérivés:	3053 à 3056
Emballage flexible:	3052
Produits en chlorure de polyvinyle (PVC):	3050, 3051, 3058
Scellants:	3056, 3057
Décapage	
Entretien d'avions:	2017 à 2019, 2022 à 2105
Secteur maritime:	2106, 2107
Fabrication électronique:	1020, 2108
Imprimerie	
Flexographie:	1004, 1005, 1007, 1009, 1014 à 1018
Héliogravure **:**	1012
Offset:	1001, 1006, 1008, 1013, 1019, 2219, 3201 à 3216
Nettoyage - dégraissage	
Alimentation:	2206
Appareils électroménagers (fabrication):	1010, 2193
Armement (composants d'armes nucléaires) **:**	2109 à 2148
Clés, serrures (fabrication):	2195 à 2198
Cylindres de presse:	2021
Équipement de transport (fabrication, entretien):	2199, 2213, 2217, 2218
Engrenages (fabrication):	2187, 2020
Fabrication aérospatiale:	2189 à 2191, 2209
Industrie textile:	2207, 2210
Machines à extrusion:	2205
Meubles (fabrication):	2194, 2202
Outils (fabrication):	2192
Pâtes et papiers:	2016
Pièces métalliques:	2214 à 2216, 2200, 2201, 2203
Résine époxy:	2204
Téléimprimeurs:	2208

Usinage:	2211
Peintures, revêtements	
Bois:	3002, 3004, 3005
Formulation:	3000, 3008, 3009, 3011 à 3015, 3021, 3022, 3026, 3027
Produits métalliques:	1002, 1011, 3003, 3006, 3007, 3010, 3018 à 3020, 3023 à 3025, 3028 à 3038
Divers:	
Boîtiers d'ordinateur	3001
Composés pharmaceutiques	1003
Fibres non tissées	3017

13.3 CAS

No. d'enregistrement: 1001 **Référence:** Jacobsen, 1993
Production: Impression sur papier (livres, journaux) ou autre support (métal en feuille)
Poste de travail: 9512126 9512206
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Cylindre de presse recouvert d'une plaque d'aluminium ou de caoutchouc
Équipement/Méthode: Nettoyage avec un chiffon imbibé de solvant ou à l'aide d'un système automatique
Problème: Exposition du travailleur au solvant par voie aérienne ou cutanée.
Solution: Utilisation de nettoyant à base d'esters d'acides gras d'huiles végétales.
Résultats - Procédé: Augmentation de la durée de vie des blanchets.
Résultats - Intrants: Utilisation d'une plus petite quantité de nettoyant.
Résultats - Finances: Réduction des coûts de nettoyage.
Résultats - Autres: Réduction des risques d'incendie.
Commentaires: Cette solution est actuellement utilisée dans le tiers des imprimeries offset danoises.
Site: L'imprimerie allemande Friedrich Druck à Bielefeld, Evert-Druck en Allemagne, PLM Haustrup au Danemark, le Department of Graphie Professions du Copenhagen Technical School.
Voir aussi: Libner, 1993

No. d'enregistrement: 1002 **Référence:** Gardner, 1987
Production: Fabrication de machines-outils électriques fixes
Secteur économique: 3199
Poste de travail: 8595142
Procédé: Application d'un système de peinture à base de solvants organiques
Pièce/Matériau: Acier
Équipement/Méthode: Application de la peinture au fusil conventionnel
Problème: Exposition des peintres aux solvants de peinture.
Solution: Substituer un système de peinture à l'eau avec application électrostatique.
Résultats - Produit final: Amélioration du qualité du fini.
Résultats - Finances: 1. Augmentation de la productivité annuelle de US$1 million.
2. Réduction du coûts de la gestion des déchets.
Résultats - Émissions: Réduction des déchets dangereux.
Site: Emerson Electric Company, Murphy, North Carolina, USA
Voir aussi: Huisingh, 1986 pp 141-148

No. d'enregistrement: 1003 Référence: Gardner, 1987
Production: Fabrication de comprimés (pastilles pharmaceutiques)
Secteur économique: 3741
Poste de travail: 8599844
Procédé: Application d'un revêtement à base de solvants organiques sur les comprimés.
Pièce/Matériau: Comprimés
Équipement/Méthode: Applicateur d'aérosol pour enrober les comprimés pharmaceutiques d'un revêtement
Problème: COV
Solution: Substitution d'un revêtement aqueux avec utilisation d'un applicateur différent. Modification du mécanisme de pompage, de la tuyauterie et du système de contrôle. Augmentation de la puissance du système de séchage des comprimés.

Résultats - Finances: 1. Diminution de 15 000 $US sur le coût des solvants.
2. La compagnie n'a pas eu à installer un équipement antipolution évalué à 180 000 $US
3. Réduction des coûts de gestion des déchets
Résultats - Exposition: Réduction de l'exposition potentielle des travailleurs aux solvants
Résultats - Émissions: Réduction totale des COV

No. d'enregistrement: 1004 Référence: Gardner, 1987
Production: Fabrication d'étiquettes pour produits spécialisés
Secteur économique: 2819
Poste de travail: 9512166
Procédé: Impression des étiquettes
Pièce/Matériau: Étiquettes
Équipement/Méthode: Procédé flexographique
Problème: VOC
Solution: Substitution d'une encre à base d'eau pour l'encre traditionnelle à base d'alcool et d'acétate.
Résultats - Procédé: Réduction de la vitesse de production des imprimés.
Résultats - Intrants: Réduction des quantités de solvants utilisés.
Résultats - Produit final: La nouvelle encre ne peut être utilisée si le produit fini doit être lustré.
Résultats - Émissions: Réduction des émissions atmosphériques de solvants.
Site: Rexham Corporation, Greensboro, North Carolina, USA
Voir aussi: Huisingh, 1986 pp 62-66

No. d'enregistrement: 1005 **Référence:** Gardner, 1987
Production: Sacs en plastique
Secteur économique: 1691
Poste de travail: 9519194
Procédé: Impression sur plastique, extrusion de film en polyethylene, moulage par injection.
Pièce/Matériau: Polyethylene (LDPE)
Équipement/Méthode: Flexographie
Problème: Pollution de l'air
Solution: Substitution d'encres à base d'eau pour les encres à base d'alcools.
Résultats - Exposition: Amélioration de la qualité de l'air des locaux de travail
Commentaires: La conversion n'a pas été facile. Celle-ci a nécessité plusieurs changements dans la façon de travailler et dans la technique de fabrication. La mise en oeuvre des changements a mis à contribution tout le personnel de l'entreprise.
Site: Amko Plastics Inc, 12025 Tricon Road, Cincinnati, Ohio 45246-1792 USA (Tel: 513-671-1777)
Voir aussi: Makrauer, Georges A. (President and CEO of AMKO Plastics, Inc., Cincinnati, OH). Innovations in Flexographie Printing: Reducing VOCs With Water-based Inks When Printing on High-slip Polyethylene Films. Presented at the 80th Annual Meeting of APCA, New York, NY, June 21-26, 1987. (Tillman, 1991)

No. d'enregistrement: 1006 **Référence:** Hendriksen, 1990
Production: Imprimés de toute sorte
Poste de travail: 9512126 9512142 9518199
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Blanchet en caoutchouc, encrier et rouleaux en acier, clichés en aluminium.
Équipement/Méthode: Nettoyage à l'aide de chiffon imbibé de solvant
Problème: Exposition des travailleurs aux solvants par voie aérienne et cutanée.
Solution: Substitution d'huile de soya à cuisson pour les solvants de nettoyage.

Résultats - Procédé: 1. L'huile de soya est supérieure aux solvants pour le nettoyage des rouleaux d'encre.
2. Il est nécessaire de bien lubrifier les billes de roulement (ball bearings).
Résultats - Intrants: L'effet de l'huile de soya sur le caoutchouc nitrile des blanchets est moins néfaste que celui des solvants traditionnels.
Résultats - Exposition: Réduction considérable de l'exposition des travailleurs aux solvants de nettoyage.
Site: Copenhagen Technical School, Graphie Arts Department, Denmark
Nordic Institute for Coatings Research, Danemark.

No. d'enregistrement: 1007 Référence: Miller, 1993
Production: Étiquettes autocollantes
Secteur économique: 2819
Poste de travail: 9512166
Procédé: Impression d'étiquettes par flexographie
Pièce/Matériau: Étiquettes en papier avec support pelable en papier traité au silicone
Équipement/Méthode: Presse flexographique "narrow-web"
Problème: Exposition des travailleurs aux alcools des encres, aux solvants de nettoyage et crainte de futures poursuites en responsabilité en vertu des lois américaines de protection de l'environnement à cause des émissions de solvants dans l'air et des chiffons imbibés d'encre et de solvants considérés comme déchets dangereux.
Solution: Substitution d'encres et de nettoyeurs à base d'eau.
Résultats - Procédé: Réduction du temps de travail pour le nettoyage de l'encre.
Résultats - Produit final: Augmentation de la qualité du produit.
Résultats - Émissions: Réduction de 80 % des émissions de solvants dans l'air des locaux de travail. Réduction par un facteur de 10 de la toxicité des émanations de vapeurs de solvants et des déchets liquides générés par l'entreprise (d'après un calcul basé sur le "Degree-of-Hazard scheme" élaboré par le Hazardous Waste Research and Information Center, Illinois Dept. of Energy and Natural Resources à Champaign, Illinois)
Commentaires: L'entreprise n'a pas eu à effectuer d'investissement en capitaux sauf pour une unité absorbante pour recueillir les pigments d'encre juste avant de déverser les résidus liquides dans les égouts en conformité avec la réglementation locale.
L'imprimerie occupe un espace de 15 000 pieds carrés.
Site: MPI Label Systems, University Park, Illinois, USA

No. d'enregistrement: 1008 **Référence:** USEPA, 1989b
Production: Imprimés
Secteur économique: 2819
Poste de travail: 9515122
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Aluminium
Équipement/Méthode: Fabrication des clichés en utilisant une développeur à base de solvant
Problème: Déchets dangereux.
Solution: Modifier l'appareil servant à développer les clichés ou acheter un nouvel appareil à développer les clichés utilisant une solution aqueuse comme développeur.
Résultats - Procédé: Élimination des solvants toxiques dans le processus de développement des plaques offset (clichés).
Résultats - Finances: US$1 500 pour modifier l'appareil existant ou US$10 000 à 13 000 pour l'achat d'un nouvel appareil.

No. d'enregistrement: 1009 Référence: USEPA, 1989b
Production: Étiquettage de paquets pour les entreprises
Secteur économique: 2819
Procédé: Impression flexographique, revêtement organique et application d'adhésifs
Équipement/Méthode: Presse utilisant des encres à base de solvants
Problème: VOC
Solution: Substitution d'encres à base d'eau
Résultats - Émissions: Réduction des VOC
Commentaires: L'investissement en capitaux à été minime mais l'expérimentation avec les nouvelles encres a pris beaucoup de temps.

No. d'enregistrement: 1010 Référence: Huisingh, 1986
Production: Fabrication de petits appareils électroménagers
Secteur économique: 3311
Procédé: Dégraissage de pièces métalliques embouties
Pièce/Matériau: Métal
Équipement/Méthode: Dégraissage avec du 1, 1, 1-trichloroéthane
Problème: Gestion dispendieuse des déchets dangereux. Prix élevé du 1, 1, 1-trichloroéthane. Danger pour la santé des travailleurs.
Solution: Substituer un nettoyant synthétique à base d'eau au 1, 1, 1-trichloroéthane.
Résultats - Procédé: Toutes les pièces ne peuvent pas être dégraissées par le nouveau nettoyant aqueux car ce dernier favorise la corrosion des pièces galvanisées.
Résultats - Intrants: Réduction de 30% de l'utilisation de 1, 1, 1-trichloroéthane.
Résultats - Finances: La compagnie rapporte qu'elle épargne US$ 12 000 annuellement à cause de cette substitution.
Site: Hamilton Beach Division of Scovill, Inc., Clinton, North Carolina, USA
GuyTilford (819) 592-0121)

No. d'enregistrement: 1011 Référence: Huisingh, 1986
Production: Entreposage d'huiles de graissage
Secteur économique: 5112
Poste de travail: 8595142
Procédé: Reconditionnement sur place des barils en métal servant à l'expédition des graisses: Décapage/dégraissage et application de peintures.
Pièce/Matériau: Baril métallique de 55 gallons
Équipement/Méthode: Application au fusil d'une peinture à base de solvants
Problème: Pollution de l'atmosphère extérieure. Exposition des travailleurs au brouillard de peintures.
Solution: Substitution d'une peinture à l'eau pour la peinture à base de solvants.
Résultats - Finances: Réduction des coûts de gestion des déchets dangereux.
Résultats - Exposition: Amélioration de la qualité de l'air intérieur.
Commentaires: Cette compagnie a aussi substitué un système de nettoyage des barils qui utilise un jet d'eau à haute pression pour un système utilisant la soude caustique.
Site: Chevron USA Inc.
Louisville, Kentucky
Steve Raatz (502) 556-5607

No. d'enregistrement: 1012 **Référence:** Gaines, 1993
Production: Impression sur carton de paquet de cigarettes
Secteur économique: 2819

Poste de travail: 9512122
Procédé: Presse à imprimer rotative
Pièce/Matériau: Carton
Équipement/Méthode: Héliogravure
Problème: Exposition des travailleurs au toluène et évacuation du toluène dans l'air à l'extérieur de l'imprimerie
Solution: Substituer l'encre à base d'un mélange toluène/acétate par une encre ne contenant que de l'acétate d'isopropyle comme solvant
Résultats - Produit final: La qualité du produit final est inchangée
Résultats - Exposition: Élimination de l'exposition des travailleurs au toluène provenant des encres
Résultats - Émissions: Élimination de l'émission de toluène dans l'atmosphère provenant des encres

No. d'enregistrement: 1013 **Référence:** Anonyme, 1990
Production: Impression sur papier
Procédé: Presse à imprimer sur feuille ou rotative
Pièce/Matériau: Papier
Équipement/Méthode: Offset
Problème: Exposition des travailleurs à l'isopropanol et rejets dans l'air à l'extérieur de cet alcool
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
2, 2, 4-Triméthyl-1, 3-pentanediol monoisobutyrate	5-0. 01%
2-Propoxyéthanol	95-99. 99%

Solution: Substituer une solution de fontaine à base de 2-propoxyéthanol à celle contenant l'isopropanol.
Résultats - Intrants: On utilise de 1/3 à 1/2 fois moins du concentré de solution de fontaine 11013 que d'isopropanol. Élimination de l'isopropanol.
Résultats - Exposition: Élimination de l'exposition des travailleurs à l'isopropanol
Résultats - Émissions: Élimination des rejets d'isopropanol à l'extérieur
Commentaires: L'isopropanol a été éliminé mais en introduisant un éther de glycol dans la solution quoiqu'en proportion moindre. Les éthers de glycols sont plus toxiques que l'isopropanol.

No. d'enregistrement: 1014 **Référence:** Hunt, 1993
Production: Fabrication de clichés pour les imprimeries flexographiques
Procédé: Développement des clichés de flexographie
Pièce/Matériau: Photopolymère sur plaque métallique
Équipement/Méthode: Développement du cliché dans une machine à développer à l'aide d'un solvant approprié
Composition du produit à remplacer::

Ingrédient	Numéro CAS	Concentration
Butanol	71-36-3	25
Tétrachloroéthylène	127-18-4	75

Problème: Présence d'un solvant chloré à prohiber du point de vue des émissions environnementales
Nom du produit substitutif: Nylosolv II
Nom du produit fournisseur: BASF
Solution: Utilisation d'un solvant plus acceptable du point de vue environnemental et possédant un point d'éclair plus élevé

No. d'enregistrement: 1015 **Référence:** Hunt, 1993
Production: Fabrication de clichés pour les imprimeries flexographiques

Procédé: Développement des clichés de flexographie
Pièce/Matériau: Photopolymère sur plaque métallique
Équipement/Méthode: Développement du cliché dans une machine à développer à l'aide d'un solvant approprié
Composition du produit à remplacer::

Ingrédient	Numéro CAS	Concentration
Butanol	71-36-3	25
Tétrachloroéthylène	127-18-4	75

Problème: Présence d'un solvant chloré à prohiber du point de vue des émissions environnementales
Nom du produit substitutif: Optisol
Nom du produit fournisseur: Du Pont
Solution: Utilisation d'un solvant plus acceptable du point de vue environnemental et possédant un point d'éclair plus élevé

No. d'enregistrement: 1016 Référence: Hunt, 1993
Production: Fabrication de clichés pour les imprimeries flexographiques
Procédé: Développement des clichés de flexographie
Pièce/Matériau: Photopolymère sur plaque métallique
Équipement/Méthode: Développement du cliché dans une machine à développer à l'aide d'un solvant approprié
Composition du produit à remplacer:

Ingrédient	Numéro CAS	Concentration
Butanol	71-36-3	25
Tétrachloroéthylène	127-18-4	75

Problème: Présence d'un solvant chloré à prohiber du point de vue des émissions environnementales
Nom du produit substitutif: Flex-Light Solvit
Nom du produit fournisseur: Grâce
Solution: Utilisation d'un solvant plus acceptable du point de vue environnemental et possédant un point d'éclair plus élevé

No. d'enregistrement: 1017 Référence: Hunt, 1993
Production: Fabrication de clichés pour les imprimeries flexographiques
Procédé: Développement des clichés de flexographie
Pièce/Matériau: Photopolymère sur plaque métallique
Équipement/Méthode: Développement du cliché dans une machine à développer à l'aide d'un solvant approprié
Composition du produit à remplacer::
Ingrédient
Hydrocarbure chloré
Problème: Entreposage et évacuation des déchets dangereux
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Détergent neutre
Eau
Solution: Substitution d'une solution aqueuse de détergent au solvant d'hydrocarbure chloré. Cette solution nécessite aussi l'utilisation du système de développement DIC Cosmoflex et des clichés Cosmolight qui ont été élaborés conjointement par Dainippon Inks & Chemicals et Toyobo
Résultats - Procédé: Le temps d'exposition des clichés et de développement est comparable aux clichés à solvants alors que le temps de séchage est réduit. Le gonflement des clichés est réduit, ce qui permet

une meilleure résolution
Résultats - Intrants: Élimination du solvant chloré
Résultats - Produit final: Le cliché fonctionne bien par la suite avec les encres à solvants et les encres à base d'eau
Résultats - Émissions: Le photopolymère des zones non imprimantes qui est entrainé par la solution de lavage est receuilli dans un réservoir laminé de polyethylene et expédié après quelques mois d'utilisation dans un dépotoir (landfill waste) de même que la solution de lavage.

No. d'enregistrement: 1018 Référence: Hunt, 1993
Production: Fabrication de clichés pour les imprimeries flexographiques
Procédé: Développement des clichés de flexographie
Pièce/Matériau: Photopolymère sur plaque métallique
Équipement/Méthode: Développement du cliché dans une machine à développer à l'aide d'un solvant approprié
Composition du produit à remplacer::
Ingrédient
Hydrocarbure chloré
Problème: Entreposage et évacuation des déchets dangereux
Solution: Substitution de l'eau au solvant d'hydrocarbure chloré. Cette solution nécessite aussi l'utilisation du système de développement DTP-HI Series et des clichés Torelief de la compagnie Toray
Résultats - Procédé: Le temps de développement des clichés est de 11 minutes
Résultats - Intrants: Élimination du solvant chloré
Résultats - Émissions: La machine à développement possède une unité de filtration qui recueille les résidus de photopolymère en permettant aussi l'évacuation de l'eau filtrée

No. d'enregistrement: 1019 **Référence:** Anonyme, 1993d
Production: Imprimés de haute qualité sur papier: publicité, rapports annuels.
Secteur économique: 2819
Poste de travail: 9512126
Procédé: Offset à feuilles
Pièce/Matériau: Sur papier
Équipement/Méthode: Presse à feuilles à 6 couleurs 28"
Nom du produit à remplacer: Non mentionné
Problème: Exposition des pressiers à l'isopropanol ou à d'autres solvants provenant de la solution de fontaine
Nom du produit substitutif: Non mentionné
Solution: Achat d'une presse à six couleurs 28" sans eau de marque Akiyama Bestech. Substitution des clichés Toray Waterless Plates de la firme japonaise Toray Industries, Inc, (Toray Marketing and Sales (America), Inc., 600 Third Avenue, New York, NY, Tel: 212-697-8150, Fax: 212-972-4279) aux plaques conventionnelles. Utilisation d'encres de marque DriLith de la compagnie Sun Chemical/General Printing Ink.
Résultats - Intrants: Élimination d'une partie de la solution de fontaine utilisée dans l'entreprise
Résultats - Produit final: Les imprimés sont d'une qualité supérieure au procédé traditionnel
Résultats - Exposition: Réduction probable de l'exposition des travailleurs à l'isopropanol ou aux autres solvants utilisés dans les solutions de fontaine
Résultats - Émissions: Réduction certaine des émissions de solvants à cause de l'élimination des solutions de fontaine avec le procédé sans eau
Résultats - Autres: La qualité du produit fini s'étant améliorée, les clients de la compagnie ont commencé à exiger que certains imprimés soient produits avec l'offset sans eau

Site: Bayshore Press, Santa Cruz, California (Mark Hoover, vice-president of operations. Richard Bitzer, president and owner). C'est une compagnie avec 35 employés dont le chiffre d'affaire annuel est de $3 millions US.
Voir aussi: NAPL, 1993; Anonyme, 1993b; Cross, 1992a; Cross, 1992b; Cross, 1993c; Cross, 1993a; Cross, 1993d; Cross, 1993b.

No. d'enregistrement: 1020 **Référence:** Voir section CTC BBS de l'annexe 1.
Production: Équipement électronique, circuits électroniques et postes de travail d'ordinateurs
Secteur économique: 3352 3361
Poste de travail: 9519158 9519158
Procédé: Sérigraphie pour la fabrication des circuits électroniques
Pièce/Matériau: Écrans par lesquels les circuits électroniques sont "imprimés"
Équipement/Méthode: Nettoyage des écrans à l'aide de solvant
Nom du produit à remplacer: Chlorofluorocarbures (CFC)
Problème: Émission de CFC dans l'atmosphère extérieure
Nom du produit substitutif: Isopropanol
Solution: Nettoyage à l'aide d'isopropanol dans la machine servant au nettoyage des écrans. La compagnie effectue dorénavant le brasage tendre sous atmosphère d'azote, ce qui réduit la quantité de crasses à nettoyer.
Résultats - Finances: Réduction des coûts annuels de $66,408. US
Résultats - Émissions: Élimination totale des CFC
Résultats - Autres: Les temps d'arrêt de la production sont réduits de 375 heures par année
Site: NCR Workstation Products Division, Liberty, South Carolina (Téléphone: 803-843-1500)
Voir aussi: "NCR's "No Clean" Solution to the Elimination of CFCs." Spring 1993. Pollution Prevention in South Carolina. Hazardous Waste Management Research Fund, Institute of Public Affairs, University of South Carolina, Columbia, SC. Les renseignements obtenus pour l'élaboration de la présente fiche ont été obtenus d'un babillard électronique (COMPLI BBS de l'EPA Technology Transfer Network à Research Triangle Park, NC)

No. d'enregistrement: 2017 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: Dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-2377
Nom du produit substitutif: acide acétique glacial
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat)
Résultats - Autres: plus lent que l'acide formique

No. d'enregistrement: 2018 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-C-81352
Nom du produit substitutif: acide acétique glacial
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat)
Résultats - Autres: plus lent que l'acide formique

No. d'enregistrement: 2019 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp1&2
Nom du produit substitutif: acide acétique glacial
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat)
Résultats - Autres: plus lent que l'acide formique

No. d'enregistrement: 2020 Référence: Hague, 1989
Production: Usinage d'engrenages
Procédé: Coupage, usinage
Pièce/Matériau: Engrenages
Équipement/Méthode: Dégraissage manuel par trempage. Pièces déposées sur un tamis métallique et plongées dans un bain de trichloroéthylène.
Nom du produit à remplacer: trichloroéthylène
Problème: Irritation des yeux et de la peau, malgré le port des vêtements de protection. Odeur désagréable.
Nom du produit substitutif: Isopar
Nom du produit fournisseur: Exxon
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
hydrocarbures paraffiniques
Solution: Dégraissage maintenant exécuté dans un bain fermé muni d'un bras arroseur rotatif. Durée du cycle de dégraissage: 30-120 s. Séchage à l'air ne dure que quelque minutes.
Résultats - Procédé: Satisfaisant
Résultats - Exposition: Élimination des plaintes des travailleurs.

No. d'enregistrement: 2021 **Référence:** Hague, 1989
Production: Cylindres de presse (plaqués chrome)
Procédé: Nettoyage des pâtes de polissage et des produits anticorrosifs.
Pièce/Matériau: Rouleaux de presse
Équipement/Méthode: Dégraissage à la vapeur
Nom du produit à remplacer: 1, 1, 1-trichloroéthane
Problème: Maux de tête, irritation des yeux et de la peau.
Nom du produit substitutif: Nappar
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
hydrocarbures napthéniques
Solution: Dégraissage avec le Nappar à la température de la pièce. Durée maximale de dégraissage: 120 s. Les pièces sont ensuite enlevées du bain et arrosées à la main. Le solvant s'évapore en quelques minutes.
Résultats - Procédé: Lorsque les équipements ne sont pas utilisés pendant la fin de semaine, les résidus s'accumulent au fond du bac et le solvant propre peut être récupéré. La distillation du solvant n'est donc plus nécessaire.
Résultats - Exposition: Élimination des problèmes de santé.

No. d'enregistrement: 2022 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-E-15090
Nom du produit substitutif: acide acétique glacial
Résultats - Procédé: 2/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat)
Résultats - Autres: plus lent que l'acide formique

No. d'enregistrement: 2023 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: acide chlorhydrique
Résultats - Procédé: 1/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat)

No. d'enregistrement: 2024 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-C-81352
Nom du produit substitutif: acide chlorhydrique
Résultats - Procédé: 1/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat)

No. d'enregistrement: 2025 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp1&2
Nom du produit substitutif: acide chlorhydrique
Résultats - Procédé: 1/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat)

No. d'enregistrement: 2026 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp1&2
Nom du produit substitutif: esters dibasiques
Résultats - Procédé: 0/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat)

No. d'enregistrement: 2027 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture

Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp1&2
Nom du produit substitutif: N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 2/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat)

No. d'enregistrement: 2028 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de Mil-P-23377
Nom du produit substitutif: Diméthylsulfoxyde/N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 2/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: L'utilisation d'un détergent facilite le mouillage et accélère le décapage.

No. d'enregistrement: 2029 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de Mil-C-81352
Nom du produit substitutif: Diméthylsulfoxyde/N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 2/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: L'utilisation d'un détergent facilite le mouillage et accélère le décapage.

No. d'enregistrement: 2030 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de Mil-P-23377
Nom du produit substitutif: 3-éthoxyproprionate d'éthyle
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat). Aussi efficace lorsque épaissi avec de la gélatine Knox. Utilisé surtout en tant qu'additif dans des mélanges commerciaux.

No. d'enregistrement: 2031 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de Mil-P-23377
Nom du produit substitutif: acide acétique 50 % / triacetin 50 %
Résultats - Procédé: 1/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat). Enlève la peinture en phase vapeur. Une légère variation de la composition affecte peu l'efficacité. La vitesse d'action est proportionnelle à la teneur en acide acétique.

No. d'enregistrement: 2032 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions

Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de Mil-P-23377
Nom du produit substitutif: acide acétique 50 % / MOK (méthyloctylcétone) 50 %
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2033 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp1&2
Nom du produit substitutif: esters dibasiques 50 % / N-méthylpyrrolidone 50 %
Résultats - Procédé: 1/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2034 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de Mil-P-23377
Nom du produit substitutif: Éthanol 50 % /Hydroxyde de potassium 50 %
Commentaires: pH > 14
Résultats - Procédé: 1/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2035 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de Mil-C-81352
Nom du produit substitutif: Éthanol 50 % /Hydroxyde de potassium 50 %
Commentaires: pH > 14
Résultats - Procédé: 0/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2036 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp1&2
Nom du produit substitutif: Éthanol 50 % /Hydroxyde de potassium 50 %
Résultats - Procédé: 0/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2037 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs

Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: EXP 888
Nom du produit fournisseur: Brulin
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
diéthylèneglycol
oxyde de dibutyle
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 0/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2038 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: EXP2187
Nom du produit fournisseur: Brulin
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
diéthylèneglycol
oxyde de dibutyle
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 2/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée.

No. d'enregistrement: 2039 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: EXP 2187 mod
Nom du produit fournisseur: Brulin
Commentaires: Préparation plus forte du EXP 2187 de Brulin.
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
diéthylèneglycol
oxyde de dibutyle
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée.

No. d'enregistrement: 2040 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane

Problème: Décapage de MIL-C-83286
Nom du produit substitutif: EXP 2187 mod
Nom du produit fournisseur: Brulin
Commentaires: Préparation plus forte du EXP 2187 de Brulin.
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
diéthylèneglycol
oxyde de dibutyle
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée.

No. d'enregistrement: 2041 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp1
Nom du produit substitutif: EXP 2187 mod
Nom du produit fournisseur: Brulin
Commentaires: Préparation plus forte du EXP 2187 de Brulin.
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
diéthylèneglycol
oxyde de dibutyle
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée.

No. d'enregistrement: 2042 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp2
Nom du produit substitutif: EXP 2187 mod
Nom du produit fournisseur: Brulin
Commentaires: Préparation plus forte du EXP 2187 de Brulin.
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
diéthylèneglycol
oxyde de dibutyle
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée.

No. d'enregistrement: 2043 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture

Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-85582
Nom du produit substitutif: EXP 2187 mod
Nom du produit fournisseur: Brulin
Commentaires: Préparation plus forte du EXP 2187 de Brulin.
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
diéthylèneglycol
oxyde de dibutyle
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée.

No. d'enregistrement: 2044 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-E-15090
Nom du produit substitutif: EXP 2187 mod
Nom du produit fournisseur: Brulin
Commentaires: Préparation plus forte du EXP 2187 de Brulin.
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
diéthylèneglycol
oxyde de dibutyle
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée.

No. d'enregistrement: 2045 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS-10-101 (MIL-C-27725)
Nom du produit substitutif: EXP 2187 mod
Nom du produit fournisseur: Brulin
Commentaires: Préparation plus forte du EXP 2187 de Brulin.
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
diéthylèneglycol
oxyde de dibutyle
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 1/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée.

No. d'enregistrement: 2046 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de TT-P-645
Nom du produit substitutif: EXP 2187 mod
Nom du produit fournisseur: Brulin
Commentaires: Préparation plus forte du EXP 2187 de Brulin.
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
diéthylèneglycol
oxyde de dibutyle
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application *à* température élevée.

No. d'enregistrement: 2047 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-L-8937
Nom du produit substitutif: EXP 2187 mod
Nom du produit fournisseur: Brulin
Commentaires: Préparation plus forte du EXP 2187 de Brulin.
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
diéthylèneglycol
oxyde de dibutyle
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 5/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée.

No. d'enregistrement: 2048 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-L-81352
Nom du produit substitutif: EXP 2187 mod
Nom du produit fournisseur: Brulin
Commentaires: Préparation plus forte du EXP 2187 de Brulin.
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
diéthylèneglycol
oxyde de dibutyle
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 5/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

Commentaires: Application à température élevée.

No. d'enregistrement: 2049 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS-5-95G
Nom du produit substitutif: EXP 2187 mod
Nom du produit fournisseur: Brulin
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
diéthylèneglycol
oxyde de dibutyle
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 2/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée.

No. d'enregistrement: 2050 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de TT-V-119
Nom du produit substitutif: EXP 2187 mod
Nom du produit fournisseur: Brulin
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
diéthylèneglycol
oxyde de dibutyle
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 5/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée.

No. d'enregistrement: 2051 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: Safety Strip 1000
Nom du produit fournisseur: Brulin
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
2-butoxyéthanol
3-éthoxyproprionate d'éthyle
Résultats - Procédé: 1/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2052 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: E60988
Nom du produit fournisseur: DuPont
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
esters dibasiques
Exxon Aromatic 200
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2053 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-L-81352
Nom du produit substitutif: E60988
Nom du produit fournisseur: DuPont
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
esters dibasiques
Exxon Aromatic 200
N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: 2/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2054 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: J-7040
Nom du produit fournisseur: IRCL
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
acide sulfonique
diméthylformamide
dodécylbenzène
glutarate de diméthyle
N-méthylpyrrolidone
solvant aromatique de pétrole
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Trop lent sur les revêtements de surface ("topcoats").

No. d'enregistrement: 2055 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377/ MIL-C-83286
Nom du produit substitutif: J-7040
Nom du produit fournisseur: IRCL
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
acide sulfonique
diméthylformamide
dodécylbenzène
glutarate de diméthyle
N-méthylpyrrolidone
solvant aromatique
Résultats - Procédé: 0/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Trop lent sur les revêtements de surface ("topcoats").

No. d'enregistrement: 2056 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp1&2
Nom du produit substitutif: J-7040
Nom du produit fournisseur: IRCL
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
acide sulfonique
diméthylformamide
dodécylbenzène
glutarate de diméthyle
N-méthylpyrrolidone
solvant aromatique
Résultats - Procédé: 1/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Trop lent sur les revêtements de surface ("topcoats").

No. d'enregistrement: 2057 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-L-81352
Nom du produit substitutif: J-7040
Nom du produit fournisseur: IRCL
Composition du produit substitutif:

Ingrédient
acide formique
acide sulfonique
diméthylformamide
dodécylbenzène
glutarate de diméthyle
N-méthylpyrrolidone
solvant aromatique
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Trop lent sur les revêtements de surface ("topcoats").

No. d'enregistrement: 2058 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: LP4566 thin
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2059 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-C-83286
Nom du produit substitutif: LP4566 thin
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2060 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp1
Nom du produit substitutif: LP4566 thin
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient

acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2061 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp2
Nom du produit substitutif: LP4566 thin
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2062 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-85582
Nom du produit substitutif: LP4566 thin
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 5/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2063 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-E-15090
Nom du produit substitutif: LP4566 thin
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibyutylthiourée
Résultats - Procédé: 2/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2064 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture

Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de TT-P-645
Nom du produit substitutif: LP4566 thin
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2065 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS-10-101 (MIL-C-27725)
Nom du produit substitutif: LP4566 thin
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 0/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2066 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-L-81352
Nom du produit substitutif: LP4566 thin
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2067 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de TT-V-119
Nom du produit substitutif: LP4566 thin
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient

acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2068 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de Mil-P-23377
Nom du produit substitutif: LP4566 thick
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2069 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-C-83286
Nom du produit substitutif: LP4566 thick
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2070 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp1
Nom du produit substitutif: LP4566 thick
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2071 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture

Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp2
Nom du produit substitutif: LP4566 thick
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2072 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-85582
Nom du produit substitutif: LP4566 thick
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 5/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2073 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-E-15090
Nom du produit substitutif: LP4566 thick
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2074 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de TT-P-645
Nom du produit substitutif: LP4566 thick
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient

acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2075 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-L-81352
Nom du produit substitutif: LP4566 thick
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2076 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS-10-101 (MIL-C-27725)
Nom du produit substitutif: LP4566 thick
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 0/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2077 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS-5-95G
Nom du produit substitutif: LP4566 thick
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2078 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture

Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de TT-V-119
Nom du produit substitutif: LP4566 thick
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide formique
dibutylthiourée
Résultats - Procédé: 2/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2079 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: CF20
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient Concentration
acide propionique 99 %
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2080 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp2
Nom du produit substitutif: CF20
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient Concentration
acide propionique 99 %
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2081 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp1&2
Nom du produit substitutif: CF20
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:
Ingrédient Concentration
acide propionique 99 %
Résultats - Procédé: 2/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2082 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de TT-P-645
Nom du produit substitutif: CF20
Nom du produit fournisseur: ManGill
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
acide propionique	99 %

Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2083 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: 108-PT-14
Nom du produit fournisseur: Oakite
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide dodécylbenzènesulfonique
acide formique
hydrocarbures aromatiques
nonylphénoxypolyéthoxyéthanol
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat). Difficile à utiliser.

No. d'enregistrement: 2084 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-L-81352
Nom du produit substitutif: 108-PT-14
Nom du produit fournisseur: Oakite
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide dodécylbenzènesulfonique
acide formique
hydrocarbures aromatiques
nonylphénoxypolyéthoxyéthanol
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat). Difficile à utiliser.

No. d'enregistrement: 2085 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs

Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: 108-PA-126/8035PD
Nom du produit fournisseur: Oakite
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide dodécylbenzènesulfonique
acide formique
hydrocarbures aromatiques
nonylphénoxypolyéthoxyéthanol
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2086 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: 108-NF-2
Nom du produit fournisseur: Oakite
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
alcool tétrahydrofurfurylique
méthyldiglycol
hydrocarbures aromatiques
monoéthanolamine
phénoxypolyéthoxyéthanol de benzyle
phosphate de tributyle
Résultats - Procédé: 2/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2087 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: Flexsolve
Nom du produit fournisseur: Oakite
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
dodécylbenzènesulfonate de sodium
phénylglycol
méthyldipropylèneglycol
hydroxyde de sodium
Résultats - Procédé: 1/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2088 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture

Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: EXP 789
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acétate oxodécylique
N-méthylpyrrolidone
Solution: Température élevée
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée. Enlève la couche de surface ("topcoat") mais pas l'apprêt.

No. d'enregistrement: 2089 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377, MIL-C-83286
Nom du produit substitutif: EXP 789
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acétate oxodécylique
N-méthylpyrrolidone
Solution: Température élevée
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée. Enlève la couche de surface ("topcoat") mais pas l'apprêt.

No. d'enregistrement: 2090 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp1
Nom du produit substitutif: EXP 789
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acétate oxodécylique
N-méthylpyrrolidone
Solution: Température élevée
Résultats - Procédé: 2/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée. Enlève la couche de surface ("topcoat") mais pas l'apprêt.

No. d'enregistrement: 2091 Référence: Larson., 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS10-11 Tp1&2
Nom du produit substitutif: EXP 789
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acétate oxodécylique
N-méthylpyrrolidone
Solution: Température élevée
Résultats - Procédé: 2/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée. Enlève la couche de surface ("topcoat") mais pas l'apprêt.

No. d'enregistrement: 2092 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de BMS-10-101 (MIL-C-27725)
Nom du produit substitutif: EXP 789
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acétate oxodécylique
N-méthylpyrrolidone
Solution: Température élevée
Résultats - Procédé: 0/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée. Enlève la couche de surface ("topcoat") mais pas l'apprêt.

No. d'enregistrement: 2093 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de TT-P-645
Nom du produit substitutif: EXP 789
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acétate oxodécylique
N-méthylpyrrolidone
Solution: Température élevée
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée. Enlève la couche de surface ("topcoat") mais pas

l'apprêt.

No. d'enregistrement: 2094 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-L-81352
Nom du produit substitutif: EXP 789
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acétate oxodécylique
N-méthylpyrrolidone
Solution: Température élevée
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée. Enlève la couche de surface ("topcoat") mais pas l'apprêt.

No. d'enregistrement: 2095 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de TT-V-119
Nom du produit substitutif: EXP 789
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acétate oxodécylique
N-méthylpyrrolidone
Solution: Température élevée
Résultats - Procédé: 5/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).
Commentaires: Application à température élevée. Enlève la couche de surface ("topcoat") mais pas l'apprêt.

No. d'enregistrement: 2096 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: 6088A thin
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide hydroxyacétique
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2097 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-E-15090
Nom du produit substitutif: 6088A thin
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide hydroxyacétique
Résultats - Procédé: 2/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2098 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-L-81352
Nom du produit substitutif: 6088A thin
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide hydroxyacétique
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2099 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de TT-V-119
Nom du produit substitutif: 6088A thin
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide hydoxyacétique
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2100 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: 6088A thick
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient

acide hydroxyacétique
Résultats - Procédé: 4/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2101 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-85582
Nom du produit substitutif: 6088A thick
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide hydroxyacétique
Résultats - Procédé: 5/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2102 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-E-15090
Nom du produit substitutif: 6088A thick
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide hydroxyacétique
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2103 Référence: Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de TT-P-645
Nom du produit substitutif: 6088A thick
Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide hydroxyacétique
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2104 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-L-81352
Nom du produit substitutif: 6088A thick

Nom du produit fournisseur: Turco
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
acide hydroxyacétique
Résultats - Procédé: 3/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2105 **Référence:** Larson, 1990
Production: Entretien d'avions
Procédé: Décapage de peinture
Pièce/Matériau: aéronefs
Nom du produit à remplacer: dichlorométhane
Problème: Décapage de MIL-P-23377
Nom du produit substitutif: SR3000
Nom du produit fournisseur: Westcoat Paper
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
amide cyclique
mélange d'éthers du diéthylèneglycol
Résultats - Procédé: 0/5 (0: aucun effet, 5: effet immédiat).

No. d'enregistrement: 2106 Référence: Carnes, 1991
Production: Chantier maritime
Procédé: Décapage de peinture, enlèvement de rouille
Nom du produit substitutif: Grenaille en acier
Solution: Application par robots.
Résultats - Procédé: Taux de décapage de 492 à 2 096 pi. ca. /h
Résultats - Intrants: Consommation d'énergie réduite.
Résultats - Émissions: Diminution des émissions atmosphériques et des déchets dangereux.
Résultats - Autres: Diminution de la main-d'oeuvre requise.

No. d'enregistrement: 2107 Référence: Carnes, 1991
Production: Transport maritime
Procédé: Nettoyage des conteneurs.
Nom du produit substitutif: Grenaille en acier
Solution: Application semiautomatisée utilisant des turbines.
Résultats - Procédé: Rapide, efficace.
Résultats - Autres: La grenaille est recyclable.

No. d'enregistrement: 2108 Référence: Words and Publications, 1992
Production: Pièces électroniques
Procédé: Nettoyage de plaquettes de circuits imprimés
Pièce/Matériau: Plaquettes de circuits imprimés
Équipement/Méthode: Nettoyage en phase vapeur.
Nom du produit à remplacer: CFC-113, 1, 1, 1-trichloroéthane
Nom du produit substitutif: Technologies sans nettoyage
Solution: Adoption du flux Lonco 25 pour le soudage à la vague sous atmosphère contrôlée. Nettoyage semi-aqueux des flux hydrosolubles. Nettoyage avec un mélange éthanoliisopropanol (90: 10) pour les retouches.
Résultats - Produit final: Qualité acceptable; plaquettes plus propres qu'avec le CFC-113 ou le

1, 1, 1-trichloroéthane.

No. d'enregistrement: 2109 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'une huile anti-rouille
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Solvent 140
Résultats - Produit final: Plus efficace que le CFC-113

No. d'enregistrement: 2110 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'une huile anti-rouille
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Nettoyants aqueux
Solution: Nettoyage aux ultrasons
Résultats - Procédé: Ces produits permettent un meilleur nettoyage des pièces que celui obtenu par les **solvants suivants:** le Solvent 140, les terpènes, le NMP, le méthyldipropylèneglycol, le lactate d'éthyle, l'anisole, l'acétate de méthylpropylèneglycol, l'éthanol dénaturé et l'isopropanol.

No. d'enregistrement: 2111 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'une huile anti-rouille
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Nettoyants à base de terpènes
Résultats - Procédé: Aussi efficaces que le CFC-113.

No. d'enregistrement: 2112 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'une huile anti-rouille
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: Aussi efficace que le CFC-113.

No. d'enregistrement: 2113 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'une huile anti-rouille
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Méthyldipropylèneglycol
Résultats - Procédé: Inefficace

No. d'enregistrement: 2114 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'une huile anti-rouille
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L

Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Lactate d'éthyle
Résultats - Procédé: Inefficace

No. d'enregistrement: 2115 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'une huile anti-rouille
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Anisole
Résultats - Procédé: Inefficace

No. d'enregistrement: 2116 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'une huile anti-rouille
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Acétate du méthylpropylèneglycol
Résultats - Procédé: Inefficace

No. d'enregistrement: 2117 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'une huile anti-rouille
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Éthanol dénaturé à l'acétone
Résultats - Procédé: Inefficace

No. d'enregistrement: 2118 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'une huile anti-rouille
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Isopropanol
Résultats - Procédé: Inefficace

No. d'enregistrement: 2119 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement de l'huile de rodage
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: Nettoyants aqueux
Solution: Nettoyage aux ultrasons
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Solvent 140: méthyldipropylèneglycol
Solvent 140
N-méthylpyrrolidone
Acétate du méthylpropylèneglycol
Anisole

terpènes, lactate d'éthyle, méthyldipropylèneglycol

No. d'enregistrement: 2120 **Référence:** Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement de l'huile de rodage
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: Solvent 140: EMDP
Composition du produit substitutif:
Ingrédient Concentration
Méthyldipropylèneglycol 5 %
Solvent 140 95 %
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Solvent 140: méthyldipropylèneglycol
Solvent 140
N-méthylpyrrolidone
Acétate du méthylpropylèneglycol
Anisole
terpènes, lactate d'éthyle, méthyldipropylèneglycol

No. d'enregistrement: 2121 **Référence:** Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement de l'huile de rodage
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: Solvent 140
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Solvent 140: méthyldipropylèneglycol
Solvent 140
N-méthylpyrrolidone
Acétate du méthylpropylène glycol
Anisole
terpènes, lactate d'éthyle, méthyldipropylèneglycol

No. d'enregistrement: 2122 **Référence:** Thompson, 199C
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement de l'huile de rodage
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Solvent 140: méthyldipropylèneglycol
Solvent 140
N-méthylpyrrolidone
Acétate du méthylpropylène glycol
Anisole
terpènes, lactate d'éthyle, méthyldipropylèneglycol

No. d'enregistrement: 2123 **Référence:** Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement de l'huile de rodage
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: Acétate du méthylpropylèneglycol
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Solvent 140: méthyldipropylèneglycol
Solvent 140
N-méthylpyrrolidone
Acétate du méthylpropylèneglycol
Anisole
terpènes, lactate d'éthyle, méthyldipropylèneglycol

No. d'enregistrement: 2124 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement de l'huile de rodage
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: Anisole
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Solvent 140: méthyldipropylèneglycol
Solvent 140
N-méthylpyrrolidone
Acétate du méthylpropylène glycol
Anisole
terpènes, lactate d'éthyle, méthyldipropylèneglycol

No. d'enregistrement: 2125 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement de l'huile de rodage
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: Terpènes
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Solvent 140: méthyldipropylèneglycol
Solvent 140
N-méthylpyrrolidone
Acétate du méthylpropylène glycol
Anisole
terpènes, lactate d'éthyle, méthyldipropylèneglycol

No. d'enregistrement: 2126 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement de l'huile de rodage
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: Lactate d'éthyle
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux

Solvent 140: méthyldipropylèneglycol
Solvent 140
N-méthylpyrrolidone
Acétate du méthylpropylène glycol
Anisole
terpènes, lactate d'éthyle, méthyldipropylèneglycol

No. d'enregistrement: 2127 **Référence:** Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement de l'huile de rodage
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: Méthyldipropylèneglycol
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Solvent 140: méthyldipropylèneglycol
Solvent 140
N-méthylpyrrolidone
Acétate du méthylpropylène glycol
Anisole
terpènes, lactate d'éthyle, méthyldipropylèneglycol

No. d'enregistrement: 2128 **Référence:** Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'un fluide de refroidissement à base d'eau (Trim Sol)
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Nettoyants aqueux
Solution: Nettoyage aux ultrasons
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Anisole, acétate du méthylpropylèneglycol, isopropanol, Water Chaser 140, Solvent 140 (comparables au CFC-113)
Méthyldipropylèneglycol, lactate d'éthyle, terpènes
éthanohacétone

No. d'enregistrement: 2129 **Référence:** Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'un fluide de refroidissement à base d'eau (Trim Sol)
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Anisole
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Anisole, acétate du méthylpropylène glycol, isopropanol, Water Chaser 140, Solvent 140 (comparables au CFC-113)
Méthyldipropylèneglycol, lactate d'éthyle, terpènes
éthanohacétone

No. d'enregistrement: 2130 **Référence:** Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'un fluide de refroidissement à base d'eau (Trim Sol)
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Acétate du méthylpropylèneglycol
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Anisole, acétate du méthylpropylène glycol, isopropanol, Water Chaser 140, Solvent 140 (comparables au CFC-113)
Méthyldipropylèneglycol, lactate d'éthyle, terpènes
éthanohacétone

No. d'enregistrement: 2131 **Référence:** Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'un fluide de refroidissement à base d'eau (Trim Sol)
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Isopropanol
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Anisole, acétate du méthylpropylèneglycol, isopropanol, Water Chaser 140, Solvent 140 (comparables au CFC-113)
Méthyldipropylèneglycol, lactate d'éthyle, terpènes
éthanohacétone

No. d'enregistrement: 2132 **Référence:** Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'un fluide de refroidissement à base d'eau (Trim Sol)
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Water Chaser 140
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
Méthyldipropylèneglycol	5 %
Hydrocarbures aliphatiques	95 %

Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Anisole, acétate du méthylpropylèneglycol, isopropanol, Water Chaser 140, Solvent 140 (comparables au CFC-113)
Méthyldipropylèneglycol, lactate d'éthyle, terpènes
éthanohacétone

No. d'enregistrement: 2133 **Référence:** Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'un fluide de refroidissement à base d'eau (Trim Sol)
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Solvent 140

Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Anisole, acétate du méthylpropylèneglycol, isopropanol. Water Chaser 140, Solvent 140 (comparables au CFC-113)
Méthyldipropylèneglycol, lactate d'éthyle, terpènes
éthanohacétone

No. d'enregistrement: 2134 **Référence:** Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'un fluide de refroidissement à base d'eau (Trim Sol)
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Méthyldipropylèneglycol
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Anisole, acétate du méthylpropylèneglycol, isopropanol, Water Chaser 140, Solvent 140 (comparables au CFC-113)
Méthyldipropylèneglycol, lactate d'éthyle, terpènes
éthanohacétone

No. d'enregistrement: 2135 **Référence:** Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'un fluide de refroidissement à base d'eau (Trim Sol)
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Lactate d'éthyle
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Anisole, acétate du méthylpropylèneglycol, isopropanol. Water Chaser 140, Solvent 140 (comparables au CFC-113)
Méthyldipropylèneglycol, lactate d'éthyle, terpènes
éthanohacétone

No. d'enregistrement: 2136 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'un fluide de refroidissement à base d'eau (Trim Sol)
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Terpènes
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Anisole, acétate du méthylpropylèneglycol, isopropanol, Water Chaser 140, Solvent 140 (comparables au CFC-113)
Méthyldipropylèneglycol, lactate d'éthyle, terpènes
éthanohacétone

No. d'enregistrement: 2137 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement d'un fluide de refroidissement à base d'eau (Trim Sol)

Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Éthanol dénaturé à l'acétone
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Nettoyants aqueux
Anisole, acétate du méthylpropylèneglycol, isopropanol, Water Chaser 140, Solvent 140 (comparables au CFC-113)
Méthyldipropylèneglycol, lactate d'éthyle, terpènes
éthanohacétone

No. d'enregistrement: 2138 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement des empreintes digitales
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: Éthanol dénaturé à l'acétone
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Éthanol dénaturé à l'alcool, nettoyants aqueux avec agitation par ultrasons
1, 1, 1-trichloroéthane, isopropanol, Solvent 140
Water Chaser 140
CFC-113 (sans effet évident)

No. d'enregistrement: 2139 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement des empreintes digitales
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: Nettoyants aqueux
Solution: Nettoyage aux ultrasons
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Éthanol dénaturé à l'alcool, nettoyants aqueux avec agitation par ultrasons
1, 1, 1-trichloroéthane, isopropanol, Solvent 140
Water Chaser 140
CFC-113 (sans effet évident)

No. d'enregistrement: 2140 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement des empreintes digitales
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: 1, 1, 1-trichloroéthane
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Éthanol dénaturé à l'alcool, nettoyants aqueux avec agitation par ultrasons
1, 1, 1-trichloroéthane, isopropanol, Solvent 140
Water Chaser 140
CFC-113 (sans effet évident)

No. d'enregistrement: 2141 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement des empreintes digitales
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: Isopropanol

Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Éthanol dénaturé à l'alcool, nettoyants aqueux avec agitation par ultrasons
1, 1, 1-trichloroéthane, isopropanol, Solvent 140
Water Chaser 140
CFC-113 (sans effet évident)

No. d'enregistrement: 2142 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement des empreintes digitales
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: Solvent 140
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Éthanol dénaturé à l'alcool, nettoyants aqueux avec agitation par ultrasons
1, 1, 1-trichloroéthane, isopropanol, Solvent 140
Water Chaser 140
CFC-113 (sans effet évident)

No. d'enregistrement: 2143 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement des empreintes digitales
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: Water Chaser 140
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
Méthyldipropylèneglycol	5 %
Hydrocarbures aliphatiques	95 %

Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Éthanol dénaturé à l'alcool, nettoyants aqueux avec agitation par ultrasons
1, 1, 1-trichloroéthane, isopropanol, Solvent 140
Water Chaser 140
CFC-113 (sans effet évident)

No. d'enregistrement: 2144 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Enlèvement des empreintes digitales
Pièce/Matériau: Acier inoxydable 304L
Nom du produit substitutif: CFC-113
Résultats - Procédé: Rang d'efficacité:
Éthanol dénaturé à l'alcool, nettoyants aqueux avec agitation par ultrasons
1, 1, 1-trichloroéthane, isopropanol, Solvent 140
Water Chaser 140
CFC-113 (sans effet évident)

No. d'enregistrement: 2145 **Référence:** Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Nettoyage des pistolets de projection de mousses à base de polyuréthanes, enlèvement des adhésifs à base de polyuréthanes.
Nom du produit substitutif: Anisole
Résultats - Procédé: Efficace

No. d'enregistrement: 2146 **Référence:** Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Nettoyage des pistolets de projection de mousses à base de polyuréthanes, enlèvement des adhésifs à base de polyuréthanes
Nom du produit substitutif: Esters dibasiques
Résultats - Procédé: Efficace

No. d'enregistrement: 2147 Référence: Thompson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Nettoyage des pistolets de projection de mousses à base de polyuréthanes, enlèvement des adhésifs à base de polyuréthanes
Nom du produit substitutif: N-méthylpyrrolidone
Résultats - Procédé: Efficace

No. d'enregistrement: 2148 Référence: Johnson, 1990
Production: Composants d'armes nucléaires
Procédé: Dégraissage général en atelier
Nom du produit à remplacer: Mélange à base de CFC-113
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
1,1,1-trichloroéthane
alcools à faible point d'éclair
CFC-113
naphta
Nom du produit substitutif: Water Chaser 140
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Méthyldipropylèneglycol 5 %
Hydrocarbures aliphatiques 95 %
Résultats - Procédé: Durée de nettoyage comparable au CFC-113 si les pièces sont essuyées à la main après nettoyage.

No. d'enregistrement: 2149 Référence: Gallagher, 1990
Production: Non identifiée
Procédé: Nettoyage général
Pièce/Matériau: Pièces en oxyde de béryllium; Salissure: Krytox 143 AD (perfluoropolyéther)
Nom du produit à remplacer: CFC-113
Nom du produit substitutif: Dioxyde de carbone supercritique
Résultats - Procédé: Les pièces nettoyées une fois au dioxyde de carbone supercritique étaient plus propres que celles rincées 20 fois dans du CFC-113.

No. d'enregistrement: 2187 Référence: Hague, 1989
Production: Usinage de roues d'engrenage
Procédé: Nettoyage
Pièce/Matériau: Enlèvement des huiles et des particules métalliques
Équipement/Méthode: Immersion manuelle
Nom du produit à remplacer: Trichloroéthylène
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient

Trichloroéthylène
Problème: Irritation des yeux et de la peau, odeurs désagréables.
Nom du produit substitutif: Isopar
Nom du produit fournisseur: Exxon
Solution: Nettoyage dans un bain fermé muni d'un bras rotatif, cycle de nettoyage de 30-120 s. Séchage à l'air ne prend que quelques minutes.
Résultats - Procédé: Résultats adéquats.
Résultats - Exposition: Élimination des plaintes des travailleurs.

No. d'enregistrement: 2189 Référence: Anonyme, 1993c
Production: Composants aérospatiaux de haute précision
Procédé: Nettoyage des pièces avant inspection
Nom du produit substitutif: R401 (à base de terpènes)
Solution: Système de trois bains: bain de lavage initial, agité aux ultrasons (2 min); bain de lavage secondaire muni d'une unité de filtration d'une porosité de 5 microns (2 minutes); bain de séchage (5 minutes)

No. d'enregistrement: 2190 Référence: Anonyme, 1993c
Production: Composants aérospatiaux de haute précision
Procédé: Enlèvement des laques de protection utilisées lors du plaquage.
Nom du produit à remplacer: 1, 1, 1-trichloroéthane
Nom du produit substitutif: R401 (à base de terpènes)
Résultats - Procédé: Le R401 agit plus rapidement et est plus efficace.
Résultats - Finances: Fréquence de changement du solvant a été réduite de manière radicale. Économies annuelles de 7 000 livres anglaises.

No. d'enregistrement: 2191 Référence: Anonyme, 1993c
Production: Composants aérospatiaux de haute précision
Procédé: Nettoyage manuel final des turbines
Nom du produit à remplacer: 1, 1, 1-trichloroéthane
Nom du produit substitutif: R401 (à base de terpènes)
Résultats - Procédé: Donne des résultats aussi bons que le 1, 1, 1 -trichloroéthane bien que le nettoyage des graisses épaisses peut être plus long.

No. d'enregistrement: 2192 Référence: Anonyme, 1993c
Production: Fabrication d'outils pour la coupe de diamants
Procédé: Nettoyage de moules Nimonic 80A enduites avec le graphite colloïdal. Lubrifiant de moule: Plus Gas.
Pièce/Matériau: Moules d'outils
Nom du produit à remplacer: 1, 1, 1-trichloroéthane
Nom du produit substitutif: R102 (à base de terpènes)
Résultats - Procédé: Le R102 enlève beaucoup mieux les résidus huileux laissés par le Plus Gas.

No. d'enregistrement: 2193 Référence: Anonyme, 1983a
Production: Fabrication de calorifères, équipements caloporteurs etc.
Procédé: Dégraissage de pièces estampées et étirées. Salissures: lubrifiants, graisses, huiles
Équipement/Méthode: Dégraissage en phase vapeur
Nom du produit à remplacer: Trichloroéthylène
Nom du produit substitutif: Copperskin 91M Alkaline Cleaner

Nom du produit fournisseur: Miller
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Détersifs
Produits alcalins
Solution: Nettoyage par immersion dans un bain de 71-93 °C pendant 5-10 minutes, suivi d'un lavage à l'eau tiède (60 °C) et à l'eau froide
Résultats - Procédé: Compatible avec l'aluminium aussi bien qu'avec le laiton et d'autres alliages de cuivre contrairement à plusieurs autres nettoyants aqueux alcalins.
Résultats - Intrants: Durée de vie plus longue du bain, soit 0,5 à 4 mois.
Résultats - Finances: Économies de 68 000 $US, amortissement des équipements en moins d'un an. Plus longue durée de vie du bain entraîne des économies de main-d'oeuvre.
Résultats - Émissions: Élimination des déchets dangereux et des coûts associés à leur élimination.

No. d'enregistrement: 2194 Référence: Energy Pathways Inc., 1994
Production: Fabrication de chaises
Procédé: Nettoyage des chaises en acier à carbone estampé avant la peinture. Salissures: huiles, particules métalliques
Pièce/Matériau: Chaises en acier à carbone estampé
Équipement/Méthode: Dégraissage en phase vapeur
Nom du produit à remplacer: 1, 1, 1-trichloroéthane
Nom du produit substitutif: Nettoyants à base de terpènes
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
d-limonène
Solution: Nettoyage par immersion.
Résultats - Procédé: Nettoyage adéquat. Meilleure adhérence de la peinture.
Résultats - Finances: Immobilisation: 8 000 $US pour systèmes de filtration (2), pompes (2), préparation des bains, pièces diverses, achat initial de nettoyant, main-d'oeuvre.
Opération: environ la moitié des coûts encourus avec le 1, 1, 1-trichloroéthane excluant les coûts énergétiques.
Commentaires: Environnement Canada, 1994

No. d'enregistrement: 2195 **Référence:** ENQ2195
Production: Fabrication de clefs et serrures
Procédé: Nettoyage des pièces avant le plaquage. Salissures: Dépôts graisseux, huiles visqueuses,
Nom du produit à remplacer: Trichloroéthylène
Nom du produit substitutif: Alkalox 89
Nom du produit fournisseur: Les produits de polissage Empire Ltée
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Hydroxyde de sodium
Solution: Immersion dans un bain chaud (80-90 °C); rinçage à l'eau
Résultats - Procédé: Moins efficace que les solvants chlorés, retarde davantage les étapes de plaquage, Laisse un film de savon sur les pièces. De préférence, les pièces doivent être rincées à l'eau.
Résultats - Exposition: Élimination de l'exposition aux solvants chlorés.

No. d'enregistrement: 2196 **Référence:** ENQ2196
Production: Fabrication de clefs et serrures
Procédé: Nettoyage des pièces avant le plaquage.
Nom du produit à remplacer: Trichloroéthylène
Nom du produit substitutif: Electrocleaner (divers)
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Hydroxyde de sodium
Solution: Immersion dans un bain chaud (80-90 °C); rinçage à l'eau
Résultats - Procédé: Ces produits ne sont pas aussi nettoyants que les solvants chlorés mais le résultat final est acceptable.

No. d'enregistrement: 2197 Référence: ENQ2197
Production: Fabrication de clefs et serrures
Procédé: Nettoyage des pièces avant le plaquage.
Nom du produit à remplacer: Trichloroéthylène
Nom du produit substitutif: Aquatone S-70
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Hydroxyde de sodium
Résultats - Procédé: Ces produits ne sont pas aussi nettoyants que les solvants chlorés mais le résultat final est acceptable.

No. d'enregistrement: 2198 Référence: ENQ2198
Production: Fabrication de clefs et serrures
Procédé: Nettoyage des pièces avant le plaquage.
Nom du produit à remplacer: Trichloroéthylène
Nom du produit substitutif: Electrocleaner S-32
Solution: Le produit est mis dans un bain et la polarité habituelle est inversée de telle sorte que la surface de la pièce est dissoute, entraînant les résidus huileux.
Résultats - Procédé: Le résultat final est généralement satisfaisant pour le plaquage.

No. d'enregistrement: 2199 Référence: ENQ2199
Production: Entretien de véhicules ferroviaires
Procédé: Entretien général
Nom du produit à remplacer: Solvants chlorés
Nom du produit substitutif: Citriclean
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
d-limonène
Résultats - Procédé: Le mode d'utilisation doit être changé mais le résultat final est généralement comparable. Nécessite toutefois plus de temps pour le nettoyage.

No. d'enregistrement: 2200 **Référence:** ENQ2200
Production: Pièces métalliques
Procédé: Dégraissage général
Équipement/Méthode: Immersion, nettoyage avec pinceau, séchage
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient

Dichlorométhane
Monochlorotoluène
Perchloroéthylène
Nom du produit substitutif: 0859
Nom du produit fournisseur: ZEP
Composition du produit substitutif:
Ingrédient Concentration
Acide sulfonique de dodécylbenzène 1-5 %
Butylglycol 1-5 %
Métasilicate de sodium 1 -5 %
Sulfonate de xylène et de sodium 1-5 %
Triphosphate de sodium 1 -5 %

No. d'enregistrement: 2201 **Référence:** ENQ2001
Production: Pièces métalliques
Procédé: Dégraissage général
Équipement/Méthode: Immersion, nettoyage avec pinceau, séchage
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
Dichlorométhane
Perchloroéthylène
Solvant Stoddard
Nom du produit substitutif: 0859
Nom du produit fournisseur: ZEP
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Acide sulfonique de dodécylbenzène 1 -5 %
Butylglycol 1-5 %
Métasilicate de sodium 1-5 %
Sulfonate de xylène et de sodium 1 -5 %
Triphosphate de sodium 1-5 %

No. d'enregistrement: 2202 Référence: ENQ2002
Production: Fabrication de meubles
Procédé: Lavage, inspection des meubles
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
Acétone
Toluène
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Solvant Stoddard
Résultats - Procédé: Nécessite un frottage plus intense. Solvant Stoddard est moins efficace.

No. d'enregistrement: 2203 Référence: ENQ2003
Production: Profilage de pièces métalliques
Procédé: Dégraissage des pièces
Nom du produit à remplacer: Perchloroéthylène
Solution: Modification de la matrice de la plieuse afin de réduire sensiblement le frottement des pièces

avec pour conséquence que l'utilisation de l'huile de coupe est réduite et que le dégraissage n'est plus nécessaire.

No. d'enregistrement: 2204 **Référence:** ENQ2004
Production: Fabrication de tuyaux en résine époxy renforcée de fibres
Procédé: Nettoyage des outils et de la machinerie contaminée par la résine époxy
Nom du produit à remplacer: Dichlorométhane
Nom du produit substitutif: Thermaclean EP
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
Adipate de diméthyle	12,5 %
Agents tensioactifs anioniques et nonioniques	9,5 %
Glutarate de diméthyle	60 %
Succinate de diméthyle	19 %

Résultats - Procédé: Nécessité de chauffer le produit et il y a déposition d'un corps gras sur les pièce.

No. d'enregistrement: 2205 **Référence:** Filskov, 1989
Production: Fabrication de jouets
Procédé: Nettoyage de machines à extrusion
Pièce/Matériau: Machines à extrusion
Nom du produit à remplacer: Nettoyant à base de polyméthacrylate de méthyle.
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
Abrasif	45 %
Eau	17,6%
Huile minérale	30 %

Résultats - Procédé: Le produit de remplacement proposé est inadéquat. Il ne répond pas aux exigences recherchées.

No. d'enregistrement: 2206 Référence: Filskov, 1989
Production: Confiserie
Procédé: Nettoyage général
Nom du produit à remplacer: Drycleaner 77
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
1,1,1-trichloroéthane
Nom du produit substitutif: A-Z Cleaner
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
Éthoxylate d'alkyle et d'aryle	
Glycols	
Hydroxyde de potassium	5 % (max)
Isopropanol	
Phosphates	
Sulfonate d'alkyle	
Triphosphate de potassium	
Verre soluble (solution contenant 50 % de silicates de sodium)	

Résultats - Procédé: Enlève bien les salissures à base de caoutchouc, de sucre et de talc. Le substitut nécessite plus de temps pour effectuer le nettoyage.

Résultats - Exposition: Irritant

No. d'enregistrement: 2207 **Référence:** Filskov, 1989
Production: Industrie textile
Procédé: Nettoyage des machines
Nom du produit à remplacer: 1, 1, 2-trichloro-1, 2, 2-trifluoroéthane
Nom du produit substitutif: Nettoyant alcalin
Résultats - Exposition: Port de gants recommandé.

No. d'enregistrement: 2208 **Référence:** Filskov, 1989
Production: Communications
Procédé: Nettoyage de téléimprimeurs
Nom du produit à remplacer: Arklone P
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
1, 1, 2-trichloro-1, 2, 2-trifluoroéthane
Nom du produit substitutif: Fective
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Hydroxyde de sodium
A base d'eau
Résultats - Procédé: Le substitut est inadéquat. Il ne répond pas aux exigences recherchées.

No. d'enregistrement: 2209 Référence: Filskov, 1989
Production: Fabrication d'équipements dans le secteur aérospatial
Procédé: Nettoyage du revêtement métallique
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
Alcanes C11-C12
Solution: Nettoyant aqueux alcalin
Résultats - Exposition: Peut contenir du 2-éthoxyéthanol

No. d'enregistrement: 2210 **Référence:** Filskov, 1989
Production: Industrie textile
Procédé: Nettoyage du tissu
Nom du produit à remplacer: Térébenthine
Nom du produit substitutif: Nettoyant alcalin
Résultats - Exposition: Port de gants recommandé.

No. d'enregistrement: 2211 Référence: Filskov, 1989
Production: Usinage de fer
Procédé: Nettoyage des pièces huileuses
Nom du produit à remplacer: Trichloroéthylène
Nom du produit substitutif: Nettoyant aqueux
Solution: Nettoyage dans une cuve rotative.

No. d'enregistrement: 2213 Référence: Filskov, 1989
Production: Fabrication de machines agricoles
Procédé: Dégraissage

Nom du produit à remplacer: Trichloroéthylène
Nom du produit substitutif: Nettoyant alcalin
Résultats - Procédé: Plus efficace.

No. d'enregistrement: 2214 **Référence:** Filskov, 1989
Production: Pièces métalliques
Procédé: Dégraissage de flans en fer
Nom du produit à remplacer: Trichloroéthylène
Nom du produit substitutif: Nettoyants alcalins
Commentaires: Les travailleurs sonts satisfaits car on a éliminé la présence de solvants organiques.

No. d'enregistrement: 2215 **Référence:** Filskov, 1989
Production: Atelier de peinture
Procédé: Dégraissage à froid des flans métalliques
Équipement/Méthode: Immersion
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
1, 1, 1-trichloroéthane
Trichloroéthylène
Nom du produit substitutif: Nettoyant aqueux alcalin
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Métasilicate de sodium
Commentaires: Nettoyage à la brosse et rinçage à l'eau

No. d'enregistrement: 2216 **Référence:** Filskov, 1989
Production: Fer ou de pièces métalliques
Procédé: Nettoyage des pièces de machines et d'outils
Nom du produit à remplacer: Chlorotene/varnolene
Nom du produit substitutif: Snow-Clean
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Hydroxyde de potassium
Solution: Nettoyage dans un système hermétique.

No. d'enregistrement: 2217 Référence: Filskov, 1989
Production: Réparation des automobiles
Procédé: Nettoyage de moteurs et de leurs composants
Nom du produit à remplacer: Non Oil
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient Concentration
Composés aromatiques < 0, 1 %
Fractions de pétrole à point d'ébullition élevé
Nom du produit substitutif: HP 2000
Solution: Nettoyant aqueux alcalin

No. d'enregistrement: 2218 Référence: Filskov, 1989
Production: Fabrication d'automobiles
Procédé: Nettoyage des moteurs avant inspection

Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
Cyclohexanol
Hydrocarbures (beaucoup d'aromatiques)
Hydrocarbures (peu de composés aromatiques)
Nom du produit substitutif: Eau chaude
Solution: Appliqué à haute pression

No. d'enregistrement: 2219 Référence: Filskov, 1989
Production: Imprimerie
Procédé: Nettoyage de presses à imprimer
Nom du produit à remplacer: Blankrola
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
1,1,1-trichloroéthane
Nom du produit substitutif: Drubin afvasker 590-704
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Hydrocarbures aliphatiques
Résultats - Procédé: Aussi bon que le 1,1,1-trichloroéthane

No. d'enregistrement: 3000 Référence: Kelsey, 1991
Production: Formulation d'une laque à base de nitrate de cellulose.
Procédé: Mélangeur
Équipement/Méthode: Utilisation d'un logiciel BP SOLVE 2 de BP CHEMICALS. Ce programme permet de prédire les taux d'évaporation de la formulation originale et des formulations de remplacement.
Nom du produit à remplacer: Résine DX (avec nitrate de cellulose et toluène)
Composition du produit à remplacer:

Ingrédient	Concentration
Acétate d'éthyle	16 %
Acétate de butyle normal	8 %
Acétone	6.4 %
Ethoxypropanol	3.2 %
n-Butanol	6.4 %
Nitrate de cellulose	20 %
SBP3	8 %
Toluène	26.4 %
Xylène	5.5 %

Problème: Réduction de l'exposition des travailleurs au toluène.
Nom du produit substitutif: Laque de nitrate de cell. et de solvants oxygénés
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
A180	1.2%
Acétate d'éthyle	16.0%
Acétate de butyle normal	11.6%
Acétone	13.2 %
Ethoxypropanol	3.2 %
n-Butanol	6.4 %
Nitrate de cellulose	20 %

SBP3 22.8 %
Xylène 5.5 %
Solution: Remplace le toluène par un mélange d'acétone, d'acétate de butyle normal, de SBP3 et de A180. On a utilisé un logiciel pour prédire les effets d'évaporation et les coûts impliqués pour ce changement de formulation.
Résultats - Procédé: Formulation de laques.
Résultats - Intrants: Le SBP3 est un mélange d'hydrocarbures avec un intervalle de point d'ébullition de 102 à 120 °C et est constitué à 10 % de produits aromatiques.
Résultats - Produit final: Avec les formulations essayées, on peut réduire de moitié sinon en totalité la présence du toluène sans effet important sur les caractéristiques des formulations. Le temps de séchage est pratiquement le même. La dureté du film après 24 heures de séchage est légèrement plus élevée pour la nouvelle formulation. La viscosité du mélange sans toluène est légèrement inférieure.
Résultats - Finances: Le prix du mélange essayé serait de 2.5 % plus élevé que la formulation originale.
Résultats - Exposition: On a éliminé la présence du toluène (présent à 26.4 % dans la formulation). Pour plus d'informations sur ces solvants et leur toxicité, voir Ethel Browning's toxicity and metabolism of industrial solvents, 2 ième édition, Elsevier, vol. 1, 2, 3, 1987

No. d'enregistrement: 3001 **Réfénce:** Tully, 1987
Production: Boitiers d'ordinateurs et autres appareils électroniques
Procédé: Application à l'intérieur de boitiers d'ordinateurs d'un revêtement ou peinture à base de solvants organiques contenant un pigment de nickel et à un moindre niveau de cuivre pour la protection contre les interférences électriques.
Pièce/Matériau: Nouveau produit développé par BF GOODRICH à base d'eau est appelé SHIELDRITE 100.
Équipement/Méthode: Application à l'aide d'un système de pulvérisation standard. Les embouts à utiliser doivent être en acier inoxydable pour éviter la corrosion.
Nom du produit à remplacer: Produits à base de solvants (non identifiés)
Problème: Le gouvernement américain a émis une réglementation par le biais de la FCC (Federal Communication Commission) de manière à limiter les émissions électromagnétiques par des appareils tels que les ordinateurs et autres appareils électroniques. En outre, il est nécessaire de protéger ces appareils contre des interférences électromagnétiques potentielles. On veut aussi réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques lors de l'application de revêtements et diminuer les effets sur l'environnement par la réduction des COV émis.
Nom du produit substitutif: Shieldrite 100 (à base d'eau)
Nom du produit fournisseur: BF GOODRICH
Solution: Ce nouveau type de produit à base d'eau a des propriétés équivalentes aux produits à base de solvants.
Résultats - Produit final: L'intérêt d'un revêtement à base d'eau est qu'il réduit les effets sur la santé des travailleurs et aussi les effets sur l'environnement. En outre, il y a compatibilité de ce type de revêtement avec les boîtiers à base de plastique, une adhérence supérieure sur certains substrats, une facilité de préparation et de nettoyage des équipements étant donné que l'eau peut être utilisée. Il y a réduction des coûts de nettoyage et de disposition des solvants.
Résultats - Exposition: Réduction de l'exposition aux solvants organiques.
Résultats - Émissions: Réduction des COV

No. d'enregistrement: 3002 **Référence:** ENQ3000
Production: Bois dans une scierie.
Procédé: Application de la peinture alkyde pour le logo de l'entreprise sur des paquets de bois par pulvérisation à travers un gabarit.

Pièce/Matériau: Peinture alkyde.
Équipement/Méthode: Pulvérisateur, gabarit.
Nom du produit à remplacer: Bonbonne vaporisante de peinture à base d'alkydes.
Problème: Lors de la pulvérisation, un brouillard est formé et il y a émission de vapeurs de solvants. Lors du nettoyage du gabarit, il y a aussi émission des vapeurs de décapant. Lorsqu'on utilisait une peinture au latex, celle-ci ne séchait pas assez rapidement et coulait sur le bois.
Nom du produit substitutif: Encre
Solution: Un rouleau est utilisé pour appliquer une encre, ce qui a pour conséquence de réduire la quantité de vapeurs émises.
Résultats - Produit final: On obtient une bonne qualité d'impression en plus d'avoir réduit l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Commentaires: Satisfaction des employés est bonne.
Site: Scierie.

No. d'enregistrement: 3003 **Référence:** Hestar, 1989
Production: Tables d'examen médical, armoires de laboratoire.
Nom du produit à remplacer: Peintures à base de solvants organiques
Problème: Réduire l'exposition aux solvants organiques lors de l'application de la peinture.
Nom du produit substitutif: Poudres à base d'époxy et de nylon.
Nom du produit fournisseur: Morton Thiokol
Solution: Ils ont remplacé leurs peintures à base de solvants par des peintures en poudre car cela permet de pratiquement éliminer l'émission de COV lors de l'application. Les propriétés des peintures en poudre sont supérieures à plusieurs points de vue à celles des peintures à base de solvants.
Résultats - Procédé: Procédé électrostatique pour l'application des peintures époxy et par lit fluidisé pour le nylon.
Résultats - Produit final: La compagnie HAMILTON a substitué les peintures à base de solvants par des poudres parce que la résistance aux produits chimiques des peintures à poudres est supérieure, elles sont plus faciles à appliquer, il y a moins de rejets car l'épaisseur des films couvre les irrégularités des substrats. Par contre, le coût des poudres est légèrement plus élevé, le choix des couleurs est plus réduit et l'épaisseur des films est légèrement plus élevée. Le développement de certaines couleurs nécessiterait un travail de développement de la part du fournisseur et par conséquent, ils utilisent des peintures à base de solvants pour ces produits. Aussi, les peintures en poudre doivent être stockées dans un endroit frais si elles ne sont pas utilisées pendant plus de 6 mois. Le nettoyage des lieux est simplifié car aucun solvant n'est requis.
Résultats - Exposition: L'exposition aux solvants est totalement éliminée avec ces peintures à poudres. Il est à noter que les résines époxy solides à base de bisphénol A ne sont pas irritantes et pratiquement pas sensibilisantes. Lors du durcissement à chaud, il peut y avoir dégagement des constituants volatils des résines ou des durcisseurs. Leurs vapeurs sont irritantes pour les voies respiratoires et parfois sensibilisantes. Il y a également des dangers dûs à l'inhalation de poussières. (Farhi, INRS, Paris, 1986).
Résultats - Émissions: Elimination des COV.
Voir aussi: L'information sur les risques pour la santé des résines époxy provient d'un livre publié par l'INRS Paris, Matières plastiques & adjuvants, Hygiène et sécurité dont les auteurs sont R. Farhi, C. Morel, J. Chéron, 1986, pp. 184-185.

No. d'enregistrement: 3004 Référence: Huang, 1994
Production: Armoires de cuisine
Procédé: Application par système de pulvérisation
Nom du produit à remplacer: Vernis et laques à base de solvants organiques
Composition du produit à remplacer:

Ingrédient
Résine de nitrate de cellulose
Solvants organiques
Problème: On veut réduire ou éliminer l'utilisation de solvants organiques utilisés pour la mise en solution des nitrates de cellulose qui sont utilisés comme couche de finition ou de conversion.
Nom du produit substitutif: Revêtements à base d'époxy et d'eau
Nom du produit fournisseur: Adhesives Coatings Co. (ADCO)
Utilisation: Revêtement de surface d'armoires de cuisine.
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Durcisseur à base d'aminé
Eau
Résine époxy
Solution: Remplacement de vernis et laques à base de nitrate de cellulose et de solvants organiques par un revêtement à base d'époxy et d'eau.
Résultats - Procédé: Application à l'aide d'un système de pulvérisation conventionnelle.
Résultats - Produit final: Le nouveau revêtement a une excellente résistance chimique et un lustre élevé. Il peut être utilisé comme apprêt pour les portes et comme produit de finition pour les meubles ou armoires de cuisine. Il n'émet pratiquement pas de COV (< 10 g/L) et ne contient pas d'éthers de glycol.
Résultats - Exposition: Il y a réduction de l'exposition aux solvants organiques.
Résultats - Émissions: Les émissions en COV de ce produit sont moins de 10 g/L comparativement à environ 750 g/L pour les revêtements à base de nitrate de cellulose.

No. d'enregistrement: 3005 Référence: Huang, 1994
Production: Armoires de cuisine
Procédé: Application par système de pulvérisation
Nom du produit à remplacer: Vernis et laques à base de solvants organiques
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
Résine à base d'urée ou de mélamine formaldehyde
Problème: On veut réduire ou éliminer l'utilisation de solvants organiques utilisés pour la mise en solution des produits contenant jusqu'à 50 % de résines d'urée ou de mélamine formaldehyde pour les vernis et laques de conversion. Celles-ci ne sont que partiellement réticulées aux faibles températures auxquelles on peut soumettre les surfaces de bois, causant ainsi une émanation de formaldehyde des revêtements.
Nom du produit substitutif: Revêtements à base d'époxydes et d'eau
Utilisation: Vernis ou laque
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Durcisseur à base d'aminé
eau
Résine époxy
Solution: Remplacement de vernis et laques à base d'urée ou de mélamine formaldehyde et de solvants organiques par un revêtement à base d'époxy et d'eau.
Résultats - Procédé: Application à l'aide d'un système de pulvérisation conventionnelle.
Résultats - Produit final: Ce nouveau produit a une excellente résistance chimique et un lustre élevé. Il peut être utilisé comme apprêt pour les portes et comme produit de finition pour les meubles ou armoires de cuisine. Il n'émet pratiquement pas de COV (< 10 g/L) et ne contient pas d'éthers de glycol.

Résultats - Exposition: Il y a réduction de l'exposition aux solvants organiques de même qu'au formaldehyde lors de l'application.
Résultats - Émissions: Les émissions en COV de ce produit sont moins de 10 g/L.

No. d'enregistrement: 3006 Référence: Fourez, 1993
Production: Application d'un revêtement de protection contre la corrosion.
Procédé: Application par trempage ou pulvérisation électrostatique d'un revêtement non-électrolytique contre la corrosion.
Nom du produit à remplacer: Revêtement à base de solvants org. et de cadmium
Problème: Réduire l'exposition aux solvants organiques des travailleurs oeuvrant dans le domaine du traitement contre la corrosion de pièces métalliques.
Nom du produit substitutif: Revêtement à base d'eau, zinc et aluminium
Solution: Trempage ou pulvérisation électrostatique de ce produit à base d'eau, de zinc et d'aluminium permet une réduction de l'exposition aux solvants organiques et représente une bonne alternative aux produits à base de solvants organiques et de cadmium.
Résultats - Procédé: Application par trempage des pièces ou par pulvérisation électrostatique suivie d'une réaction chimique complétée à 300 degrees Celsius.
Résultats - Exposition: Réduction de l'exposition des travailleurs aux solvants organiques et au cadmium.
Résultats - Émissions: COV réduits
Commentaires: Est utilisé en Europe depuis environ 12 ans.

No. d'enregistrement: 3007 Référence: Whiteside, 1990
Production: Contenants métalliques (canettes)
Procédé: Application d'un revêtement époxy pour contenants métalliques. L'application se fait sur le métal avant la formation de la canette.
Nom du produit à remplacer: Résines époxy avec solvants organiques
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
Ethylène glycol
N-butanol
Problème: On veut réduire l'exposition aux solvants organiques lors de l'application. Toutefois, on est obligé d'utiliser des solvants organiques pour réduire la viscosité des résines époxy à hauts poids moléculaires. Les propriétés de ces résines s'améliorent lorsque leur poids moléculaire est élevé. On veut aussi réduire les émissions de COV lors de l'utilisation de ces résines.
Nom du produit substitutif: Résines époxy; XU71909.04 et XU71910.03
Nom du produit fournisseur: Dow Chemical
Solution: De nouvelles résines époxy à faible poids moléculaire et à haute teneur en solides permettent d'obtenir les mêmes propriétés que celles avec haut poids moléculaire. En effet, Dow Chemical a développé des résines qui vont se réticulées lors de la période de chauffage qui suit normalement l'application de ces produits.
Résultats - Produit final: On est en mesure d'appliquer des résines de faible poids moléculaire avec moins de solvants organiques mais tout en obtenant des finis similaires aux résines à haut poids moléculaire. Ces résines requirent une plus faible température que les résines à haut poids moléculaire de même qu'un temps de durcissement réduit. Ils ont aussi une meilleure résistance aux solvants et ont une meilleure adhérence et une meilleure flexibilité. La proportion de solides est passée de 15 à environ 30 % en utilisant ces nouvelles résines.
Résultats - Exposition: L'exposition aux solvants organiques est réduite. Cependant, pour réduire la viscosité de la résine époxy et favoriser la réaction de reticulation, on ajoute de l'éther glycidylique

(diluant réactif). Ce produit peut causer des irritations cutanées et des voies respiratoires. Cette solution pourrait être élégante car on réduit la quantité de solvants organiques mais on les remplace par des produits réactifs qui peuvent aussi causer des problèmes de santé.
Résultats - Émissions: Les COV ont été réduits d'environ 1.0 lb/gal.

No. d'enregistrement: 3008 Référence: Rees, 1992
Production: Production de revêtements décoratifs
Procédé: Mélange
Nom du produit à remplacer: Peintures alkydes
Problème: Réduire l'exposition des travailleurs aux solvants lors de la formulation et de l'application des revêtements.
Nom du produit substitutif: Peinture à haute teneur en solides; Synolac 6090
Nom du produit fournisseur: Cray Valley Ltd
Solution: On a formulé des revêtements à haute teneur en solides (96.5 %) contenant, dans certains cas pour des finis lustrés, encore moins de solvants que les revêtements à base d'eau.
Résultats - Produit final: Cette peinture permet l'obtention d'un film avec un fini similaire aux peintures alkydes sans leurs inconvénients.
Résultats - Exposition: L'exposition des travailleurs aux solvants est réduite puisqu'elle contient moins de 3 % de solvants organiques.
Résultats - Émissions: Il y a réduction des émissions des COV.

No. d'enregistrement: 3009 Référence: Gindre, 1991
Production: Formulation de peintures ou revêtements
Procédé: Mélange
Nom du produit à remplacer: Revêtements à base d'aromatiques
Problème: Réduire l'exposition des travailleurs aux solvants aromatiques.
Nom du produit substitutif: Revêtements à base de solvants isoparaffiniques
Solution: L'utilisation de nouveaux liants de type acrylique ou glycérophtalique permettent l'utilisation de solvants isoparaffiniques à la place de solvants aromatiques. Les solvants isoparaffiniques ayant un faible pouvoir de solvatation, ils étaient peu utilisés. Les producteurs de résines ont élaboré des liants permettant de les utiliser dans de bonnes conditions.
Résultats - Produit final: Les solvants isoparaffinniques sont moins toxiques et ont aussi une très faible odeur par rapport aux solvants aromatiques.
Résultats - Exposition: La concentration limite d'exposition professionnelle relative aux solvants isoparaffiniques est trois fois plus élevée que celle des solvants plus couramment utilisés tels que le "white spirit 17" (300 vs 100 ppm) et six fois plus élevée que celles des aromatiques purs (300 vs 50 ppm). On peut obtenir de l'information sur la toxicité des solvants aromatiques et isoparaffiniques dans Snyder, Ethel Browning's Toxicity and metabolism of industrial solvents, Vol. 1, SUB 865.
Résultats - Émissions: Les solvants isoparaffiniques étant insolubles dans l'eau, ils ont très peu d'effets sur les espèces aquatiques. Ils sont considérés peu polluants pour l'eau. En outre, la phytotoxicité des solvants isoparaffiniques présentent un danger moindre sur toutes les espèces végétales. Voir (Rees, 1992), qui décrient aussi les avantages des solvants isoparaffiniques par rapport aux solvants aromatiques.

No. d'enregistrement: 3010 Référence: Anonyme, 1983b
Production: Entretien et protection des équipements du secteur maritime.
Procédé: Application de peintures par diverses techniques.
Nom du produit à remplacer: Peintures à base d'éthers de glycol.
Composition du produit à remplacer:

Ingrédient
2-Ethoxyéthanol
2-Méthoxyéthanol
Problème: La présence d'éthers de glycol dans les peintures utilisées pour la protection des équipements.
Nom du produit substitutif: Peintures AMERCOAT 33 & 234.
Nom du produit fournisseur: DIMET Pty. Ltd.
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Alcool méthylique
Méthylisobutylcétone
Solution: Les éthers de glycol (2-méthoxy et 2-éthoxyéthanol} ont été remplacés dans la formulation des peintures destinées au secteur maritime de la compagnie DIMET Pty Ltd par des cétones du type méthylisobutylcétone ou par de l'alcool méthylique.
Résultats - Procédé: Application de peintures par diverses techniques.

No. d'enregistrement: 3011 Référence: Webb, 1990
Production: Formulation de peintures ou revêtements
Procédé: Mélange
Nom du produit à remplacer: Solvants aromatiques, hyd. chlorés, cétones, esters
Problème: Toxicité et problèmes environnementaux reliés à l'utilisation des solvants aromatiques, hydrocarbures chlorés, cétones et esters utilisés dans la formulation de revêtements.
Nom du produit substitutif: Revêtements à base de d-limonène
Solution: Remplacement des solvants toxiques par le d-limonène. Il peut remplacer les hydrocarbures chlorés, esters, cétones, produits aliphatiques ou aromatiques utilisés dans des résines acryliques, vinyliques, époxy, alkydes, polyesters, polyamides. Le d-limonène peut aussi être utilisé dans des produits diluants et décapants.
Résultats - Procédé: Reformulation des produits sera nécessaire.
Résultats - Produit final: Produit naturel biodégradable et qui a de bonnes propriétés de mise en solution.
Résultats - Finances: Son coût est supérieure aux autres solvants usuels.
Résultats - Exposition: La valeur limite tolerable du d-limonène est de 100 ppm. Pour plus d'informations sur le d-limonène, voir réf: Reisch, 1993, Karlberg, 1993, Kiefer, 1993

No. d'enregistrement: 3012 Référence: Bernstone, 1993
Production: Formulation de peintures ou de revêtements.
Procédé: Mélange
Nom du produit à remplacer: Revêtements à base d'acétone, dichlorométhane
Problème: Exposition des travailleurs aux solvants lors de la formulation et de l'application de peintures ou revêtements.
Nom du produit substitutif: Estasol et Coasol (ce sont des esters dibasiques)
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Adipate de diméthyle
Glutarate de diméthyle
Succinate de diméthyle
Solution: Ces produits commerciaux sont des mélanges à base d'esters dimethyl et diisobutyl des acides adipique, glutarique et succinique.
Résultats - Procédé: Formulation de peintures et de revêtements.
Résultats - Produit final: Les esters dibasiques (DBE) sont des produits stables à haut point d'ébullition

et d'éclair, et possédant d'excellentes propriétés de mise en solution.
Résultats - Finances: Leurs coûts sont faibles.
Résultats - Exposition: On dispose de peu de données sur la toxicité des DBE. Sax ("Dangerous properties of Industrial Materials") indique que l'ester dimethyl de l'acide adipique est modérément toxique, l'exposition est réduite étant donné leur faible volatilité.
Résultats - Émissions: Ils peuvent réduire l'émission de COV de 80-90 % si on les utilise à la place de l'acétone par ex. Ils se biodégradent facilement.

No. d'enregistrement: 3013 Référence: Jackson, 1991
Production: Revêtements à base de résines époxy
Procédé: Formulation
Nom du produit à remplacer: Résines époxy à base de solvants organiques
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
Acétate d'éther de glycol
Ether de glycol
Isophorone
Résine époxy
Problème: Réduire la toxicité des solvants employés dans la formulation des résines époxy.
Nom du produit substitutif: Revêtements avec esters dibasiques (DBE)
Solution: Un mélange d'esters dibasiques peut être utilisé pour remplacer en partie un mélange d'éther de glycol, d'acétate d'éther de glycol et d'isophorone.
Résultats - Produit final: Les esters dibasiques (DBE) sont des produits stables à haut point d'ébullition et d'éclair et possédant d'excellentes propriétés de mise en solution.
Résultats - Finances: Leurs coûts sont faibles.
Résultats - Exposition: On dispose de peu de données sur la toxicité des DBE. Sax ("Dangerous properties of Industrial Materials") indique que l'ester dimethyl de l'acide adipique est modérément toxique, l'exposition est réduite étant donné leur faible volatilité.
Résultats - Émissions: Ils sont biodégradables.

No. d'enregistrement: 3014 Référence: Jackson, 1991
Production: Revêtements automobiles
Procédé: Mélange
Nom du produit à remplacer: Revêtements à base de solvants organiques
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
Résine acrylique
Problème: Réduire la toxicité des solvants employés dans la formulation des résines acryliques utilisées dans les revêtements automobiles.
Nom du produit substitutif: Revêtements avec DBE
Solution: Un mélange de DBE peut être utilisé comme solvant dans les résines acryliques.
Résultats - Produit final: Les esters dibasiques (DBE) sont des produits stables à haut point d'ébullition et d'éclair et possédant d'excellentes propriétés de mise en solution.
Résultats - Finances: Leurs coûts sont faibles.
Résultats - Exposition: On dispose de peu de données sur la toxicité des DBE. Sax ("Dangerous properties of Industrial Materials") indique que l'ester dimethyl de l'acide adipique est modérément toxique, l'exposition est réduite étant donné leur faible volatilité.
Résultats - Émissions: Ils sont biodégradables.

No. d'enregistrement: 3015 Référence: Jackson, 1991
Production: Revêtements à base de résines polyester et alkydes.
Procédé: Mélange
Nom du produit à remplacer: Revêtements à base de solvants organiques
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
2-méthoxypropanol
Acétate d'éthoxyéthanol
Problème: Réduire la toxicité des solvants employés dans la formulation des revêtements à base de résines polyester et alkydes.
Nom du produit substitutif: Revêtements avec esters dibasiques (DBE)
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Adipate de diméthyle
Glutarate de diméthyle
Succinate de diméthyle
Solution: Un mélange de DBE peut être utilisé comme solvant dans les revêtements à base de résines polyester ou alkydes à la place des mélanges d'acétate d'éthoxyéthanol et de 2-méthoxypropanol.
Résultats - Produit final: Les esters dibasiques (DBE) sont des produits stables à haut point d'ébullition et d'éclair et possédant d'excellentes propriétés de mise en solution.
Résultats - Finances: Leurs coûts sont faibles.
Résultats - Exposition: On dispose de peu de données sur la toxicité des DBE. Sax ("Dangerous properties of Industrial Materials") indique que l'ester dimethyl de l'acide adipique est modérément toxique, l'exposition est réduite étant donné leur faible volatilité.
Résultats - Émissions: Ils sont biodégradables.

No. d'enregistrement: 3017 Référence: Buehner, 1990
Production: Revêtement époxy pour fibres non-tissées ("non-wovens") comme agent modificateur pour les revêtements en latex.
Procédé:
Nom du produit à remplacer: Résines époxy à base de solvants organiques
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
Formaldehyde
Problème: La plupart des produits modificateurs époxy ajoutés au latex pour lui donner des propriétés supérieures sont tous à base de solvants organiques. On veut réduire ou éliminer l'exposition des travailleurs au formaldehyde et de manière plus générale aux solvants organiques lors de l'application de ces produits.
Nom du produit substitutif: Résines époxydes à base d'eau.
Solution: HI-TEK POLYMERS INC. a développé des résines époxydes à base d'eau en remplacement à celles présentement utilisées à base de solvants organiques.
Résultats - Produit final: Ces résines époxy sont ajoutés sur des fibres non-tissées ("non-wovens") préalablement traitées au latex. Ainsi on améliore les propriétés de résistance chimique, les propriétés mécaniques en tension et pour améliorer les propriétés d'adhérence à toute une variété de substrats tels que le verre, le polyester, les polyoléfines et le métal. Les propriétés des latex à base de chlorure de polyvinyle, d'acrylique, de copolymères styrène/butadiène sont particulièrement améliorées lorsqu'on ajoute environ 10 % de résines époxy.
Résultats - Exposition: L'exposition des travailleurs aux solvants organiques et au formaldehyde est réduite.

Résultats - Émissions: Les COV sont réduits.

No. d'enregistrement: 3018 Réfénce: Carter, 1991
Production: Bobines de fils électriques
Procédé: Application d'un vernis sur des bobines de fils électriques.
Nom du produit à remplacer: Vernis avec solvants organiques
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
Xylène
Problème: Réduire l'exposition aux solvants organiques, notamment le xylène, lors de l'application. Réduire l'émission de COV.
Nom du produit substitutif: Vernis de polyester à base de diallylphtalate DAP
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Diallylphtalate (DAP)
Solution: On utilise une résine polyester à base de diallylphtalate (DAP) sans solvant. Ces résines polyester permettent l'application de monomères qui vont réagir lors de la période de reticulation pour former un vernis ayant des propriétés supérieures aux vernis avec solvant.
Résultats - Produit final: La conductivité thermique du vernis est améliorée et permet une réduction significative de la température d'opération des tranformateurs jusqu'à 10 "cdegrées Celsius. Cette réduction de température a des effets sur le design de ces appareils sauvant ainsi sur la quantité d'acier requise, ce qui permet de réduire les dimensions du tranformateur tout en obtenant des propriétés similaires. La force d'adhérence de ces vernis étant supérieure aux vernis standards, ils réduisent le bruit généré par ces équipements. Leur coût d'application est aussi moins cher que pour les vernis traditionnels lorsqu'on tient compte des coûts en énergie, des pertes en solvant, des coûts d'élimination, d'incinération ou autres lorsqu'on manipule des solvants organiques.
Résultats - Finances: Les coûts d'application des vernis sans solvant seraient de 12 % inférieurs à ceux avec solvants.
Résultats - Exposition: L'exposition aux solvants organiques est éliminée. Toutefois, il faut tenir compte du fait que le monomère va aussi s'évaporer mais à un degré beaucoup plus faible. Sax ("Danderous properties of industrial materials") décrit le DAP comme toxique modéré par ingestion et par contact cutané et sous-cutané. C'est aussi un irritant occulaire.
Résultats - Émissions: Les émissions de COV seront fortement réduites.

No. d'enregistrement: 3019 Réfénce: Aubert, 1993
Production: Produit de revêtement de structures métalliques.
Procédé: Application / pulvérisation
Nom du produit à remplacer: Résine époxy à base de solvants organiques.
Problème: Réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques lors de l'application.
Nom du produit substitutif: Polymastic
Solution: Polymastic est une résine époxyde ne contenant pas de solvant.
Résultats - Produit final: Polymastic peut être appliqué sur tout type de peinture sans problème de lever cette peinture puisque cette résine ne contient pas de solvant.
Résultats - Exposition: Absence de solvants.
Commentaires: Fournisseur: Jotun Protective Coatings est basé en Norvège. Distributeur: Jotun-Henry Clark Ltd, Matheson House, 142 Minories, London, EC3N 1QL, England.

No. d'enregistrement: 3020 Référence: ENQ3020
Production: Ressorts métalliques

Procédé: Des ressorts sont trempés dans un bac de peinture et immédiatement transvidés. La peinture utilisée est composée de 65 % de diluant car on désire avoir une bonne rapidité de séchage et une fine couche. Les manipulations se font manuellement.
Nom du produit à remplacer: Peinture à base de solvants organiques
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
Toluène
Problème: Etourdissements, maux de tête. Il y a des émanations de solvants, surtout du toluène. On a évalué que les préposés à la peinture étaient exposés à des concentrations de 510 mg/m^3 pour une durée d'une heure et cela malgré la présence d'un système d'aspiration à la source au-dessus du bac de trempage. Plusieurs autres solvants sont présents.
Nom du produit substitutif: Peintures à base d'eau
Nom du produit fournisseur: BÉTON EL
Utilisation: Identification des ressorts
Commentaires: Peinture super adhérente à l'aluminium et à l'acier
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Latex acrylique
Solution: On remplace la peinture à base de solvants organiques par une peinture à base d'eau. La technique d'application par trempage est retenue par l'entreprise étant donné les faibles dimensions des pièces et parce que la peinture n'est utilisée que dans un but d'identification et non de protection ou de finition. Des essais avaient été complétés en utilisant des peintures au latex provenant d'autres fabricants mais les résultats avaient été négatifs suite à l'apparition de rouille.
Résultats - Procédé: La productivité est inchangée. On estime même que le temps de séchage est plus rapide.
Résultats - Produit final: Les employés sont très satisfaits du changement. Les activités de nettoyage sont simplifiées puisqu'on peut utiliser l'eau comme solvant.
Résultats - Finances: Cette peinture est moins dispendieuse. Environ $6 / litre.
Résultats - Exposition: Absence du toluène dans la nouvelle peinture. Satisfaction des employés.
Résultats - Émissions: Réduction de la quantité de COV émis. De plus, le nettoyage se fait dorénavant avec de l'eau à la place de solvants organiques.
Commentaires: Contacts chez BÉTONEL: M. Stéphane Moisan et M. Marius Raymond au 418-651-2625.

No. d'enregistrement: 3021 Référence: Reti, 1993
Production: Formulation de peintures et revêtements résistants à des températures élevées.
Procédé: Mélange
Nom du produit à remplacer: Polysiloxane à base de solvants organiques
Problème: Réduire l'exposition aux solvants organiques lors de l'application des peintures et revêtements de silicone (polysiloxane). Typiquement ces produits étaient mélangés à des solvants organiques pour permettre leur application.
Nom du produit substitutif: Polysiloxane à hauts % solides; 1-0409, 1-2662
Nom du produit fournisseur: DOW CORNING LTD
Solution: L'utilisation des polysiloxanes à haute teneur en solides dans la formulation de peintures et revêtements permet de réduire significativement la proportion de solvants organiques.
Résultats - Produit final: Ces produits permettent d'obtenir des propriétés similaires ou supérieures aux revêtements standards à base de solvants organiques mais avec 2 fois moins de composés organiques volatils émis.
Résultats - Exposition: L'exposition aux solvants organiques est réduite de façon significative.

No. d'enregistrement: 3022 Référence: Reti, 1993
Production: Formulation de peintures et revêtements résistants à des températures élevées.
Procédé: Mélange
Nom du produit à remplacer: Polysiloxane à base de solvants organiques
Problème: Réduire l'exposition aux solvants organiques lors de l'application des peintures et revêtements de silicone (polysiloxane). Typiquement ces produits étaient mélangés à des solvants organiques pour permettre l'application.
Nom du produit substitutif: Polysiloxane à base d'eau; 1-0468, 1-0469
Nom du produit fournisseur: DOW CORNING LTD
Solution: L'utilisation des produits polysiloxanes à base d'eau dans la formulation de peintures et revêtements permet de réduire significativement la proportion de solvants organiques requise.
Résultats - Produit final: Ces produits permettent d'obtenir des propriétés similaires aux revêtements standards à base de solvants organiques mais tout en diminuant significativement la quantité de composés organiques volatils. En fait, ces produits à base d'eau réduisent encore plus les COV émis que les revêtements à haute teneur en solides.
Résultats - Exposition: L'exposition aux solvants organiques est réduite de façon significative.

No. d'enregistrement: 3023 Référence: Tillman, 1991
Production: Tondeuses, rotoculteurs, déchiqueteuses à papier.
Procédé: Application/pulvérisation.
Équipement/Méthode: Equipements de pulvérisation
Nom du produit à remplacer: Peintures à base de solvants organiques et plomb
Problème: Emissions de vapeurs de composés organiques volatils et présence de plomb dans les peintures.
Nom du produit substitutif: Peintures en poudre
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Polyester
Solution: Le nouveau système consiste d'abord en un lavage des pièces à l'aide d'une solution d'hydroxyde à faible pH, suivi d'un rinçage à l'eau, de l'application d'un revêtement au phosphate de fer, d'un deuxième rinçage, de l'application d'un produit scellant sans chrome, d'un séchage à 120 degrees Celsius, de l'application de peintures en poudre à l'aide d'un système électrostatique et d'un chauffage à 204 degrees Celsius.
Résultats - Produit final: Les produits sont de plus haute qualité et la capacité de production a été augmentée. De plus, on récupère de 97 à 98 % de la poudre pulvériséee en trop. Le 2 à 3 % de poudre qui est contaminée est collectée par un filtre à air de haute efficacité et est chauffée pour générer un déchet plastique qui peut facilement être disposé. Les pièces qui doivent être repeintes sont chauffées à 650 degrees Celsius pour les débarasser de leur revêtement et les cendres formées ainsi peuvent être facilement disposées. **Résultats - Finances:** Le système est rentable puisqu'il permet à la compagnie d'économiser $25 000 par année.
Résultats - Émissions: On a réduit de 95 % les déchets dangereux. La présence de plomb dans la peinture a été éliminée.
Commentaires: Pour plus d'information, on peut contacter Paul Hoffmann, directeur des services environnementaux de la compagnie GARDEN WAY Inc., Troy, New York au no. tél. 518-235-6010.

No. d'enregistrement: 3024 Référence: Tillman, 1991
Production: Camions
Procédé: Application de peintures
Équipement/Méthode: Equipement de pulvérisation

Nom du produit à remplacer: Peintures à base de solvants organiques
Problème: Emission de composés organiques volatils.
Nom du produit substitutif: Peintures à haute teneur en solides
Utilisation: Protection et décoration
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Monomères acrylates
Solution: Réduction de l'émission de composés organiques volatils par l'utilisation de peintures à haute teneur en solides, d'un système de pulvérisation HVBP plus efficace. L'ajout du catalyseur, permettant au film de peintures de durcir à de faibles températures, se fait seulement lors de la pulvérisation aux becs des fusils, ce qui réduit les pertes en peintures. Celles-ci peuvent être utilisées pour effectuer des légères corrections. Auparavant la durée de vie du mélange n'était que de 3 heures à 22 degrees Celsius. On a aussi bloqué l'ajustement des régulateurs de pression pour empêcher que la pression ne soit augmentée, ce qui a pour effet de réduire les pertes de peintures. On a aussi réduit la pression de l'air des fusils de 415 à 275 kPa. On a réduit la viscosité des peintures en chauffant celles-ci, ce qui permet de réduire la pression d'air lors de la pulvérisation. On a amélioré l'efficacité de nettoyage des fusils en injectant le solvant de nettoyage à haute pression.
Résultats - Produit final: L'utilisation de peintures à haute teneur en solides combinée à un système de pulvérisation plus efficaces a permis de réduire significativement l'émission de composés organiques volatils et les déchets générés durant la production.
Résultats - Finances: Les efforts de la compagnie ont permis de réduire de 77 % les coûts de disposition des déchets par camion.
Résultats - Exposition: Moins de composés organiques volatils sont générés lors de l'application et du nettoyage des équipements.
Commentaires: Pour plus d'informations, on peut contacter Ken Legner, ingénieur de l'environnement de la compagnie KENWORTH TRUCK Co., Chillicothe, Ohio au 614-774-5227.

No. d'enregistrement: 3025 Référence: Anonyme, 1993b
Production: Portes et fenêtres en aluminium et acier.
Procédé: Il y a d'abord nettoyage des pièces et d'un traitement au phosphate de fer pour une protection contre la corrosion. On applique la peinture à l'aide d'un système électrostatique. Il y a durcissement à 205 degrees Celsius.
Équipement/Méthode: Pulvérisation
Nom du produit à remplacer: Peintures à base de solvants organiques
Problème: Emission de composés organiques volatils
Nom du produit substitutif: Peintures en poudre
Utilisation: Protection et décoration
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Résines polyester
Solution: On utilise des peintures en poudre à base de polyester/polyuréthane, époxy hybride ou polyester. Il n'y a pas présence de solvants organiques. Le fini est de qualité, il est aussi résistant à la corrosion.
Résultats - Procédé: La qualité du fini dépend de la préparation du métal. La préparation se fait en 6 étapes: nettoyage avec une solution alcaline chauffée, suivi d'un rinçage à l'eau, traitement chimique à chaud, autre rinçage à l'eau, rinçage au phosphate de fer pour une protection accrue contre la corrosion. La peinture est ensuite appliquée à l'aide d'un système électrostatique à une épaisseur de 2 à 3 millièmes de pouce. Les pièces sont ensuite chauffées à 205 degrees Celsius pour fondre la poudre et compléter le durcissement.

Résultats - Produit final: On obtient des produits d'excellente qualité, très résistants à la corrosion.
Résultats - Exposition: Les émissions de composés organiques volatils sont fortement réduites.
Résultats - Autres: En plus de produire des portes et fenêtres, la compagnie MODERN WINDOW AND AWNING Co, de Youngstown, Ohio applique aussi des revêtements pour des pièces dans le domaine de l'automobile, des électroménagers, des fournitures de bureau et du matériel de sports.

No. d'enregistrement: 3026 Référence: Kelsey, 1991
Production: Formulation d'une laque à base d'acrylique.
Procédé: Mélangeur
Équipement/Méthode: Utilisation d'un logiciel BP SOLVE 2 de BP CHEMICALS. Ce programme permet de prédire les taux d'évaporation de la formulation originale et des formulations de remplacement.
Nom du produit à remplacer: Paraloid B72 (Laque d'acrylique avec toluène)
Composition du produit à remplacer:

Ingrédient	Numéro CAS	Concentration
MPA	53-36-1	28 %
Résine acrylique		30 %
Toluène		42 %

Problème: Réduction de l'exposition des travailleurs au toluène.
Nom du produit substitutif: Laque d'acrylique et de solvants oxygénés
Solution: Remplace le toluène par un mélange de n-butanol, d'acétone, d'acétate de butyle normal, de SBP3. On a utilisé un logiciel de BP CHEMICALS pour prédire les effets d'évaporation et les coûts impliqués pour ce changement de formulation.
Résultats - Intrants: Le SBP3 est un mélange d'hydrocarbures avec un intervalle de point d'ébullition de 102 à 120 degrees Celsius et est constitué à 10 % de produits aromatiques.
Résultats - Produit final: Avec les formulations essayées, on peut réduire de moitié sinon en totalité la présence du toluène sans effet important sur les caractéristiques des formulations. Le temps de séchage est pratiquement le même. La dureté du film après 24 heures de séchage est légèrement plus élevée pour la nouvelle formulation. La viscosité du mélange sans toluène est légèrement inférieure.
Résultats - Finances: Le prix du mélange essayé serait de 7.5 % plus élevé que la formulation originale.
Résultats - Exposition: La nouvelle formulation est préférable puisqu'on a éliminé la présence de toluène.

No. d'enregistrement: 3027 Référence: Kelsey, 1991
Production: Formulation d'une laque à base d'époxy.
Procédé: Mélangeur
Équipement/Méthode: Utilisation d'un logiciel BP SOLVE 2 de BP CHEMICALS. Ce programme permet de prédire les taux d'évaporation de la formulation originale et des formulations de remplacement.
Nom du produit à remplacer: Résine Epikote (époxy à base de toluène)
Composition du produit à remplacer:

Ingrédient	Concentration
Ethoxypropanol	6.6 %
MEK	11.4%
MIBK	11.4%
n-Butanol	3 %
Résine époxy	40 %
Toluène	21.6%
Xylène	6 %

Problème: Réduction de l'exposition des travailleurs au toluène.
Nom du produit substitutif: Laque d'époxy et de solvants oxygénés
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
Acétate de n-butyle	4.8 %
Acétone	7.2 %
Ethoxypropanol	6.6 %
MEK	11.4 %
MIBK	11.4 %
n-Butanol	3 %
Résine époxy	40 %
SBP3	9.6 %
Xylène	6 %

Solution: Remplace le toluène par un mélange d'acétate de butyl normal, d'acétone, de SBP3. On a utilisé un logiciel de BP CHEMICALS pour prédire les effets d'évaporation et les coûts impliqués pour ce changement de formulation.
Résultats - Intrants: Le SBP3 est un mélange d'hydrocarbures avec un intervalle de point d'ébullition de 102 à 120 degrees Celsius et est constitué à 10 % de produits aromatiques.
Résultats - Produit final: Avec les formulations essayées, on peut réduire de moitié sinon en totalité la présence du toluène sans effet important sur les caractéristiques des formulations. Le temps de séchage est pratiquement le même. La dureté du film après 24 heures de séchage est légèrement plus élevée pour la nouvelle formulation. La viscosité du mélange sans toluène est légèrement inférieure.
Résultats - Finances: Le prix du mélange essayé serait de 5.5 % plus élevé que la formulation originale.
Résultats - Exposition: La nouvelle formulation est préférable puisqu'on a éliminé la présence de toluène.

No. d'enregistrement: 3028 Référence: Kirsch, 1992a
Production: Pièces d'aluminium
Procédé: Extrusion des pièces et pulvérisation de peintures. Avant l'application de la peinture, les pièces sont traitées avec une solution de phosphate de chrome pour les protéger contre la corrosion. Les pièces sont ensuite séchées à 120 degrees Celsius avant d'appliquer la peinture à haute teneur en solides à l'aide d'un système électrostatique. L'équipement de pulvérisation est nettoyé à l'aide du xylène.
Nom du produit à remplacer: Peintures à base de solvants organiques
Problème: Bien que les peintures soient à haute teneur en solides et que l'on utilise un système d'application électrostatique, il y quand même émission de composés organiques volatils lors de l'application de la peinture. On utilise aussi du xylène pour le nettoyage des fusils.
Nom du produit substitutif: Peintures en poudre
Solution: On réduit fortement l'émission de composés organiques volatils en utilisant des peintures en poudre. Le même système d'application électrostatique est utilisé. Le xylène n'est plus nécessaire pour le nettoyage des fusils.
Résultats - Procédé: On applique d'abord un revêtement de phosphate de chrome contre la corrosion. Les pièces sont ensuite séchées dans un four à 120 degrees Celsius avant que la peinture soit appliquée. On doit ensuite chauffer les pièces pour fondre les poudres et compléter le durcissement de la peinture.
Résultats - Finances: On prévoit que le changement de procédé sera amortie sur une période d'environ 5 ans.
Résultats - Exposition: L'exposition aux solvants durant l'application est éliminée.

No. d'enregistrement: 3029 Référence: Looby, 1992b
Production: Armoires et pièces métalliques de précision en aluminium et en acier.
Procédé: Les pièces en aluminium reçoivent d'abord un traitement anticorrosion et pour améliorer l'adhérence de la peinture. Il s'agit d'une solution de chromâtes. Dans le cas des pièces en acier, le traitement se fait à l'aide d'une solution de phosphate de fer. On applique la peinture à base de solvants

organiques pour ensuite sécher les pièces et durcir la peinture dans des fours. L'usine utilise aussi les peintures en poudre sur une petite fraction des pièces.
Équipement/Méthode: La peinture est appliquée par pulvérisation.
Nom du produit à remplacer: Peintures à base de solvants organiques
Problème: Il y a émission de composés organiques volatils lors de la pulvérisation.
Nom du produit substitutif: Peintures en poudre
Utilisation: Protection et décoration
Solution: On a réduit fortement l'émission de composés organiques volatils lors de l'application des peintures en poudre.
Résultats - Procédé: On effectue le même traitement anticorrosion aux pièces d'aluminium et d'acier.
Résultats - Finances: On a estimé que les nouveaux équipements qui seraient requis pour appliquer des peintures en poudres seraient amortis sur une période de 1.4 années.
Résultats - Exposition: Avec ce type de peintures, on réduit fortement l'émission de composés organiques volatils lors de l'application.
Résultats - Émissions: Il n'est plus nécessaire d'utiliser un solvant pour rincer les pièces du système d'application comme c'est le cas pour les peintures à base de solvants organiques.

No. d'enregistrement: 3030 Référence: Looby, 1992b
Production: Armoires et pièces métalliques de précision en aluminium et acier
Procédé: Les pièces en aluminium reçoivent d'abord un traitement anticorrosion et pour améliorer l'adhérence de la peinture. Il s'agit d'une solution de chromâtes. Dans le cas des pièces en acier, le traitement se fait à l'aide d'une solution de phosphate de fer. On applique la peinture à base de solvants organiques pour ensuite sécher les pièces et durcir la peinture dans des fours. L'usine utilise aussi les peintures en poudre sur une petite fraction des pièces.
Équipement/Méthode: La peinture est appliquée par pulvérisation.
Nom du produit à remplacer: Peintures à base de solvants organiques
Problème: Il y a émission de composés organiques volatils lors de la pulvérisation.
Nom du produit substitutif: Peintures à base d'eau
Utilisation: Protection et décoration
Solution: On a réduit l'émission de composés organiques volatils lors de la pulvérisation de ce type de peinture.
Résultats - Procédé: On effectue le même traitement anticorrosion aux pièces d'aluminium et d'acier.
Résultats - Finances: On a estimé que les nouveaux équipements qui seraient requis pour appliquer des peintures à base d'eau seraient amortis sur une période de 0.2 année.
Résultats - Exposition: Avec ce type de peintures, on réduit fortement l'émission de composés organiques volatils lors de l'application.
Résultats - Émissions: Les équipements peuvent être lavés à l'eau.

No. d'enregistrement: 3031 Référence: Kirsch, 1992c
Production: Boîtiers de mirroirs extérieurs pour véhicules automobiles.
Procédé: Il y a d'abord dégraissage des pièce d'acier et de zinc suivi d'un traitement de phosphate de zinc. On ajoute ensuite un apprêt puis on sèche avant d'appliquer la peinture à l'aide d'un système électrostatique.
Pièce/Matériau: Acier galvanisé, inoxydable, pièces de zinc
Équipement/Méthode: Système d'application électrostatique.
Nom du produit à remplacer: Peintures à base de solvant organiques
Problème: On veut réduire l'émission de COV lors de l'application.
Nom du produit substitutif: Peintures en poudre
Utilisation: Protection et décoration

Solution: On propose d'utiliser des peintures à base de poudres pour réduire fortement l'émission de composés organiques volatils lors de l'application de la peinture sur les pièces d'acier galvanisé et inoxydable et de zinc.
Résultats - Procédé: Le même traitement de préparation serait effectué avant d'appliquer les peintures en poudre, à l'aide d'un système électrostatique.
Résultats - Finances: On prévoit amortir le nouveau système sur une période de 2.1 annnées.
Résultats - Exposition: On réduit fortement l'émission des COV.

No. d'enregistrement: 3032 Référence: Kirsch, 1992b
Production: Meubles en métal dédiés au domaine militaire.
Procédé: Il y a d'abord dégraissage des pièces d'acier à l'aide du toluène suivi d'un lavage avec une solution alcaline à environ 40 degrees Celsius et d'un traitement au phosphate de fer pour préparer les surfaces avant d'appliquer un produit anticorrosion. On sèche avant d'appliquer la peinture à l'aide d'un système électrostatique. Les pièces sont ensuite durcies dans un four avant d'être assemblées. Pour les petites pièces, la peinture est appliquée par trempage suivi d'un séchage dans un four avant d'être assemblées.
Pièce/Matériau: Pièces en acier et en bois.
Équipement/Méthode: Système de pulvérisation.
Nom du produit à remplacer: Peintures à base de solvant organiques
Problème: On veut réduire l'émission de composés organiques volatils lors de l'application de la peinture.
Nom du produit substitutif: Peintures en poudre
Solution: On propose d'utiliser des peintures à base de poudre pour réduire l'émission de composés organiques volatils lors de l'application. De plus, on élimine l'utilisation du xylène comme solvant de nettoyage du système de pulvérisation.
Résultats - Procédé: Le même traitement de préparation serait effectué avant d'appliquer les peintures en poudre à l'aide d'un système électrostatique.
Résultats - Finances: On prévoit amortir le nouveau système sur une période de 2.9 annnées.
Résultats - Exposition: On réduit fortement l'émission des COV lorsqu'on utilise des peintures en poudre lors de l'application et le nettoyage des équipements.

No. d'enregistrement: 3033 Référence: Looby, 1992c
Production: Pièces d'aluminium
Procédé: Extrusion des pièces et application de peintures. Avant l'application de la peinture, les pièces sont traitées avec une solution alcaline chauffée pour enlever l'huile et la graisse suivi d'un traitement au chrome et à l'acide chromique afin d'améliorer l'adhérence de la peinture. Les pièces sont ensuite séchées à 120 degrees Celsius avant d'appliquer la peinture à l'aide d'un système électrostatique. Plus de 180 couleurs différentes sont utilisées, dont la plupart sont à base de polyester et d'acrylique et quelques unes à base de fluorocarbone. Les résines acryliques sont diluées avec le "solvant 150". L'équipement de pulvérisation est nettoyé à l'aide du toluène entre les changements de couleurs.
Pièce/Matériau: Aluminium
Équipement/Méthode: Système d'application électrostatique
Nom du produit à remplacer: Peintures acryliques à base de solvants organiques
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
Résines acryliques
Solvant 150
Problème: Il y a émission de composés organiques volatils lors de l'application de la peinture. On utilise aussi du toluène pour le nettoyage du système de pulvérisation.

Nom du produit substitutif: Peintures en poudre
Commentaires: Il faut tenir compte du fait qu'il peut y avoir émission de trace de monomères d'isocyanate qui sont considérés irritants pour les voies respiratoires.
Solution: On réduit fortement l'émission de composés organiques volatils en utilisant des peintures en poudre. Le même système d'application électrostatique est utilisé. Le toluène n'est plus nécessaire pour le nettoyage du système de pulvérisation.
Résultats - Procédé: Le même traitement de préparation est nécessaire avant l'application de la peinture. On doit ensuite chauffer les pièces pour fondre les poudres et compléter le durcissement de la peinture.
Résultats - Finances: On prévoit que le nouveau système d'application sera amortie dans environ 0.1 an.
Résultats - Exposition: On élimine l'exposition aux solvants durant l'application et le nettoyage des équipements.

No. d'enregistrement: 3034 Référence: Looby, 1992c
Production: Pièces d'aluminium
Procédé: Extrusion des pièces et application de peintures. Avant l'application de la peinture, les pièces sont traitées avec une solution alcaline chauffée pour enlever l'huile et graisse suivi d'un traitement au chrome et à l'acide chromique afin d'améliorer l'adhérence de la peinture. Les pièces sont ensuite séchées à 120 degrees Celsius avant d'appliquer la peinture à l'aide d'un système électrostatique. Plus de 180 couleurs différentes sont utilisées, dont la plupart sont en polyester et en acrylique et le restant à base de fluorocarbones. Les résines de polyester sont diluées avec le "solvant 150". L'équipement de pulvérisation est nettoyé à l'aide du toluène entre les changements de couleurs.
Pièce/Matériau: Aluminium
Équipement/Méthode: Système d'application électrostatique
Nom du produit à remplacer: Peintures polyester à base de solvants organiques
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
Résines polyester
Solvant 150
Problème: Il y a quand même émission de composés organiques volatils lors de l'application de la peinture. On utilise aussi du toluène pour le nettoyage des fusils.
Nom du produit substitutif: Peintures en poudre
Solution: On réduit fortement l'émission de composés organiques volatils en utilisant des peintures en poudre. Le même système d'application électrostatique est utilisé. Le toluène n'est plus nécessaire pour le nettoyage des fusils.
Résultats - Procédé: Le même traitement de préparation est nécessaire avant l'application de la peinture. On doit ensuite chauffer les pièces pour fondre les poudres et compléter le durcissement de la peinture.
Résultats - Finances: On prévoit que le changement de procédé sera amortie sur une période d'environ 0.1 ans.
Résultats - Exposition: On élimine l'exposition aux solvants durant l'application et le nettoyage des équipements.

No. d'enregistrement: 3035 Référence: Looby, 1992c
Production: Pièces d'aluminium
Procédé: Extrusion des pièces et application de peintures. Avant l'application de la peinture, les pièces sont traitées avec une solution alcaline chauffée pour enlever l'huile et graisse suivi d'un traitement au chrome et à l'acide chromique afin d'améliorer l'adhérence de la peinture. Les pièces sont ensuite séchées à 120 degrees Celsius avant d'appliquer la peinture à l'aide d'un système électrostatique. Plus de 180 couleurs différentes sont utilisées, dont la plupart sont en polyester et en acrylique et le restant

à base de fluorocarbones. Le fluorocarbone est dilué avec le MIBK des solvants "DB". L'équipement de pulvérisation est nettoyé à l'aide du toluène entre les changements de couleurs.
Pièce/Matériau: Aluminium
Équipement/Méthode: Système d'application électrostatique
Nom du produit à remplacer: Peintures fluorocarbones à base de solvants organiques
Composition du produit à remplacer:
Ingrédient
"DB"
MIBK
Résines fluorocarbones
Problème: Il y a quand même émission de composés organiques volatils lors de l'application de la peinture. On utilise aussi du toluène pour le nettoyage des fusils.
Nom du produit substitutif: Peintures en poudre
Solution: On réduit fortement l'émission de composés organiques volatils en utilisant des peintures en poudre. Le même système d'application électrostatique est utilisé. Le toluène n'est plus nécessaire pour le nettoyage des fusils.
Résultats - Procédé: Le même traitement de préparation est nécessaire avant l'application de la peinture. On doit ensuite chauffer les pièces pour fondre les poudres et compléter le durcissement de la peinture.
Résultats - Finances: On prévoit que le changement de procédé sera amortie sur une période d'environ 0.1 ans.
Résultats - Exposition: On élimine l'exposition aux solvants durant l'application et le nettoyage des équipements.

No. d'enregistrement: 3036 Référence: Looby, 1992a
Production: Pièces de système d'air conditionné d'automobiles
Procédé: Les pièces sont d'abord partiellement assemblées puis dégraissées. Elles sont ensuite assemblées en produits finis et peinturées à l'aide d'une peinture à base de solvants organiques.
Pièce/Matériau: Aluminium
Équipement/Méthode: Système d'application par pulvérisation
Nom du produit à remplacer: Peintures à base de solvants organiques
Problème: On émet des composés organiques volatils lors de l'application de la peinture et du nettoyage des équipements.
Nom du produit substitutif: Peintures en poudre
Utilisation: Protection
Solution: On propose d'utiliser des peintures en poudre pour réduire fortement l'émission de composés organiques volatils lors de l'application et du nettoyage des équipements.
Résultats - Procédé: Le même traitement de préparation est nécessaire avant l'application de la peinture. On doit ensuite chauffer pour faire fondre les poudres et effectuer le durcissement.
Résultats - Finances: On prévoit que le nouveau système d'application sera amorti à l'intérieur de 3.5 années.
Résultats - Exposition: On éliminera l'exposition aux solvants lors de l'application des peintures.

No. d'enregistrement: 3037 Référence: Gashlin, 1992
Production: Atelier de réparation de carrosserie automobile.
Procédé: Pulvérisation de peinture
Pièce/Matériau: Peinture à base de solvants.
Équipement/Méthode: Pulvérisateur
Nom du produit à remplacer: Peinture utilisées sont à base de solvants org.
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques lors de l'application.

Nom du produit substitutif: Système de pulvérisation HVBP
Solution: Utilisation proposée d'un pulvérisateur à haut volume et à basse pression (HVBP). Ce type d'équipement est reconnu pour réduire les pertes de 10 à 30 % lors de la pulvérisation. Il est aussi suggéré d'installer un système de distillation pour la récupération des solvants organiques utilisés pour le nettoyage des équipements.
Résultats - Finances: Le système de pulvérisation à haut volume basse pression pourrait être amorti sur une période de 7 ans compte tenu de la réduction en pertes lors de l'application. Une période de 2 ans serait nécessaire pour payer le système de distillation.
Résultats - Exposition: L'exposition des travailleurs aux solvants organiques devrait être légèrement réduite.
Résultats - Émissions: Réduction des COV émis.
Commentaires: Étude subventionnée par EPA.
Site: Firme du New Jersey.

No. d'enregistrement: 3038 Référence: Hestar, 1989
Production: Diverses pièces utilisées dans le milieu chirurgical.
Procédé: Application de peintures.
Nom du produit à remplacer: Peintures à base de solvants organiques
Problème: Réduire l'exposition aux solvants organiques lors de l'application de la peinture.
Nom du produit substitutif: Peintures à base de poudres.
Composition du produit substitutif:
Ingrédient
Oligomères d'esters acryliques
Solution: Ils ont remplacé les peintures à base de solvants par des peintures à base de poudre
Résultats - Procédé: Système d'application électrostatique.
Résultats - Produit final: La compagnie AMSCO a substitué les peintures à base de solvants par des poudres parce qu'ils sont en mesure d'obtenir un produit supérieur avec moins de rejets tout en étant plus facile à manipuler et à appliquer. Les produits sont plus durables et résistent mieux aux agents nettoyants. De plus, le nettoyage des lieux est simplifié et aucun solvant n'est requis pour le compléter.
Résultats - Émissions: Elimination des COV tant lors de l'application que lors du nettoyage.
Commentaires: 95 % de la poudre pulvérisée en excès est recyclée. Donc il y a très peu de pertes.

No. d'enregistrement: 3050 Référence: Filskov, 1989
Production: Utilisation de tubes de PVC dans des compresseurs.
Procédé: Nettoyage avec dichlorométhane puis application d'une colle de marque Tangit (à base de dichlorométhane).
Pièce/Matériau: Colle
Nom du produit à remplacer: Colle Tangit et dichlorométhane
Problème: Exposition au dichlorométhane.
Nom du produit substitutif: Pevicol
Solution: Utilisation d'une colle à base de N-méthylpyrrolidone. Le nettoyage s'effectue mécaniquement.
Résultats - Produit final: La nouvelle colle résiste à une pression d'une atmosphère supérieure à la pression atmosphérique. Ceci est indispensable compte tenu de son utilisation dans des compresseurs.
Résultats - Exposition: Le NMP est jugé moins toxique que le dichlorométhane. Le NMP est un irritant pour les yeux et la peau. Le N-méthylpyrrolidone a une valeur limite tolerable (TWA) de 10 ppm selon le WEEL guide de l'AM. IND. HYG. ASSOC. JOURNAL, 55(2): 176-177 (1994). Aussi le DFG MAK est défini à 100 ppm et 400 mg/m3. Réf: Maximum conc. at the workplace and biological tol. values for working mat., 1991, DFG. Pour plus d'informations sur le NMP, voir Walsh D., Chemical Safety Data **Sheets, Vol. 1:** Solvents, Cambridge, The Roayl Society of Chemistry, 1989.

No. d'enregistrement: 3051 Référence: Filskov, 1989
Production: Fabrication de fenêtres en PVC.
Procédé: Application d'une colle sur des fenêtres en PVC.
Nom du produit à remplacer: Colle composée de THF et de cyclohexanone.
Problème: Exposition des travailleurs aux solvants tels que le tétrahydrofuranne et le cyclohexanone lorsqu'ils utilisent de la colle (no 1268) de la compagnie SADOFOSS A/S. Celle-ci contient plus de 20 % de THF, 1 à 5 % de cyclohexanone et un copolymère de PVC.
Nom du produit substitutif: Pevicol
Solution: Utilisation d'une colle de marque Pevicol à base d'un solvant moins toxique, la N-méthylpyrrolidone (NMP).
Résultats - Produit final: La colle est jugée moins toxique que celle à base de THF et de cyclohexanone. La colle est utilisée pour les items qui ont besoin d'une grande force d'adhérence et qui doivent être résistants aux intempéries.
Résultats - Exposition: Les travailleurs ont observé une nette amélioration de leur milieu de travail et cela même sans qu'il y ait eu installation d'un système de ventilation. Le NMP est un irritant pour les yeux et la peau. Le N-méthylpyrrolidone a une valeur limite tolerable (TWA) de 10 ppm selon le WEEL guide de l'AM. IND. HYG. ASSOC. JOURNAL, 55(21: 176-177 (1994). Aussi le DFG MAK est défini à 100 ppm et 400 mg/m3. Réf: Maximum conc. at the workplace and biological tol. values for working mat., 1991, DFG. Pour plus d'informations sur le NMP, voir Walsh D., Chemical Safety Data Sheets, Vol. 1: Solvents, Cambridge, The Royal Society of Chemistry, 1989.

No. d'enregistrement: 3052 Référence: Anonyme, 1992d
Production: Emballage flexible
Procédé: Laminage
Pièce/Matériau: Utilisation d'adhésifs à base d'eau sur films de plastique (PP, PE, polyester, polyamide, aluminium, papier, cellophane)
Équipement/Méthode: "Convert Jet laminator" de la compagnie Schiavi
Nom du produit à remplacer: Adhésifs à base de solvants organiques
Problème: Emission de vapeurs organiques lors de l'application des adhésifs.
Nom du produit substitutif: Adhésifs à base d'eau
Solution: On remplace les solvants organiques par une base d'eau.
Résultats - Procédé: Laminage. Les films de plastique doivent être préalablement être traités avec une décharge électrique (corona) pour améliorer l'énergie de surface et le mouillage {"wettability") par des adhésifs polaires.
Résultats - Produit final: Absence de résidus de solvants dans les films laminés. Les films laminés ont une bonne transparence et une assez bonne résistance à la chaleur. Ils ne sont pas adéquats pour des applications critiques qui nécessitent une résistance chimique élevée et une résistance aux procédés de pasteurisation ou de stérilisation.
Résultats - Exposition: L'exposition aux solvants est réduite.

No. d'enregistrement: 3053 Référence: ENQ3053
Production: Kiosques d'exposition et module publicitaire
Procédé: Collage de pièces en stratifié.
Nom du produit à remplacer: CCR-10
Problème: Evaporation de solvants organiques lors de l'application et du séchage des pièces. Contacts cutanés.
Nom du produit substitutif: CCL-100 (au latex)
Solution: On utilise dans 80 % des cas, une colle qui est à base de latex. La substitution entraîne une exposition négligeable aux vapeurs de solvants.

Résultats - Procédé: Il est le même.

No. d'enregistrement: 3054 Référence: Ferrier, 1991
Production: Planchers surélevés utilisés dans des salles d'ordinateurs ("acess flooring"), portes de garage.
Procédé: Application de colle contact sur chacune de deux surfaces à être collée.
Nom du produit à remplacer: Colle contact
Problème: On veut réduire l'émission de vapeurs de solvants organiques. Généralement les colles contact vont être composées de 80 % de solvants.
Nom du produit substitutif: Thermofusibles polyuréthanes
Solution: On remplace la colle contact à base de solvants organiques par un adhésif thermofusible polyuréthane réagissant à l'humidité. Les adhésifs thermofusibles ne contiennent pas de solvant. Toutefois, comme ce thermofusible est constitué de polyuréthanes, il peut y avoir dégagement de traces d'isocyanates.
Résultats - Procédé: Seule une des surfaces doit être recouverte de cette colle. Il faut chauffer le polyuréthane à un minimum de 120 degrees Celsius.
Résultats - Produit final: Il y a reticulation de cette colle suite à une réaction avec l'humidité dans l'air. Il n'est plus nécessaire d'appliquer sur les deux surfaces mais seulement sur une des deux.
Résultats - Exposition: L'exposition aux solvants organiques est éliminée mais on doit tenir compte de la possibilité d'émission d'isocyanate lors de la mise en oeuvre. Ces vapeurs sont irritantes pour les yeux, l'appareil respiratoire et sensibilisantes (Farhi, 1986). Pour évaluer la pertinence de substituer la colle contact, il faut donc tenir du danger relatif aux traces d'isocyanate possiblement générées par rapport à la présence de vapeurs de solvants organiques lors de l'application de la colle contact.

No. d'enregistrement: 3055 Référence: ENQ3055
Production: Assemblage de pièces de menuiserie dans une usine de bouletage.
Procédé: Utilisation fréquente de colles pour l'assemblage de différents meubles et d'équipement en bois.
Nom du produit à remplacer: Colles à base de solvants organiques
Problème: Lors de l'application de la colle, les travailleurs pouvaient ressentir divers symptômes liés à une exposition aux solvants tels que nausées, étourdissements, maux de tête. Les symptômes ressentis sont davantage reliés aux effets aigus des solvants qu'à une intoxication chronique. L'application se fait sur de courtes périodes et de façon intermittente.
Nom du produit substitutif: Colle contact "Press-tile"
Solution: La colle ne contient pas de solvants. Aucune autre information disponible.
Résultats - Produit final: Les employés sont très satisfaits.

No. d'enregistrement: 3056 Référence: Ferrier, 1991
Production: Panneaux composites en bois ("particle, wafer, oriented-strand").
Procédé: Application d'un scellant contre l'humidité.
Pièce/Matériau: Produit composé de cire et d'un copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyle (EVA).
Équipement/Méthode: Equipement de pulvérisation.
Nom du produit à remplacer: Scellant à base de solvants organiques
Problème: On veut réduire l'émission de solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Mélange cire/EVA
Solution: On élimine l'utilisation de solvants organiques par l'utilisation d'un mélange fondu de cire et d'un copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyle (EVA).
Résultats - Produit final: Ce produit offre une meilleure résistance à l'humidité tout en éliminant le problème d'émision des vapeurs de solvants organiques. On réduit aussi le gonflement des bordures des

panneaux causé par l'absorption de l'humidité par le bois.
Résultats - Exposition: Il y a élimination de l'exposition aux solvants organiques.

No. d'enregistrement: 3057 Référence: ENQ3057
Production: Produits de scellage à base de solvants. Une dizaine de formulations sont utilisées.
Procédé: On mélange différentes matières premières dans des réservoirs d'environ 500 gallons. Le produit fini est transvidé par pompage dans des camions citernes et occasionnellement dans des barils de 45 gallons.
Équipement/Méthode: Formulation, mélange, pompage
Nom du produit à remplacer: Agent de scellage
Composition du produit à remplacer:

Ingrédient	Concentration
N-hexane	60 %

Problème: Il y a exposition des travailleurs au n-hexane lors de l'alimentation des mélangeurs.
Solution: Dans plusieurs recettes, on a remplacé complètement le n-hexane pour le n-heptane tandis que pour d'autres recettes, seule une fraction de l'hexane a été remplacé par le n-heptane. Finalement pour les formulations impliquant une réaction chimique (environ 5 % de la production), il n'y a pas eu de changement de formulation.
Résultats - Procédé: Le procédé est le même.
Résultats - Produit final: Il n'y a pas eu d'impact sur la productivité.
Résultats - Finances: Le coût du n-heptane est similaire au n-hexane.
Résultats - Exposition: Au moment de l'entrée des données, l'heptane n'a pas encore été échantillonné. Toutefois comme la tension de vapeur de l'hexane est environ trois fois plus élevée que celle pour l'heptane (140 vs 40 mm de Hg à 20 degrees Celsius), on s'attend une baisse significative des émissions. Les employés semblent satisfaits de ce changement.

No. d'enregistrement: 3058 Référence: ENQ3058
Production: Tuyaux flexibles en PVC.
Procédé: Deux couches de PVC sont collées ensemble à l'aide d'un solvant. En effet, on peut coller des thermoplastiques de structure amorphe par l'action de solvants organiques qui dissolvent ou ramollissent les surfaces des pièces. Il s'agit ensuite de presser les pièces l'une contre l'autre jusqu'au séchage ou jusqu'à la prise de l'assemblage.
Nom du produit à remplacer: Diméthylformamide
Problème: Le diméthylformamide cause des problèmes d'odeurs irritantes pour les yeux, la peau et les voies respiratoires.
Nom du produit substitutif: N-méthylpyrrolidone
Nom du produit fournisseur: ASHLAND CHEMICALS
Solution: On remplace le diméthylformamide par le N-méthylpyrrolidone (NMP). Résultats - Procédé: Le procédé est le même.
Résultats - Produit final: La productivité est la même. Il n'y a pas d'odeur irritante depuis la substitution. La ventilation récemment installée pour le diméthylformamide ne semble plus nécessaire pour le NMP. Les employés sont très satisfaits.
Résultats - Finances: Le coût du NMP est de cinq fois supérieur à celui du diméthylformamide.
Résultats - Exposition: Il n'y a pas eu de mesure dans l'environnement du produit de substitution étant donné l'absence de méthode standardisée. Par contre, ce produit a une très faible tension de vapeur (inférieure à 0.75 mm Hg). C'est un irritant cutané. Le port d'équipements de protection personnelle est requis.

No. d'enregistrement: 3201 **Référence:** ENQ3201
Production: Contenants de yogourt en polyoléfines.
Procédé: Imprimerie par procédé offset
Équipement/Méthode: Presses offset
Nom du produit à remplacer: Nettoyant avec méthanol
Composition du produit à remplacer:

Ingrédient	Numéro CAS	Concentration
acétate d'éthyle	141-78-6	30-60%
acétate d'éthylglycol	111-15-9	10-30 %
méthanol		

Problème: L'évaporation du méthanol cause le dépassement de la norme permise. Dermatite.
Nom du produit substitutif: Nettoyant avec de l'alcool isopropylique
Utilisation: Nettoyage des blanchets
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
acétate 1-méthoxy 2-propanol	10-30 %
acétate 2-méthoxy 1-propanol	1-2 %
acétate d'éthyle	
Alcool isopropylique	

Solution: Remplacement du méthanol par l'alcool isopropylique et de l'acétate d'éthylglycol par de l'acétate du méthylpropylèneglycol. La capacité de nettoyage du nouveau solvant est jugé adéquate.
Résultats - Exposition: La tension de vapeur et la toxicité de l'isopropanol sont moins élevées que pour le méthanol. En outre, les dérivés des éthers de propylène glycol sont moins toxiques que ceux de l'éthylène glycol.

No. d'enregistrement: 3202 Référence: Tillman, 1991
Production: Imprimerie produisant des manuels d'instructions, catalogues, rapports annuels, cartes de souhait, brochures.
Procédé: Offset (procédé à feuille ("sheet-fed"))
Pièce/Matériau: Encre à base d'huile végétale de soya
Équipement/Méthode: Presse Heidelberg à 5 couleurs.
Nom du produit à remplacer: Encre à base de solvants organiques
Problème: Emission de composés organiques volatils lors du séchage de l'encre.
Nom du produit substitutif: Encre à base d'huile végétale de soya.
Nom du produit fournisseur: Sinclair & Valentine (du Wisconsin)
Résultats - Produit final: On a réduit de 65 à 85 % l'émission de COV. L'huile à base végétale est biodégradable.
Commentaires: Le nom de la compagnie d'imprimerie utilisant l'huile à base végétale est TERRY PRINTING Inc. de Janesville, Wisconsin. La personne qui peut être contactée chez TERRY PRINTING est John Meyer, Dir. des ventes et du marketing au no. de tél: 608-752-1517 ou encore on peut contacter Ron Szybatka, directeur du laboratoire de la compagnie productrice de l'encre à base d'huile végétale SINCLAIR & VALENTINE, L.P. au no. tél: 612-455-1261.

No. d'enregistrement: 3203 Référence: Tillotson, 1994
Production: Imprimerie
Procédé: Offset.
Pièce/Matériau: Les encres d'offset utilisées sont à base de pétrole et incluent le jaune, le magenta, le cyan, le noir, etc. Le papier était de 20 à 22 de calibre, 78 livres par 1000 pieds carrés et contenaient 70 % de fibres recyclées. La dimension maximale des feuilles était de 39.75 par 55 pouces.

Équipement/Méthode: Presses Planeta 55 pouces, 7 couleurs. Le rouleau porteur de cliché est ajusté à 5/16 pouce au vibrateur et à 1/4 pouce au vibrateur. Une batch de 295,000 impressions a permis de compléter l'évaluation de tous les produits sans changer les conditions de procédé. On a effectué 5 essais de nettoyage pour chaque produit. Chaque produit a été évalué par 3 à 4 opérateurs de presses. Immédiatement après le nettoyage du blanchet, l'opérateur devait répondre à un questionnaire d'évaluation sur une échelle de 1 à 3 pour chacun des paramètres choisis. Une moyenne des résultats a été calculée pour chacun des produits et des paramètres choisis pour les 5 essais complétés.
Nom du produit à remplacer: VM&P naphta
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Enviroklene N 0.1
Nom du produit fournisseur: Prisco/Printers Service, Inc.
Utilisation: Nettoyage des presses offset
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
Esters d'acides gras	100 %

Solution: Esters d'acides gras liquides. Huiles végétales.
Résultats - Produit final: On a comparé l'efficacité de divers solvants (14) de remplacement du VM&P naphta pour le nettoyage des blanchets de presse. On a vérifié la capacité d'enlever l'encre, les propriétés lubrifiantes, la facilité de séchage, le volume de solvant requis et l'odeur. Le produit à base d'esters d'acides gras a permis d'obtenir de meilleurs résultats globaux que le VM&P naphta. Le résultat global obtenu pour ce produit est de 1.7 sur une échelle allant de 1 jusqu'à 3, 1 étant meilleur. Le contrôle (VM&P naphta) se situant à 1.9.
Résultats - Exposition: La toxicité potentielle des esters est aussi beaucoup plus faible.
Résultats - Émissions: Le produit à base d'esters n'émet seulement que 6 % de COV.
Résultats - Autres: Le point d'éclair est plus grand que 100 degrees Celsius.
Commentaires: Ce document provient du Massachusets Toxics Use Reduction Institute. Rapport technique no. 16, "Blanket wash technology study: An evaluation of commercially available blanket washes.", 1994.

No. d'enregistrement: 3204 Référence: Tillotson, 1994
Production: Imprimerie
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Les encres d'offset utilisées sont à base de pétrole et incluent le jaune, le magenta, le cyan, le noir, etc. Le papier était de 20 à 22 de calibre, 78 livres par 1000 pieds carrés et contenaient 70 % de fibres recyclées. La dimension maximale des feuilles était de 39.75 par 55 pouces.
Équipement/Méthode: Presses Planeta 55 pouces, 7 couleurs. Le rouleau porteur de cliché est ajusté à 5/16 pouce au vibrateur et à 1/4 pouce au vibrateur. Une batch de 295,000 impressions a permis de compléter l'évaluation de tous les produits sans changer les conditions de procédé. On a effectué 5 essais de nettoyage pour chaque produit. Chaque produit a été évalué par 3 à 4 opérateurs de presses. Immédiatement après le nettoyage du blanchet, l'opérateur devait répondre à un questionnaire d'évaluation sur une échelle de 1 à 3 pour chacun des paramètres choisis. Une moyenne des résultats a été calculée pour chacun des produits et des paramètres choisis pour les 5 essais complétés.
Nom du produit à remplacer: VM&P naphta
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Ecolo-Wash, Step A
Nom du produit fournisseur: Van Products Inc.
Utilisation: Nettoyage des presses offset
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration

Naphta (aromatiques lourds) 5 %
Résultats - Produit final: On a comparé l'efficacité de divers solvants (14) de remplacement du VM&P naphta pour le nettoyage des blanchets de presse. On a vérifié la capacité d'enlever l'encre, les propriétés lubrifiantes, la facilité de séchage, le volume de solvant requis et l'odeur. Le résultat global obtenu pour ce produit est de 2.6 sur une échelle allant de 1 jusqu'à 3, 1 étant meilleur. Le contrôle (VM&P naphta) se situant à 1.9.
Commentaires: Ce document provient du Massachusets Toxics Use Reduction Institute. Rapport technique no. 16, "Blanket wash technology study: An evaluation of commercially available blanket washes.", 1994.

No. d'enregistrement: 3205 Référence: Tillotson, 1994
Production: Imprimerie
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Les encres d'offset utilisées sont à base de pétrole et incluent le jaune, le magenta, le cyan, le noir, etc. Le papier était de 20 à 22 de calibre, 78 livres par 1000 pieds carrés et contenaient 70 % de fibres recyclées. La dimension maximale des feuilles était de 39.75 par 55 pouces.
Équipement/Méthode: Presses Planeta 55 pouces, 7 couleurs. Le rouleau porteur de cliché est ajusté à 5/16 pouce au vibrateur et à 1/4 pouce au vibrateur. Une batch de 295,000 impressions a permis de compléter l'évaluation de tous les produits sans changer les conditions de procédé. On a effectué 5 essais de nettoyage pour chaque produit. Chaque produit a été évalué par 3 à 4 opérateurs de presses. Immédiatement après le nettoyage du blanchet, l'opérateur devait répondre à un questionnaire d'évaluation sur une échelle de 1 à 3 pour chacun des paramètres choisis. Une moyenne des résultats a été calculée pour chacun des produits et des paramètres choisis pour les 5 essais complétés.
Nom du produit à remplacer: VM&P naphta
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Lo-Vo Wash HF
Nom du produit fournisseur: Tower Products
Utilisation: Nettoyage des presses offset
Composition du produit substitutif:
Ingrédient Concentration
Naphta (aliphatiques moyens) 50 %
Naphta (aromatiques lourds) 30 %
Résultats - Produit final: On a comparé l'efficacité de divers solvants (14) de remplacement du VM&P naphta pour le nettoyage des blanchets de presse. On a vérifié la capacité d'enlever l'encre, les propriétés lubrifiantes, la facilité de séchage, le volume de solvant requis et l'odeur. Le résultat global obtenu pour ce produit est de 1.4 sur une échelle allant de 1 jusqu'à 3, 1 étant meilleur. Le contrôle (VM&P naphta) se situant à 1.9.
Commentaires: Ce document provient du Massachusets Toxics Use Reduction Institute. Rapport technique no. 16, "Blanket wash technology study: An evaluation of commercially available blanket washes.", 1994.

No. d'enregistrement: 3206 Référence: Tillotson, 1994
Production: Imprimerie
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Les encres d'offset utilisées sont à base de pétrole et incluent le jaune, le magenta, le cyan, le noir, etc. Le papier était de 20 à 22 de calibre, 78 livres par 1000 pieds carrés et contenaient 70 % de fibres recyclées. La dimension maximale des feuilles était de 39.75 par 55 pouces.
Équipement/Méthode: Presses Planeta 55 pouces, 7 couleurs. Le rouleau porteur de cliché est ajusté à 5/16 pouce au vibrateur et à 1/4 pouce au vibrateur. Une batch de 295,000 impressions a permis de

compléter l'évaluation de tous les produits sans changer les conditions de procédé. On a effectué *5* essais de nettoyage pour chaque produit. Chaque produit a été évalué par 3 à 4 opérateurs de presses. Immédiatement après le nettoyage du blanchet, l'opérateur devait répondre à un questionnaire d'évaluation sur une échelle de 1 à 3 pour chacun des paramètres choisis. Une moyenne des résultats a été calculée pour chacun des produits et des paramètres choisis pour les 5 essais complétés.
Nom du produit à remplacer: VM&P naphta
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Posco Ecolo Pro 2.2
Nom du produit fournisseur: Posco Inc.
Utilisation: Nettoyage des presses offset
Composition du produit substitutif:
Ingrédient Concentration
Naphta (aromatiques légers) 37 %
Naphta lourd, hydrotraité 8 %
Résultats - Produit final: On a comparé l'efficacité de divers solvants (14) de remplacement du VM&P naphta pour le nettoyage des blanchets de presse. On a vérifié la capacité d'enlever l'encre, les propriétés lubrifiantes, la facilité de séchage, le volume de solvant requis et l'odeur. Le résultat global obtenu pour ce produit est de 1.8 sur une échelle allant de 1 jusqu'à 3, 1 étant meilleur. Le contrôle (VM&P naphta) se situant à 1.9.
Commentaires: Ce document provient du Massachusets Toxics Use Reduction Institute. Rapport technique no. 16, "Blanket wash technology study: An evaluation of commercially available blanket washes. ", 1994.

No. d'enregistrement: 3207 Référence: Tillotson, 1994
Production: Imprimerie
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Les encres d'offset utilisées sont à base de pétrole et incluent le jaune, le magenta, le cyan, le noir, etc. Le papier était de 20 à 22 de calibre, 78 livres par 1000 pieds carrés et contenaient 70 % de fibres recyclées. La dimension maximale des feuilles était de 39.75 par 55 pouces.
Équipement/Méthode: Presses Planeta 55 pouces, 7 couleurs. Le rouleau porteur de cliché est ajusté à 5/16 pouce au vibrateur et à 1/4 pouce au vibrateur. Une batch de 295,000 impressions a permis de compléter l'évaluation de tous les produits sans changer les conditions de procédé. On a effectué 5 essais de nettoyage pour chaque produit. Chaque produit a été évalué par 3 à 4 opérateurs de presses. Immédiatement après le nettoyage du blanchet, l'opérateur devait répondre à un questionnaire d'évaluation sur une échelle de 1 à 3 pour chacun des paramètres choisis. Une moyenne des résultats a été calculée pour chacun des produits et des paramètres choisis pour les 5 essais complétés.
Nom du produit à remplacer: VM&P naphta
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Envirowash 220 HF
Nom du produit fournisseur: Anchor Lithkemko Inc.
Utilisation: Nettoyage des presses offset
Composition du produit substitutif:
Ingrédient Concentration
Naphta (aliphatiques médium) 25 %
Naphta (aromatiques lourds) 8 %
Résultats - Produit final: On a comparé l'efficacité de divers solvants (14) de remplacement du VM&P naphta pour le nettoyage des blanchets de presse. On a vérifié la capacité d'enlever l'encre, les propriétés lubrifiantes, la facilité de séchage, le volume de solvant requis et l'odeur. Le résultat global obtenu pour ce produit est de 1,8 sur une échelle allant de 1 jusqu'à 3, 1 étant meilleur. Le contrôle

(VM&P naphta) se situant à 1,9.
Commentaires: Ce document provient du Massachusets Toxics Use Reduction Institute. Rapport technique no. 16, "Blanket wash technology study: An evaluation of commercially available blanket washes.", 1994.

No. d'enregistrement: 3208 Référence: Tillotson, 1994
Production: Imprimerie
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Les encres d'offset utilisées sont à base de pétrole et incluent le jaune, le magenta, le cyan, le noir, etc. Le papier était de 20 à 22 de calibre, 78 livres par 1000 pieds carrés et contenaient 70 % de fibres recyclées. La dimension maximale des feuilles était de 39.75 par 55 pouces.
Équipement/Méthode: Presses Planeta 55 pouces, 7 couleurs. Le rouleau porteur de cliché est ajusté à 5/16 pouce au vibrateur et à 1/4 pouce au vibrateur. Une batch de 295,000 impressions a permis de compléter l'évaluation de tous les produits sans changer les conditions de procédé. On a effectué 5 essais de nettoyage pour chaque produit. Chaque produit a été évalué par 3 à 4 opérateurs de presses. Immédiatement après le nettoyage du blanchet, l'opérateur devait répondre à un questionnaire d'évaluation sur une échelle de 1 à 3 pour chacun des paramètres choisis. Une moyenne des résultats a été calculée pour chacun des produits et des paramètres choisis pour les 5 essais complétés.
Nom du produit à remplacer: VM&P naphta
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Envirowash 3000
Nom du produit fournisseur: Anchor Lithkemko Inc.
Utilisation: Nettoyage des presses offset
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
3-Ethyl éthoxypropianate	15 %
Ester dibasique aliphatique	25 %

Résultats - Produit final: On a comparé l'efficacité de divers solvants (14) de remplacement du VM&P naphta pour le nettoyage des blanchets de presse. On a vérifié la capacité d'enlever l'encre, les propriétés lubrifiantes, la facilité de séchage, le volume de solvant requis et l'odeur. Le résultat global obtenu pour ce produit est de 2.0 sur une échelle allant de 1 jusqu'à 3, 1 étant meilleur. Le contrôle (VM&P naphta) se situant à 1.9.
Commentaires: Ce document provient du Massachusets Toxics Use Reduction Institute. Rapport technique no. 16, "Blanket wash technology study: An evaluation of commercially available blanket washes.", 1994.

No. d'enregistrement: 3209 **Référence:** Tillotson, 1994
Production: Imprimerie
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Les encres d'offset utilisées sont à base de pétrole et incluent le jaune, le magenta, le cyan, le noir, etc. Le papier était de 20 à 22 de calibre, 78 livres par 1000 pieds carrés et contenaient 70 % de fibres recyclées. La dimension maximale des feuilles était de 39.75 par 55 pouces.
Équipement/Méthode: Presses Planeta 55 pouces, 7 couleurs. Le rouleau porteur de cliché est ajusté à 5/16 pouce au vibrateur et à 1/4 pouce au vibrateur. Une batch de 295,000 impressions a permis de compléter l'évaluation de tous les produits sans changer les conditions de procédé. On a effectué 5 essais de nettoyage pour chaque produit. Chaque produit a été évalué par 3 à 4 opérateurs de presses. Immédiatement après le nettoyage du blanchet, l'opérateur devait répondre à un questionnaire d'évaluation sur une échelle de 1 à 3 pour chacun des paramètres choisis. Une moyenne des résultats a été calculée pour chacun des produits et des paramètres choisis pour les 5 essais complétés.

Nom du produit à remplacer: VM&P naphta
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Posco PWM Wash
Nom du produit fournisseur: Posco Inc.
Utilisation: Nettoyage des presses offset
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
Naphta (aromatiques légers)	44 %
Naphta lourd hydrotraité	50 %

Résultats - Produit final: On a comparé l'efficacité de divers solvants (14) de remplacement du VM&P naphta pour le nettoyage des blanchets de presse. On a vérifié la capacité d'enlever l'encre, les propriétés lubrifiantes, la facilité de séchage, le volume de solvant requis et l'odeur. Le résultat global obtenu pour ce produit est de 1.2 sur une échelle allant de 1 jusqu'à 3, 1 étant meilleur. Le contrôle (VM&P naphta) se situant à 1.9.
Commentaires: Ce document provient du Massachusets Toxics Use Reduction Institute. Rapport technique no. 16, "Blanket wash technology study: An evaluation of commercially available blanket washes.", 1994.

No. d'enregistrement: 3210 Référence: Tillotson, 1994
Production: Imprimerie
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Les encres d'offset utilisées sont à base de pétrole et incluent le jaune, le magenta, le cyan, le noir, etc. Le papier était de 20 à 22 de calibre, 78 livres par 1000 pieds carrés et contenaient 70 % de fibres recyclées. La dimension maximale des feuilles était de 39.75 par 55 pouces.
Équipement/Méthode: Presses Planeta 55 pouces, 7 couleurs. Le rouleau porteur de cliché est ajusté à 5/16 pouce au vibrateur et à 1/4 pouce au vibrateur. Une batch de 295,000 impressions a permis de compléter l'évaluation de tous les produits sans changer les conditions de procédé. On a effectué 5 essais de nettoyage pour chaque produit. Chaque produit a été évalué par 3 à 4 opérateurs de presses. Immédiatement après le nettoyage du blanchet, l'opérateur devait répondre à un questionnaire d'évaluation sur une échelle de 1 à 3 pour chacun des paramètres choisis. Une moyenne des résultats a été calculée pour chacun des produits et des paramètres choisis pour les 5 essais complétés.
Nom du produit à remplacer: VM&P naphta
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Aspen B
Nom du produit fournisseur: Prisco Printers Service Inc.
Utilisation: Nettoyage des presses offset
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
Naphta (aromatiques légers)	15 %
Naphta lourd hydrotraité	25 %

Résultats - Produit final: On a comparé l'efficacité de divers solvants (14) de remplacement du VM&P naphta pour le nettoyage des blanchets de presse. On a vérifié la capacité d'enlever l'encre, les propriétés lubrifiantes, la facilité de séchage, le volume de solvant requis et l'odeur. Le résultat global obtenu pour ce produit est de 1.6 sur une échelle allant de 1 jusqu'à 3, 1 étant meilleur. Le contrôle (VM&P naphta) se situant à 1.9.
Commentaires: Ce document provient du Massachusets Toxics Use Reduction Institute. Rapport technique no. 16, "Blanket wash technology study: An evaluation of commercially available blanket washes.", 1994.

No. d'enregistrement: 3211 **Référence:** Tillotson, 1994
Production: Imprimerie
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Les encres d'offset utilisées sont à base de pétrole et incluent le jaune, le magenta, le cyan, le noir, etc. Le papier était de 20 à 22 de calibre, 78 livres par 1000 pieds carrés et contenaient 70 % de fibres recyclées. La dimension maximale des feuilles était de 39.75 par 55 pouces.
Équipement/Méthode: Presses Planeta 55 pouces, 7 couleurs. Le rouleau porteur de cliché est ajusté à 5/16 pouce au vibrateur et à 1/4 pouce au vibrateur. Une batch de 295,000 impressions a permis de compléter l'évaluation de tous les produits sans changer les conditions de procédé. On a effectué 5 essais de nettoyage pour chaque produit. Chaque produit a été évalué par 3 à 4 opérateurs de presses. Immédiatement après le nettoyage du blanchet, l'opérateur devait répondre à un questionnaire d'évaluation sur une échelle de 1 à 3 pour chacun des paramètres choisis. Une moyenne des résultats a été calculée pour chacun des produits et des paramètres choisis pour les 5 essais complétés.
Nom du produit à remplacer: VM&P naphta
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Lo-Vo Wash Ultimate
Nom du produit fournisseur: Tower Products Inc.
Utilisation: Nettoyage des presses offset
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
Méthyldipropylèneglycol	30 %

Résultats - Produit final: On a comparé l'efficacité de divers solvants (14) de remplacement du VM&P naphta pour le nettoyage des blanchets de presse. On a vérifié la capacité d'enlever l'encre, les propriétés lubrifiantes, la facilité de séchage, le volume de solvant requis et l'odeur. Le résultat global obtenu pour ce produit est de 2.0 sur une échelle allant de 1 jusqu'à 3, 1 étant meilleur. Le contrôle (VM&P naphta) se situant à 1.9.
Commentaires: Ce document provient du Massachusets Toxics Use Reduction Institute. Rapport technique no. 16, "Blanket wash technology study: An evaluation of commercially available blanket washes.", 1994.

No. d'enregistrement: 3212 Référence: Tillotson, 1994
Production: Imprimerie
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Les encres d'offset utilisées sont à base de pétrole et incluent le jaune, le magenta, le cyan, le noir, etc. Le papier était de 20 à 22 de calibre, 78 livres par 1000 pieds carrés et contenaient 70 % de fibres recyclées. La dimension maximale des feuilles était de 39.75 par 55 pouces.
Équipement/Méthode: Presses Planeta 55 pouces, 7 couleurs. Le rouleau porteur de cliché est ajusté à 5/16 pouce au vibrateur et à 1/4 pouce au vibrateur. Une batch de 295,000 impressions a permis de compléter l'évaluation de tous les produits sans changer les conditions de procédé. On a effectué 5 essais de nettoyage pour chaque produit. Chaque produit a été évalué par 3 à 4 opérateurs de presses. Immédiatement après le nettoyage du blanchet, l'opérateur devait répondre à un questionnaire d'évaluation sur une échelle de 1 à 3 pour chacun des paramètres choisis. Une moyenne des résultats a été calculée pour chacun des produits et des paramètres choisis pour les 5 essais complétés.
Nom du produit à remplacer: VM&P naphta
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Aspen C
Nom du produit fournisseur: Prisco Printers Service Inc.
Utilisation: Nettoyage des presses offset
Composition du produit substitutif:

Ingrédient Concentration
Naphta (aromatiques légers) 30 %
Naphta lourd hydrotraité 30 %
Résultats - Produit final: On a comparé l'efficacité de divers solvants (14) de remplacement du VM&P naphta pour le nettoyage des blanchets de presse. On a vérifié la capacité d'enlever l'encre, les propriétés lubrifiantes, la facilité de séchage, le volume de solvant requis et l'odeur. Le résultat global obtenu pour ce produit est de 1.*2* sur une échelle allant de 1 jusqu'à 3, 1 étant meilleur. Le contrôle (VM&P naphta) se situant à 1.9.
Commentaires: Ce document provient du Massachusets Toxics Use Reduction Institute. Rapport technique no. 16, "Blanket wash technology study: An evaluation of commercially available blanket washes.", 1994.

No. d'enregistrement: 3213 Référence: Tillotson, 1994
Production: Imprimerie
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Les encres d'offset utilisées sont à base de pétrole et incluent le jaune, le magenta, le cyan, le noir, etc. Le papier était de 20 à 22 de calibre, 78 livres par 1000 pieds carrés et contenaient 70 % de fibres recyclées. La dimension maximale des feuilles était de 39.75 par 55 pouces.
Équipement/Méthode: Presses Planeta 55 pouces, 7 couleurs. Le rouleau porteur de cliché est ajusté à 5/16 pouce au vibrateur et à 1/4 pouce au vibrateur. Une batch de 295,000 impressions a permis de compléter l'évaluation de tous les produits sans changer les conditions de procédé. On a effectué 5 essais de nettoyage pour chaque produit. Chaque produit a été évalué par 3 à 4 opérateurs de presses. Immédiatement après le nettoyage du blanchet, l'opérateur devait répondre à un questionnaire d'évaluation sur une échelle de 1 à 3 pour chacun des paramètres choisis. Une moyenne des résultats a été calculée pour chacun des produits et des paramètres choisis pour les 5 essais complétés.
Nom du produit à remplacer: VM&P naphta
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Posco Ecolo Pro 4.4
Nom du produit fournisseur: Posco Inc.
Utilisation: Nettoyage des presses offset
Composition du produit substitutif:
Ingrédient Concentration
Naphta (aromatiques légers) 74 %
Naphta lourd hydrotraité 22 %
Résultats - Produit final: On a comparé l'efficacité de divers solvants (14) de remplacement du VM&P naphta pour le nettoyage des blanchets de presse. On a vérifié la capacité d'enlever l'encre, les propriétés lubrifiantes, la facilité de séchage, le volume de solvant requis et l'odeur. Le résultat global obtenu pour ce produit est de 1.6 sur une échelle allant de 1 jusqu'à 3, 1 étant meilleur. Le contrôle (VM&P naphta) se situant à 1.9.
Commentaires: Ce document provient du Massachusets Toxics Use Reduction Institute. Rapport technique no. 16, "Blanket wash technology study: An evaluation of commercially available blanket washes.", 1994.

No. d'enregistrement: 3214 Référence: Tillotson, 1994
Production: Imprimerie
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Les encres d'offset utilisées sont à base de pétrole et incluent le jaune, le magenta, le cyan, le noir, etc. Le papier était de 20 à 22 de calibre, 78 livres par 1000 pieds carrés et contenaient 70 % de fibres recyclées. La dimension maximale des feuilles était de 39.75 par 55 pouces.

Équipement/Méthode: Presses Planeta 55 pouces, 7 couleurs. Le rouleau porteur de cliché est ajusté à 5/16 pouce au vibrateur et à 1/4 pouce au vibrateur. Une batch de 295,000 impressions a permis de compléter l'évaluation de tous les produits sans changer les conditions de procédé. On a effectué 5 essais de nettoyage pour chaque produit. Chaque produit a été évalué par 3 à 4 opérateurs de presses. Immédiatement après le nettoyage du blanchet, l'opérateur devait répondre à un questionnaire d'évaluation sur une échelle de 1 à 3 pour chacun des paramètres choisis. Une moyenne des résultats a été calculée pour chacun des produits et des paramètres choisis pour les 5 essais complétés.
Nom du produit à remplacer: VM&P naphta
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Envirowash 350 HF
Nom du produit fournisseur: Anchor Lithkemko Inc.
Utilisation: Nettoyage des presses offset
Composition du produit substitutif:
Ingrédient Concentration
Naphta (aliphatiques médium) 45 %
Naphta (aromatiques lourds) 8 %
Résultats - Produit final: On a comparé l'efficacité de divers solvants (14) de remplacement du VM&P naphta pour le nettoyage des blanchets de presse. On a vérifié la capacité d'enlever l'encre, les propriétés lubrifiantes, la facilité de séchage, le volume de solvant requis et l'odeur. Le résultat global obtenu pour ce produit est de 1.6 sur une échelle allant de 1 jusqu'à 3, 1 étant meilleur. Le contrôle (VM&P naphta) se situant à 1.9.
Commentaires: Ce document provient du Massachusets Toxics Use Reduction Institute. Rapport technique no. 16, "Blanket wash technology study: An evaluation of commercially available blanket washes.", 1994.

No. d'enregistrement: 3215 Référence: Tillotson, 1994
Production: Imprimerie
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Les encres d'offset utilisées sont à base de pétrole et incluent le jaune, le magenta, le cyan, le noir, etc. Le papier était de 20 à 22 de calibre, 78 livres par 1000 pieds carrés et contenaient 70 % de fibres recyclées. La dimension maximale des feuilles était de 39.75 par 55 pouces.
Équipement/Méthode: Presses Planeta 55 pouces, 7 couleurs. Le rouleau porteur de cliché est ajusté à 5/16 pouce au vibrateur et à 1/4 pouce au vibrateur. Une batch de 295,000 impressions a permis de compléter l'évaluation de tous les produits sans changer les conditions de procédé. On a effectué 5 essais de nettoyage pour chaque produit. Chaque produit a été évalué par 3 à 4 opérateurs de presses. Immédiatement après le nettoyage du blanchet, l'opérateur devait répondre à un questionnaire d'évaluation sur une échelle de 1 à 3 pour chacun des paramètres choisis. Une moyenne des résultats a été calculée pour chacun des produits et des paramètres choisis pour les 5 essais complétés.
Nom du produit à remplacer: VM&P naphta
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Lo-Vo Wash WM
Nom du produit fournisseur: Tower Products Inc.
Utilisation: Nettoyage des presses offset
Composition du produit substitutif:
Ingrédient Concentration
Naphta (aliphatiques médium) 30 %
Naphta (aromatiques légers) 20 %
Résultats - Produit final: On a comparé l'efficacité de divers solvants (14) de remplacement du VM&P naphta pour le nettoyage des blanchets de presse. On a vérifié la capacité d'enlever l'encre, les

propriétés lubrifiantes, la facilité de séchage, le volume de solvant requis et l'odeur. Le résultat global obtenu pour ce produit est de 1.6 sur une échelle allant de 1 jusqu'à 3, 1 étant meilleur. Le contrôle (VM&P naphta) se situant à 1.9.
Commentaires: Ce document provient du Massachusets Toxics Use Reduction Institute. Rapport technique no. 16, "Blanket wash technology study: An evaluation of commercially available blanket washes. ", 1994,

No. d'enregistrement: 3216 Référence: Tillotson, 1994
Production: Imprimerie
Procédé: Offset
Pièce/Matériau: Les encres d'offset utilisées sont à base de pétrole et incluent le jaune, le magenta, le cyan, le noir, etc. Le papier était de 20 à 22 de calibre, 78 livres par 1000 pieds carrés et contenaient 70 % de fibres recyclées. La dimension maximale des feuilles était de 39.75 par 55 pouces.
Équipement/Méthode: Presses Planeta 55 pouces, 7 couleurs. Le rouleau porteur de cliché est ajusté à 5/16 pouce au vibrateur et à 1/4 pouce au vibrateur. Une batch de 295,000 impressions a permis de compléter l'évaluation de tous les produits sans changer les conditions de procédé. On a effectué 5 essais de nettoyage pour chaque produit. Chaque produit a été évalué par 3 à 4 opérateurs de presses. Immédiatement après le nettoyage du blanchet, l'opérateur devait répondre à un questionnaire d'évaluation sur une échelle de 1 à 3 pour chacun des paramètres choisis. Une moyenne des résultats a été calculée pour chacun des produits et des paramètres choisis pour les 5 essais complétés.
Nom du produit à remplacer: VM&P naphta
Problème: On veut réduire l'exposition des travailleurs aux solvants organiques.
Nom du produit substitutif: Ecolo-Clean 35
Nom du produit fournisseur: Varn Products Inc.
Utilisation: Nettoyage des presses offset
Composition du produit substitutif:

Ingrédient	Concentration
Kérosène hydrotraité	40 %
Naphta (aromatiques lourds)	5 %

Résultats - Produit final: On a comparé l'efficacité de divers solvants (14) de remplacement du VM&P naphta pour le nettoyage des blanchets de presse. On a vérifié la capacité d'enlever l'encre, les propriétés lubrifiantes, la facilité de séchage, le volume de solvant requis et l'odeur. Le résultat global obtenu pour ce produit est de 1.5 sur une échelle allant de 1 jusqu'à 3, 1 étant meilleur. Le contrôle (VM&P naphta) se situant à 1.9.
Commentaires: Ce document provient du Massachusets Toxics Use Reduction Institute. Rapport technique no. 16, "Blanket wash technology study: An evaluation of commercially available blanket washes."

Conclusion générale

CHAPITRE 14. DISCUSSION ET CONCLUSION GÉNÉRALES

14.1 INTRODUCTION

Dans le chapitre final de ce rapport il reste à présenter une image globale des principaux résultats de cette étude, tout en discutant de leurs limites, et à conclure sur l'approche que nous proposons pour la substitution des solvants. D'autre part nous énoncerons quelques recommandations quant aux actions d'exploitation des résultats de cette étude et aux travaux de recherche et de développement à effectuer pour donner suite à ce projet.

14.2 RAPPEL ET DISCUSSION DES PRINCIPAUX RÉSULTATS

Rappelons que l'objectif de la présente étude était de produire un bilan de connaissances dans le domaine de la substitution des solvants, dans une perspective de santé et de sécurité du travail, et d'élaborer un outil d'intervention offrant un modèle d'approche des problèmes de substitution et proposant des solutions applicables au milieu québécois.

14.2.1 La première partie du rapport

La première partie du rapport présente un ensemble d'informations de nature générale sur l'étude et sur la substitution des solvants. Nous avons situé le contexte appliqué de notre démarche qui dérive de préoccupations exprimées par le milieu de la santé et de la sécurité du travail du Québec. Notre étude s'est appuyée sur ce même milieu pour se concrétiser. Les enquêtes effectuées auprès des entreprises, associations et intervenants divers ainsi que la recherche générale de la littérature scientifique, technique et juridique ont confirmé que, pour un certain nombre d'applications de solvants, des problèmes de santé, de sécurité et d'environnement poussaient à chercher à en éliminer l'utilisation. Le concept de substitution a par ailleurs été précisé et situé au sommet de la hiérarchie des activités de prévention, que ce soit pour le milieu de travail ou pour l'environnement général. Nous avons ensuite présenté les facteurs que l'on doit prendre en considération lors d'une analyse de substitution et discuté du problème complexe du choix des alternatives.

14.2.2 Enquêtes et recherches générales

14.2.2.1 Enquête dans les secteurs d'activité économique

La première phase de l'étude a consisté à effectuer une enquête auprès d'hygiénistes industriels québécois sur les utilisations des solvants et sur leurs besoins de substitution. Rappelons que cette enquête n'avait pas prétention à être systématique ni représentative de l'ensemble des milieux de travail au Québec. Cependant tous les secteurs d'activité économique ont été abordés que ce soit par les associations sectorielles, par des associations industrielles ou par les entreprises représentées au Comité interentreprises en hygiène industrielle de la région de Montréal. En ce qui concerne l'enquête auprès des hygiénistes du réseau public, elle visait à documenter des cas concrets de substitution pour intégration dans

notre banque de données de cas. Elle a été menée de façon systématique auprès de l'ensemble des équipes de santé au travail; cependant une minorité seulement ont contribué des cas. Dix-sept de ceux-ci se retrouvent dans la banque de données des cas.

14.2.2.2 Étude de l'exposition aux solvants

Nous avons d'autre part effectué une recherche de diverses sources documentaires et de bases de données sur l'utilisation des solvants et sur les niveaux d'exposition professionnelle. Même si les données sur les niveaux d'exposition à divers solvants au Québec sont imparfaites, principalement par manque de représentativité de l'ensemble des milieux de travail et de l'ensemble des travailleurs, l'image de surexposition qui ressort dans un certain nombre d'utilisations est généralement cohérente avec les données de la littérature d'hygiène industrielle. De plus, l'enquête dans la littérature canadienne a permis de documenter de façon précise le niveau d'utilisation des solvants et les secteurs concernés.

La conclusion globale ressortant de cette première phase de l'étude est que l'élimination d'un certain nombre de solvants correspond à une préoccupation et un besoin pressants dans plusieurs utilisations, plus particulièrement le nettoyage et le dégraissage de surfaces métalliques (aussi bien en production qu'en entretien), mais aussi l'imprimerie, la formulation et surtout l'utilisation de peintures et d'adhésifs, le décapage ainsi que la fabrication de polyester stratifiés. La plupart de ces utilisations transcendent les secteurs économiques habituels.

14.2.2.3 Le contexte législatif

La recherche que nous avons effectuée sur le contexte législatif de la substitution des solvants n'a pas prétention à être exhaustive. Les diverses lois et les règlements que nous avons jugés les plus pertinents sont énumérés dans le cadre d'une annexe, sans avoir fait l'objet d'une analyse systématique et globale. Cependant l'image générale confirme la primauté actuelle des préoccupations environnementales. La législation canadienne impose le remplacement du 1, 1, 1-trichloroéthane et du CFC-113 pour des raisons de couche d'ozone. De par l'accord de libre-échange nord-américain, la législation des États-Unis, notamment sur les composés organiques volatils et les polluants dangereux de l'air, a une influence considérable sur les formulations de solvants disponibles au Québec. Les modifications prévues au Règlement sur la qualité de l'atmosphère par le Ministère québécois de l'Environnement et de la Faune pourraient également avoir une influence importante sur les entreprises québécoises. Il ne faut pas cependant négliger pour autant le fait que les législations québécoise et canadienne en santé et sécurité du travail encouragent de façon explicite l'élimination des dangers à la source et le remplacement des substances dangereuses.

14.2.2.4 Les bases théoriques de la substitution

La première partie de ce rapport se termine par le chapitre sur les bases théoriques, modèles et outils de la substitution. Nous avons présenté le contexte conceptuel situant la substitution au sommet de la hiérarchie des activités de prévention, puis résumé les méthodes d'analyse

de substitution. Les approches présentées sont principalement celles des auteurs danois qui ont été reprises par plusieurs organismes. Les diverses méthodes sont essentiellement semblables en ce qu'elles mettent l'accent sur une approche systématique soucieuse de bien évaluer les impacts et intégrant les aspects santé-sécurité, techniques, humains et organisationnels. Il en ressort que la substitution, simple conceptuellement, peut être complexe à implanter, comme c'est le cas d'ailleurs de bien d'autres méthodes de prévention. Par ailleurs il serait souhaitable d'effectuer une recherche sur la problématique de comparaison des dangers, de manière plus poussée que nous n'avons pu le faire dans le cadre de ce travail. Cette étape est présentée par la majorité des auteurs consultés comme une difficulté importante dans l'analyse de substitution.

14.2.2.5 Une liste des facteurs de l'analyse de substitution

L'annexe 4 a été élaborée comme un complément pratique du chapitre 4, tout en tenant compte du contexte particulier des utilisations prioritaires étudiées dans la deuxième partie du document. Cette liste de vérification des facteurs et paramètres à considérer dans l'analyse de substitution n'a pas prétention à constituer un guide systématique; nous encourageons ses utilisateurs à la compléter en fonction de leur contexte particulier.

14.2.3 Les utilisations prioritaires

La deuxième et la troisième partie du document portent sur la substitution des solvants dans les huit applications que nous avons identifiées comme prioritairement importantes pour le milieu de travail québécois: le nettoyage et dégraissage de surfaces métalliques en général ainsi qu'en électronique et dans le domaine des instruments de précision, les peintures, vernis et laques, l'imprimerie, le décapage, les adhésifs et la fabrication d'objets en polyester stratifié.

14.2.3.1 Utilisations non couvertes

Plusieurs autres utilisations importantes des solvants ne sont donc pas couvertes directement dans cette étude, notamment les procédés d'extraction dans les industries chimique, pétrochimique, pharmaceutique et alimentaire, le dégraissage et la teinture des tissus et vêtements ainsi que diverses autres utilisations mineures. Il n'en demeure pas moins que ce travail peut constituer pour ces autres applications une intéressante base de départ dans la mesure où sont répertoriés et présentés un certain nombre de documents et de sources d'informations de nature générale sur les solvants et leur substitution. De même les principes généraux de la substitution présentés notamment au chapitre 4 peuvent servir de base à toute démarche de substitution, quelle que soit la nature du danger. On peut penser notamment aux métaux lourds et aux monomères qui sont d'ailleurs abordés dans certains des articles cités dans ce chapitre.

14.2.4 Principaux résultats dans les utilisations prioritaires

Dans le cadre de chapitres organisés de façon spécifique pour chacune des utilisations prioritaires, la deuxième partie présente diverses solutions recueillies suite à une recherche

approfondie dans la littérature scientifique et technique.

14.2.4.1 Spécificité des solutions

Bien entendu les solutions de substitution retrouvées dépendent en grande partie du rôle que jouent les solvants dans chacune de ces applications et des exigences techniques propres à chacune. Les résultats diffèrent selon que le solvant sert au nettoyage (surfaces métalliques, électronique, instruments de précision, imprimerie), au décapage ou comme fluidifiants des résines et pigments (revêtements, adhésifs, encres, polyesters stratifiés). La nature de la salissure à enlever ou décaper et du substrat sur lequel elle se trouve ou, parallèlement, la nature des produits à déposer et du substrat sur lequel les déposer sont également des facteurs critiques. De même le cas des polyesters stratifiés est bien spécifique dans la mesure où le styrène joue un rôle à la fois de solvant et de réactif.

14.2.4.2 Les grands axes de substitution

Malgré la spécificité de chacune des utilisations étudiées, il est néanmoins possible de faire ressortir les grands axes des substitutions proposées dans la littérature scientifique et technique. Les tableaux 14.1 et 14.2 présentent respectivement les principaux procédés et les principaux produits de substitution retrouvés pour les diverses applications. Nous y avons joint un certain nombre de remarques portant sur les dangers associés à ces méthodes en santé et en sécurité du travail.

Notons que la distinction qui est faite entre procédé et produit de substitution est parfois arbitraire, sans que cela ait cependant grande conséquence pratique. Ainsi l'on pourrait argumenter que les fluides supercritiques agissant réellement comme des solvants sont des produits de substitution.

De même certaines des solutions présentées ne sont pas, strictement parlant, des solutions de substitution dans la mesure où le solvant original se retrouve toujours présent mais en plus petite quantité. C'est notamment le cas des adhésifs et revêtements à haute teneur en solide ou des solvants semi-aqueux. Par ailleurs plusieurs autres solutions visant à la réduction des dangers à la source, sans être de la substitution, se retrouvent détaillées dans les divers chapitres de la deuxième partie. Nous avons notamment abordé l'importance que peuvent avoir des modifications dans les techniques d'application des revêtements, des adhésifs et des polyesters stratifiés.

Tableau 14.1

Principaux procédés de substitution des solvants retrouvés dans les huit secteurs prioritaires

Procédé	Application	Remarques SST
Assemblage mécanique	Remplacement d'adhésifs	Blessures (contusion, écrasement)
Chaleur	Décapage de peinture	Brûlure, produits de décomposition thermique
Eau à haute pression	Décapage de peinture, dégraissage	Projection oculaire
Electrolyse	Dégraissage	Choc électrique, dégagement d'hydrogène
Fluide supercritique	Nettoyage d'instruments de précision	Asphyxie
Gaz à haute pression	Nettoyage d'instruments de précision	Asphyxie
Laser	Décapage	Rayonnement non ionisant
Plasma	Nettoyage d'instruments de précision	
Projection d'abrasifs (amidon, CO_2, glace, $NaHCO_3$, plastique)	Décapage de peinture	Explosion de poussières, bruit, pneumoconiose?, asphyxie (CO_2)
Récurage à sec	Électronique	
Solides/Poudres	Peintures, adhésifs, encres	Allergies (époxy, isocyanates, monomères réactifs)
Technologie sans nettoyage	Électronique, offset à sec, usinage	
Ultraviolet/Faisceau d'électrons	Peintures, encres, polyesters stratifiés	Monomères réactifs, rayonnement UV, radiation ionisante (EB)
Ultraviolet/Ozone	Nettoyage d'instruments de précision	Rayonnement UV, fuite d'ozone
Vide	Déhuilage thermique	

Tableau 14.2

Principaux produits de substitution des solvants retrouvés dans les huit secteurs prioritaires

Produit	Application	Remarque SST
Acides	Nettoyage métallique	Brûlure chimique
γ-Butyrolactone	Décapage de peinture	Liquide corrosif
Carbonate de propylène	Décapage de peinture	Irritant des yeux et de la peau
Classique (alcools, cétones, esters)	Dégraissage de métal, peintures, encres	Inflammables, toxicité spécifique
Esters de diacides	Décapage de peinture	Irritants oculaires légers. VLE = 1,5 ppm (Dupont)
Éthers de glycols	Dégraissage, peintures, encres	Reprotoxicité (congénères de l'éthylène glycol)
Huiles végétales et dérivés	Imprimerie offset	
Hydrocarbures aliphatiques lourds	Dégraissage de métal, peintures, encres	Inflammables
Hydrochlorofluorocarbures (HCFC)	Dégraissage de métal	Interdiction future (couche d'ozone)
Nettoyants aqueux	Nettoyage et dégraissage métallique	
Nettoyants aqueux alcalins	Dégraissage de métal	Irritants pour les yeux et la peau
N-méthylpyrrolidone	Décapage de peinture, adhésifs	Irritant pour les yeux et la peau; reprotoxique chez le rat. MAK(Allemagne): 100 ppm. WEEL (AIHA): 10 ppm (8 h)
Peintures, adhésifs et encres à base d'eau	Revêtements, adhésifs et imprimerie	Peuvent contenir des solvants
Perfluorocarbures	Dégraissage de métal	
Solvants semi-aqueux	Dégraissage de métal	Brouillards inflammables, COV, toxicité spécifique
Terpènes (d-limonène)	Dégraissage de métal, imprimerie, peintures	Toxicité cutanée (allergie aux produits d'auto-oxydation), odeur. VLE (Suède): 25 ppm (8 h); 50 ppm (15 min). WEEL (AIHA): 30 ppm (8 h). CIRC: groupe 3

14.2.4.3 Les grandes tendances

Un examen des tableaux 14.1 et 14.2 montre que pour plusieurs applications les catégories de solutions de substitution sont communes: utilisation de l'eau, de poudres, de techniques physiques comme la chaleur et les ultraviolets, de techniques mécaniques ainsi que de nombreux produits de substitution. 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-méthylpyrrolidone. 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 les solvants chlorés, des techniques de dégraissage en phase vapeur.

14.2.4.4 Information sur les dangers associés aux diverses solutions

De l'examen des tableaux 14.1 et 14.2 ressort la nature de certains dangers associés à l'utilisation de ces procédés et techniques: rayonnements divers, chaleur, poussières de diverses natures, explosion, chocs électriques, contraintes ergonomiques, produits de dégradation thermique, bruit, effets toxiques potentiels des divers produits de substitution. Les contraintes de cette étude ne nous ont pas permis cependant de procéder à un recensement systématique de ces divers dangers. Ainsi le lecteur est-il prié de se reporter aux articles et rapports originaux ainsi qu'aux sources d'information sur les dangers associés aux substances et produits en milieu de travail. Il faut en effet insister encore sur le fait que nombre de rapports sur les moyens de substitution proviennent de travaux dont l'orientation était principalement environnementale ou technique (amélioration des procédés) et que les éléments santé-sécurité du travail y sont souvent fragmentaires, mal documentés sinon absents.

14.2.4.5 Les solvants chlorés

Une attention particulière doit être apportée au cas des solvants chlorés usuels. Nous avons vu que le 1,1,1-trichloroéthane et le CFC-113 seront très prochainement bannis. En conséquence il peut être tentant d'accroître l'utilisation de solvants bien connus comme le trichloroéthylène, le perchloroéthylène (tétrachloroéthylène) et le dichlorométhane (chlorure de méthylène). Les données récentes sur la cancérogénicité de ces substances nous amènent à recommander la plus grande prudence dans leur utilisation éventuelle. Rappelons en effet que le Centre international de recherche sur le cancer de l'OMS à Lyon a révisé en février 1995 la classification du trichloroéthylène et du perchloroéthylène qui sont désormais classés dans le groupe 2A (probablement cancérogènes pour l'humain). D'autre part plusieurs études

suggèrent que le dichlorométhane serait aussi un cancérogène chez l'humain. Ceci devrait par ailleurs se refléter à plus ou moins long terme par la désignation de ces substances comme cancérogènes dans les réglementation de santé et de sécurité du travail, y compris au Québec, et amener à des restrictions sévères sur leur mode d'utilisation.

14.2.4.6 Les limites de la recherche documentaire

Les résultats que nous présentons dans cette section du rapport souffrent des limites inhérentes à tout bilan de connaissance. La littérature scientifique et technique sur les solvants est extrêmement vaste et diversifiée. Au delà de ce qui est accessible par les banques de données et la téléréférence, de nombreux organismes privés, publics, semi-publics, associations et regroupements divers contribuent à une littérature grise qu'il est parfois difficile de cerner et impossible à appréhender de façon exhaustive. D'autre part les données évoluent rapidement que ce soit au niveau technique, toxicologique, environnemental ou législatif. Une mise à jour de ce travail s'avérera donc nécessaire pour lui garder sa pertinence à long terme.

14.2.5 La banque de données de cas

La troisième partie du rapport porte sur environ 260 cas concrets de substitution saisis dans un format de banque de données au fur et à mesure de l'élaboration de ce travail. Rappelons que cet exercice s'est greffé au projet principal dans la mesure où une banque de données de cas pourrait constituer un outil d'avenir pour la diffusion de solutions bien documentées. Cependant l'exercice est encore très incomplet car les sources de cas n'ont pas été systématiquement repérées et que l'ensemble des champs de la banque n'ont pu être encore complétés. Nous avons choisi cependant de présenter ces données, même incomplètes, plutôt que de les retenir, à cause de l'intérêt qu'elles peuvent avoir pour un certain nombre d'utilisateurs. Un index des types d'utilisation permet de cibler la recherche, en attendant qu'une banque de données sur support informatique puisse éventuellement prolonger ce travail.

14.2.6 Diverses sources d'informations

Finalement un des résultats les plus importants de ce travail est la présentation détaillée d'un certain nombre de sources d'information sur le sujet des solvants et de leur substitution dans divers secteurs. Bien que nécessairement partiel, étant donné la très grande variété des intérêts et des intervenants dans ce domaine, cet inventaire devrait permettre aux lecteurs les plus intéressés d'avoir un accès direct à des éléments complémentaires d'information dans le cadre de l'approfondissement de certains sujets ou de la mise à jour de l'information.

Rappelons enfin que ce travail répertorie plus de trois cent références dont un grand nombre sont mises à la disposition des lecteurs par l'intermédiaire des centres de documentation de la CSST.

14.3 CONCLUSION: VERS UNE APPROCHE DE LA SUBSTITUTION

L'objectif principal de ce travail était de fournir à des utilisateurs spécialisés en santé et en sécurité du travail un instrument d'intervention pour la prévention à la source. Le présent rapport constitue cet outil. Ses diverses parties sont complémentaires et indissociables: bases théoriques comprenant l'analyse de substitution, approfondissement documentaire, exemples concrets de solutions, bibliographie et sources d'information. Ce mode de présentation reflète très fidèlement l'approche que nous favorisons, qui ne peut être aisément linéarisée ni réduite à un organigramme.

14.3.1 Place centrale de l'analyse de substitution

L'analyse de substitution reste au coeur de la démarche et ce, même lorsqu'une solution bien documentée apparaît facilement disponible. On ne devrait pas faire l'économie d'un examen systématique des divers problèmes, des solutions possibles et des impacts des solutions envisagées qu'il s'agisse de santé-sécurité du travail, d'environnement général, de technique, de coûts ou d'éléments humains et organisationnels. Dans ce rapport les éléments théoriques et pratiques de l'analyse de substitution se retrouvent détaillés dans le chapitre 4 et l'annexe 4.

14.3.2 Pistes et solutions

L'information pratique disponible dans les diverses parties du rapport constitue le point de départ de l'intervention. Elle renseigne sur le potentiel de solution du problème et le niveau de recherche et développement qui sera nécessaire: solution concrète bien documentée, solution de nature générique ou absence de solution documentée. Au delà des pistes explicitées ou suggérées dans le rapport et des documents originaux indexés dans la bibliographie, une mine d'information pratique se trouve être disponible auprès de diverses sources dont un certain nombre sont détaillées à l'annexe 1. À cet égard l'on ne peut que souhaiter que les intervenants fassent appel de la façon la plus large possible aux moyens modernes d'accès à l'information scientifique et technique, notamment par les autoroutes informatiques dont la maîtrise est devenue incontournable.

14.3.3 La primauté du technique

Qui dit substitution dit intervention de nature technique. L'élimination des dangers entraîne le spécialiste en prévention à remonter du milieu à la source et donc au procédé. À cet égard il faut mettre l'accent sur le rôle crucial que doivent jouer les ingénieurs et techniciens, les mieux à même de connaître et de modifier les procédés. Les interrogations et interventions de nature technique sont nombreuses tout au long du processus de substitution: nature de la salissure, nature du substrat, contraintes des procédés, élimination du besoin de solvant en amont ou en aval dans les diverses étapes de la production, essais, implantation, évaluation des coûts et bénéfices. Cet aspect a été souligné avec insistance par les auteurs danois qui recommandent une collaboration très étroite' entre les hygiénistes et les spécialistes du technique. Ils soulignent également l'implication nécessaire des travailleurs de production, de

par leur connaissance pratique des procédés et à cause de l'importance de leur acceptation des changements majeurs effectués dans leurs tâches. Par ailleurs, l'aspect humain et organisationnel de la substitution, comme de toute action de prévention, est une donnée fondamentale que nous n'avons pu aborder que superficiellement dans ce travail.

14.3.4 Utilisateurs et formulateurs

L'approche à la substitution diffère souvent significativement selon que l'on est utilisateur ou formulateur de solvants ou de produits en contenant. L'utilisateur d'un solvant de nettoyage ou de dégraissage pourra viser à modifier ses procédés pour diminuer ou éliminer l'utilisation de solvants; si ces solutions ne sont pas suffisantes, il se tournera vers des substituts documentés et procédera à des essais d'implantation. Si ses capacités de recherche et de développement sont limitées, il pourra faire appel aux fabricants ou formulateurs pour lui proposer des alternatives déjà testées ou pour lui concevoir une formulation adéquate.

Dans le cas des utilisateurs de produits tels que revêtements et adhésifs contenant des solvants, substituer signifie généralement changer de produit au complet; l'utilisateur dépend grandement des procédés et formulations élaborées par les fabricants.

Les formulateurs de solvants ou de produits à base de solvants, quant à eux, disposent généralement de moyens de recherche et de développement qui devraient en théorie leur permettre une approche en profondeur de la substitution. En pratique ceux-ci, dans leur processus de formulation, tiennent souvent peu compte des connaissances de la toxicologie industrielle, à l'exception des laboratoires centraux des plus grosses compagnies. L'utilisateur, c'est-à-dire le client, doit exiger une approche en profondeur et, de plus, s'assurer par lui-même de la conformité des produits et procédés proposés avec les objectifs de la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs dans le contexte de son entreprise; c'est dire qu'il doit procéder à une analyse de substitution. À cet égard l'on ne peut que regretter l'information souvent très fragmentaire fournie par les revendeurs de produits dès que l'on touche à la santé et à la sécurité du travail. Deux facteurs notamment concourent à cet état de fait: le manque de formation des vendeurs dans ce domaine et les failles dans la mise en application des règlements concernant la divulgation des dangers. Encore une fois, l'utilisateur doit faire jouer à son avantage son statut de client en exigeant une information complète qui, si elle n'est pas disponible au niveau du revendeur, l'est souvent auprès du fabricant lequel devra parfois être contacté directement.

14.3.5 Prudence dans l'implantation de la substitution

Rappelons que rapport est un bilan de connaissances documentant des pistes et solutions qui n'en constituent pas pour autant systématiquement des recommandations. Nous suggérons aux agents de prévention d'exercer une grande prudence dans l'implantation des diverses solutions et de s'abstenir de modifier hâtivement une situation existante jugée acceptable en l'absence d'une documentation suffisante sur les dangers associés aux méthodes de substitution qui pourraient être proposées.

14.3.6 Complémentarité des méthodes de prévention

Cette conclusion ne saurait être complète sans une autre importante mise en garde. La substitution, bien que présentant de nombreux avantages, ne peut bien entendu répondre à l'ensemble des problèmes présents dans le milieu de travail. Elle n'est en effet qu'une des méthodes de prévention à notre disposition lesquelles comprennent entre autres la diminution à la source, la ventilation, l'entretien, la protection individuelle complétées notamment de la surveillance de l'exposition et du dépistage des effets. Ces démarches sont complémentaires, chaque niveau servant de filet de sécurité pour parer aux déficiences dans les niveaux supérieurs et de tremplin pour une rétroaction préventive.

14.4 RETOMBÉES GÉNÉRALES, EXPLOITATION ET PROLONGEMENT DE CETTE RECHERCHE

Ce travail se veut une réponse directe à une préoccupation exprimée par le milieu de la santé et de la sécurité du travail, lequel a été associé de façon étroite à sa réalisation. Le rapport s'adresse en premier lieu aux hygiénistes industriels, y compris les techniciens; il devrait intéresser également un certain nombre d'autres intervenants spécialisés en santé et en sécurité du travail notamment les inspecteurs de la CSST, les conseillers en prévention des associations sectorielles ainsi que les techniciens, ingénieurs et chimistes des entreprises. Cet ouvrage devrait aussi sensibiliser les intervenants en environnement et en santé environnementale à l'impact possible de leurs pratiques sur la santé et la sécurité du travail. Au cours de la réalisation de ce travail notre opinion a déjà été sollicitée par un grand nombre de professionnels des secteurs privés et publics aux prises avec divers problèmes reliés à l'utilisation des solvants. Nous nous sommes efforcés d'y répondre, principalement en référant nos interlocuteurs à diverses sources d'information.

Comme nous l'avons souligné à diverses reprises dans ce rapport, l'accès à une information fiable et complète est essentiel dans la démarche d'élimination des dangers préconisée. À ce titre il apparaît souhaitable que soient plus aisément accessibles les données complètes sur la composition des produits commerciaux ainsi que les profils des effets des substances dans les domaines de la santé, de la sécurité du travail et de l'environnement. Nous ne pouvons qu'appuyer les actions entreprises par divers organismes comme la CSST, par son Répertoire toxicologique et par sa diffusion de banques de données, et suggérer leur élargissement.

Au delà de l'information toxico-environnementale, il ressort de l'expérience internationale que la recherche et le développement de solutions ainsi que leur implantation nécessitent souvent une approche avec forte composante technique, qui dépasse le cadre de l'entreprise individuelle et se rapproche du modèle sectoriel avec participation des instances publiques: groupes de travail techniques comme à l'EPA aux États-Unis, programmes de transfert technologique comme en Europe. Au Québec les Associations sectorielles paritaires de santé et de sécurité du travail, ou d'autres instances paritaires comme l'IRSST ou la CSST, pourraient être amenées à jouer un rôle de formation, d'information et de catalyseur en ce qui concerne la problématique de la substitution des solvants (colloques, tables rondes, guides de formation, lien avec les organismes de recherche et de développement comme le CRIQ).

En ce qui concerne la continuation possible de notre recherche diverses pistes sont à considérer. Tout d'abord il serait possible d'élaborer un outil informatisé, sous forme d'une banque de données conviviale permettant de mettre à la disposition des intervenants des données structurées et régulièrement mises à jour pour les aider à éliminer les solvants dangereux de leur milieu. Le support de l'outil pourrait être une disquette autonome contenant au minimum les éléments suivants: les parties pertinentes du présent rapport, notre banque de données bibliographiques et la banque de données de cas de substitution dûment complétée.

D'autres développements possibles de recherche touchent plus précisément au domaine de la toxicologie. Il est clair en effet que les transformations en cours et futures sur l'utilisation des solvants devraient avoir un impact sur la pratique et la recherche en toxicologie industrielle. D'une part l'information traditionnelle santé-sécurité du travail doit être complétée par l'information sur les effets environnementaux des substances; d'autre part l'ensemble des éléments d'information doit être analysé dans une perspective de comparaison menant à des choix clairs. Une grille d'analyse des dangers doit être élaborée et la réflexion ne fait que commencer au niveau international à ce sujet. Il s'agit d'un domaine où des contributions intéressantes pourront venir des chercheurs en toxicologie. Un autre aspect complémentaire touche à l'introduction en milieu de travail de «nouvelles molécules», pensons aux terpènes ou aux esters dérivés d'acides gras, qui n'ont pas fait l'objet d'une étude aussi approfondie que les solvants classiques. Là encore les toxicologues en collaboration avec les hygiénistes, les infirmières et les médecins du travail devront se pencher sur les effets potentiels et réels de ces substances ainsi que sur les méthodes de surveillance environnementale, biologique et médicale applicables ou à élaborer.

Dans l'immédiat, une large diffusion de ce rapport et diverses autres actions de communication en cours (articles, conférences, colloques) devraient permettre de répondre en grande partie, nous l'espérons, aux attentes actuelles des divers intervenants et par là même contribuer à réduire les dangers à la source. Le fardeau des lésions professionnelles et des maladies environnementales devrait s'en trouver allégé, malgré le peu de visibilité que peuvent avoir ces maladies à cause d'un phénomène bien documenté de sous-reconnaissance notoire.

Finalement nous espérons que ce travail pourra susciter ou appuyer des actions de recherche et de développement de produits et procédés plus propres et plus sains. Ces actions devraient constituer des investissements rentables pour les entreprises et la société en général.

Annexes

ANNEXE 1. INVENTAIRE ET DESCRIPTION DES SOURCES D'INFORMATION

A1.1 INTRODUCTION

La documentation se rapportant à la santé et la sécurité du travail et qui est citée dans le présent rapport est disponible sur demande au Centre de documentation de la CSST à Montréal. Par ailleurs, il nous paraissait utile de faire l'inventaire des principales sources d'information en matière de substitution des solvants, de sorte que les intervenants puissent se tenir au courant des développements en la matière. Ces sources se présentent sous différents formats, notamment les documents imprimés, les documents sur support informatique, les personnes-ressources et les fabricants ou revendeurs de solvants.

A1.2 SOURCES DE DOCUMENTS SUR SUPPORT PAPIER

A1.2.1 Commission de la santé et de la sécurité du travail
Centre de documentation
1199, de Bleury, 4e étage
Case postale 6067, succursale Centre-ville
Montréal, Québec
H3C 4E2

Téléphone: 514-873-3160
Télécopie: 514-864-2617

Le demandeur d'information peut s'adresser, sans frais, au bibliothécaire de référence afin que l'on effectue une recherche documentaire sur un sujet spécifique. La base de données bibliographiques du Centre de documentation de la CSST se nomme ISST. Elle est disponible sur le disque optique compact INFOSST de la société CEDROM-SNI d'Outremont.

A1.2.2 Répertoire toxicologigue
CSST
Case postale 1056
Succursale Desjardins
Montréal, Québec
H5B 1C2

Téléphone: 514-873-6374(frais interurbains acceptés)
Télécopie: 514-864-2912

Le professionnel de service est disponible pour répondre aux questions de nature toxicologique sur toute substance chimique utilisée en milieu de travail et notamment sur la toxicité des solvants. Le Répertoire distribue aussi, sur demande et sans frais, les fiches signalétiques des substances chimiques pures utilisées au travail. La banque de données de ces fiches

toxicologiques se nomme INFOTOX. Cette dernière est également disponible sur le disque optique compact INFOSST de la société CEDROM-SNI d'Outremont.

A1.2.3 Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail
Service des demandes de renseignements
250 rue Main est
Hamilton, Ontario
L8N 1H6

Téléphone: 1-800-263-8466(sans frais; français ou anglais)
Télécopie: 905-572-4500

Il est possible de faire une demande sur un sujet spécifique, notamment la substitution des solvants, et d'obtenir une réponse promptement, incluant les photocopies de documents pertinents, moyennant des frais minimes.

A1.2.4 Environnement Canada
Région du Québec
Direction des communications
1141, route de l'Église, 7^{e} étage
Québec, Québec
G1V4H5

Téléphone: 418-648-5777
Télécopie: 418-648-3859

Environnement Canada est responsable de la production de divers règlements fédéraux, notamment sur les substances appauvrissant la couche d'ozone, y compris certains solvants. Le centre de documentation de cet organisme peut effectuer, sur demande, des recherches documentaires concernant la substitution des solvants.

A1.2.5 Environnement Canada
Programme de choix environnemental
Birks Building
107, rue Sparks
Ottawa, Ontario
K1P 5B5

Téléphone: 613-952-9440
Télécopie: 613-952-9465

Cet organisme a publié diverses lignes directrices dont l'objectif est d'inciter les consommateurs canadiens à acheter des produits dont l'impact environnemental est le plus faible possible. À cet effet, le Programme a publié notamment un texte sur les adhésifs et un autre sur les produits d'étanchéité et de calfeutrage qui encouragent les consommateurs à

utiliser des adhésifs à base d'eau ou des thermofusibles.

A1.2.6 Conseil canadien des ministres de l'environnement

326 Broadway, bureau 400
Winnipeg, Manitoba
R3C OS5

Téléphone: 204-948-2090
Télécopie: 204-948-2125

Cet organisme a élaboré le Plan de gestion pour les oxydes d'azote (NO_X) et les composés organiques volatils (COV) (CCME, 1990). Plusieurs comités ont été formés afin d'élaborer des recommandations spécifiques se rapportant à divers secteurs industriels. Il est possible d'obtenir copie des divers rapports de ces comités. Plusieurs éléments de ces études font référence à la substitution des solvants en tant que méthode pour atteindre les objectifs du Plan de gestion.

Les comités dont le travail pourrait intéresser le lecteur du présent rapport sont ceux traitant de la réduction des COV dans les industries appliquant des peintures et vernis, l'industrie de l'imprimerie et les industries utilisant les procédés de dégraissage de métaux à l'aide de solvants.

Les noms des comités se réfèrent à diverses «Initiatives» du Plan de gestion original:

Initiative V101: Programme visant à réduire de 20 p. 100 les émissions de COV provenant de l'application domestique de revêtements de surface, d'ici 1997.

Initiative V102: Programme visant à réduire de 40 p. 100 les émissions de composés organiques volatils provenant d'adhésifs et d'agents d'étanchéité, d'ici 1997.

Initiative V104: Programme à éléments multiples visant à réduire de 20 p. 100 les émissions de COV provenant de diverses utilisations commerciales et industrielles de solvants, d'ici l'an 2000.

Initiative V307: Normes de rendement applicables aux nouvelles installations commerciales/industrielles d'application d'enduits, en vigueur en 1994

Initiative V308: Normes de rendement applicables aux nouvelles imprimeries commerciales/industrielles, en vigueur en 1994.

Initiative V309: Normes de rendement applicable aux nouvelles installations de dégraissage commerciales/industrielles, en vigueur en 1995.

Initiative V612: Modernisation des installations d'applications commerciales/industrielles de revêtements de surface de la Vallée intérieure du Fraser

(VIF), du corridor Windsor-Québec (CWQ) et de la région de St-Jean (RSJ), selon la meilleure technique de dépollution disponible et économiquement réalisable, d'ici 1996.

Initiative V613: Modernisation des imprimeries existantes de la VIF et du CWQ, qui utilisent les procédés de rotogravure et de flexographie, selon la meilleure technique de dépollution disponible et économiquement réalisable, d'ici 1996.

Initiative V614: Modernisation des installation existantes de dégraissage commercial/industriel dans la VIF et le CWQ, selon la meilleure technique de dépollution disponible et économiquement réalisable, d'ici 1997.

Les responsables de chacun de ces comités sont des employés d'Environnement Canada. Les coordonnées des principaux responsables ainsi que les Initiatives dont ils ont la responsabilité sont les suivantes:

Serge Langdau (téléphone: 819-953-3020; télécopie: 819-953-4936) V101 V102 V104 (peinture domestique, adhésif, utilisation diverse)

Art Stelzig (téléphone: 819-953-1131) V307 (revêtement industriel)

Laurence Dwyer (téléphone: 819-953-1123; télécopie: 819-953-5595) V308 (imprimerie)

Fred Chen (téléphone: 819-953-1134; télécopie: 819-953-5595)V309 (dégraissage)

A1.2.7 United States Environmental Protection Agency
Office of Pollution Prevention and Toxics
Pollution Prévention Information Clearinghouse
401 M Street, S.W. (3404)
Washington, D.C. 20460

Téléphone: 202-260-1023
Télécopie: 202-260-0178
Courrier électronique (Internet): ppic@epamail.epa.gov

Ce centre de distribution de documentation est spécialisé dans la dissémination de littérature de l'EPA concernant la prévention de la pollution et notamment la substitution des solvants. Plusieurs documents concernant l'industrie de l'imprimerie, l'application des revêtements et le nettoyage des métaux, sont disponibles gratuitement. Un guide de ressources d'une centaine de pages sur les moyens de prévenir la pollution y est disponible (USEPA, 1993).

A1.2.8 United States Environmental Protection Agency
Risk Reduction Engineering Laboratory
Pollution Prevention Research Branch
26 West Martin Luther King Drive

Cincinnati, Ohio 45268

Téléphone: 513-569-7215
Télécopie: 513-569-7111

Cette division de l'EPA finance des projets et fournit de l'assistance technique afin d'encourager l'élaboration et l'adoption de technologies, de produits et de techniques de prévention de la pollution pour réduire la pollution de l'environnement. Toute la documentation disponible est gratuite. Plusieurs documents traitent de la substitution des solvants comme moyen de réduire la pollution.

A1. 2. 9 Industry Cooperative for Ozone Layer Protection (ICOLP
2000 L Street, NW
Suite 710
Washington, DC 20036

Téléphone: 202-737-1419
Télécopie: 202-296-7442

Cet organisme est un regroupement d'entreprises nord-américaines créé afin d'aider l'industrie à éliminer l'utilisation des substances appauvrissant la couche d'ozone. Plusieurs documents concernant l'élimination des solvants à base de CFC y sont disponibles.

A1. 2. 10 Toxics Use Reduction Institute (TURD
Technology Transfer Center
University of Massachusetts Lowell
One University Avenue
Lowell, Massachusetts 01854

Téléphone: 508-934-3275
Télécopie: 508-934-3050

L'Institut a été créé pour encourager la réduction de l'utilisation ou de la production des substances toxiques dans l'industrie et le commerce de l'État du Massachusetts. Nonobstant ce dernier point, il est possible d'obtenir gratuitement les rapports d'études effectués par cet organisme, incluant des sujets se rapportant à la substitution des solvants dans le domaine de l'imprimerie, de la peinture et du nettoyage des métaux.

Le TURI a aussi mis sur pied un laboratoire d'essai de nettoyage des surfaces («Surface Cleaning Laboratory») afin d'aider l'industrie à trouver des procédés de nettoyage plus sécuritaires. Ce laboratoire peut notamment effectuer des tests sur des pièces à nettoyer fournies par des entreprises ou évaluer des solvants commerciaux.

Le document de l'EPA cité plus haut (USEPA, 1993), donne les coordonnées de plusieurs organismes semblables au TURI aux États-Unis.

A1.2.11 Pollution Probe Foundation
12 Madison Avenue
Toronto, Ontario
M5R 2S1

Téléphone: 416-626-1907

Cet organisme à but non lucratif a produit un des premiers guides canadiens sur les moyens de réduire la pollution (Campbell, 1982) dont la dernière édition est parue en 1990 (Munroe, 1990). Cette fondation a publié récemment des guides à l'intention de l'industrie, intitulés «Green Business Guides» en 4 volumes, traitant notamment des moyens de réduire la production de déchets dangereux. La liste de leurs publications est disponible sur demande.

A1.2.12 Commission nord-américaine de coopération environnementale
393 rue St-Jacques ouest, bureau 200
Montréal, Québec
H2Y 1N9

Téléphone: 514-350-4300 (Mme Manon Pépin)

Cet organisme a été créé récemment en vertu de l'Accord de libre échange nord-américain (ALENA). Son objectif premier est de suggérer aux gouvernements américain, canadien et mexicain, l'adoption de normes législatives environnementales équivalentes dans les trois pays. La Commission travaille actuellement à la mise sur pied d'une bibliothèque ouverte au public ainsi qu'une banque de données d'information environnementale qui sera accessible par modem.

A1.3 SOURCES D'INFORMATION SUR SUPPORT INFORMATIQUE

A1.3.1 Bases de données bibliographiques

Il existe plusieurs bases de données bibliographiques dans le domaine général de l'hygiène et de la toxicologie industrielle. En voici quelques exemples:

- ISST (CSST, Montréal);
- CISDOC (Bureau International du Travail, Genève, Suisse);
- HSELINE (Health and Safety Executive, Bootle, Angleterre);
- NIOSHTIC (National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, Ohio);
- TOXLINE (National Library of Medicine, Washington, DC).

Toutes ces bases de données peuvent être consultées particulièrement au Centre de documentation de la CSST. Une recherche dans de telles banques permet de repérer plusieurs documents traitant de la substitution des solvants. Par contre, il est conseillé de consulter aussi des bases de données plus spécialisées au domaine d'intérêt ou à l'industrie pour laquelle

la solution est recherchée. Mentionnons à titre d'exemples les bases de données suivantes:

- World Surface Coatings Abstracts (Paint Research Association, Teddington, Angleterre) pour le domaine de la fabrication et de l'application des peintures;

- Pira Abstracts (Pira International, Leatherhead, Angleterre) pour le domaine de l'imprimerie.

De telles bases de données sont accessibles par l'intermédiaire de spécialistes de la recherche documentaire par télé-référence dans des organismes spécialisés. L'Institut canadien d'information scientifique et technique (ICIST) à Ottawa ou le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) offrent de tels services, moyennant certains coûts.

A1.3.2 Babillards électroniques (BBS)

Le lecteur désirant apprendre les rudiments des BBS ainsi que les autres modes de communication télématique du domaine de l'information environnementale, est référé à l'excellente monographie de Rittner (Rittner, 1992).

A1.3.2.1 Prévention de la pollution et technologie propre

Programme des Nations Unies pour l'Environnement
Centre d'activité du programme Industrie et Environnement
Tour Mirabeau
39-43 Quai André Citroën
75739 Paris Cedex 15
France

Téléphone: 011 33 1 44 37 14 50
Télécopie: 011 33 1 44 37 14 74

Cet organisme (UNEP IE/PAC), a mis sur pied le babillard, nommé International Cleaner Production Information Clearinghouse (IPIC). Ce BBS contient plusieurs informations sur la substitution des solvants sous forme de références à des articles, conférences et rapports d'études et des études de cas de substitution. L'usager peut y laisser des messages, télédécharger des fichiers d'information et s'enquérir des activités de prévention de la pollution à travers le monde.

ICPIC donne accès à l'OzoneAction Information Clearinghouse (OAIC) qui est un babillard voué à aider la communauté internationale à éliminer les substances appauvrissant la couche d'ozone. Ce dernier comporte aussi une section de référence à plusieurs centaines de documents, une section de messages, une section de personnes-ressources, incluant les membres du comité technique sur les peintures, adhésifs et solvants. OAIC est aussi disponible gratuitement sous forme de disquette à l'adresse indiquée plus haut (OAIC DV version 1.0). OAIC englobe l'ancienne banque

OZONET de l'ICOLP. Cette dernière avait les mêmes objectifs que l'OAIC.

La banque ICPIC peut être consultée par modem. Le guide d'utilisation (UNEP/USEPA, 1993) de la banque de données peut être obtenu gratuitement à l'adresse indiquée plus haut. Il y a plusieurs façons de contacter la banque de données:

Directement à Paris par interurbain:

Numéro du modem: 011 33 1 45 79 40 59
Paramètres de communication:
parité: aucune;
bits de données: 8;
bits d'arrêt: 1;
vitesse de transmission: 1200, 2400 ou 9600 bits par seconde.

Par l'intermédiaire de SprintNet (réseau de transmission de données par paquet): Pour rejoindre ce réseau, il faut passer, au Canada, par le réseau Datapac pour lequel l'usager doit obtenir un code d'autorisation, dit Network User Identification, de Bell Canada. C'est l'équivalent d'un abonnement téléphonique et il comporte des frais mensuels d'abonnement. Des frais d'utilisation sont facturés en sus.

Numéro de ICPIC sur Sprintnet: 311076200604
Paramètres de communication:
parité: paire;
bits de données: 7;
bits d'arrêt: 1;
vitesse de transmission: 1200 ou 2400.

Par l'intermédiaire du BBS de l'EPA:

United States Environmental Protection Agency
Office of Environmental Engineering and Technology Démonstration
Pollution Prévention Information Clearinghouse
Pollution Prévention Information Exchange System (PIES)
401 M Street, S.W. (RD-681)
Washington, D.C. 20460

Téléphone: 202-260-3161 (Mr. Miles Morse)

Numéro du modem: 703-506-1025
Paramètres de communication:
parité: aucune;
bits de données: 8;
bits d'arrêt: 1;
vitesse de transmission: 2400.

A1.3.2.2 BBS d'ordre général en SST

A1.3.2.2.1 OSH Exchange

Ce BBS est administré par le Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (voir coordonnées plus haut). Des frais de $50.00 par année sont exigés pour l'enregistrement sauf pour ceux qui sont abonnés à la ligne CCINFO ou aux disques optiques compacts du Centre.

Numéro du modem: 905-572-2307
Paramètres de communication:
parité: aucune;
bits de données: 8;
bit d'arrêt: 1;
vitesse de transmission: toutes.

A1.3.2 2.2AIHA BBS

Ce BBS, sans frais d'enregistrement, est administré par:

American Industrial Hygiene Association
2700 Prosperity Avenue, Suite 250
Fairfax, Virginia 22031

Téléphone: 703-849-8888
Télécopie: 703-207-3561

Numéro du modem: 703-207-3994
Paramètres de communication:
parité: aucune;
bits de données: 8;
bit d'arrêt: 1
vitesse de transmission: 1200-9600.

OSH Exchange et AIHA BBS peuvent servir à afficher une question précise concernant la substitution d'un solvant. Les messages sont lus par des centaines de personnes, surtout en Amérique du Nord, qui peuvent éventuellement répondre aux interrogations du demandeur.

A1.3.2.2.3CTC BBS

Le BBS du Control Technology Center (CTC) est administré par:

United States Environmental Protection Agency
Office of Air Quality Planning and Standards (MD-13)

Technology Transfer Network
Research Triangle Park, North Carolina 27711

Téléphone: 919-541-0800

Numéro de modem: 919-541-5742
Paramètres de communication:
parité: aucune;
bits de données: 8;
bit d'arrêt: 1
vitesse de transmission: 1200 à 14400.

Au menu principal du BBS, choisir CTC où se trouve la majorité des documents se rapportant à la substitution des solvants. Il est à noter que les autres sections de ce BBS peuvent être extrêmement utiles pour les autres domaines de l'hygiène industrielle. Il n'y a aucun frais d'enregistrement.

A1.3.3 Solvent Alternatives Guide (SAGE)

Le logiciel SAGE a été élaboré, pour le compte de l'EPA, par:

Ken R. Monroe
Elizabeth A. Hill
Research Triangle Institute
Center for Aerosol Technology
3040 Cornwallis Road
P.O. Box 12194
Research Triangle Park, North Carolina 27709-2194

Téléphone: 919-541-6916

SAGE est un manuel ou guide électronique élaboré dans le but d'aider l'utilisateur de solvants pour le dégraissage ou le nettoyage des métaux, à trouver des solutions de remplacement (Research Triangle Institute, 1994). L'utilisateur chemine dans le logiciel en répondant à des questions telles que la nature du métal à nettoyer, les dimensions de la pièce à dégraisser et les contraintes particulières. SAGE lui fournit des avenues de substitution en expliquant les alternatives dans un rapport détaillé comprenant notamment des références à des sources d'information additionnelles. Ce logiciel pour compatible IBM est facile d'utilisation.

La version 2.1 de SAGE peut être télédéchargée gratuitement sur le CTC BBS de l'EPA (voir plus haut). Il est aussi possible de commander, à peu de frais, la disquette du logiciel à l'adresse suivante ou par commande téléphonique en spécifiant le numéro de publication PB94-501764:

National Technical Information Service
5285 Port Royal Road
Springfield, Virginia 22161

Téléphone: 1-800-423-9255{sans frais)
ou 703-487-4650

A1.4 PERSONNES-RESSOURCES

A1.4.1 Ozone

Daniel Champagne (Champagne, 1994)
Chimiste responsable de la réglementation sur les substances appauvrissant la couche d'ozone
Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec
Direction de la récupération et du recyclage
2360 Chemin Ste-Foy
Ste-Foy, Québec
G1V4H2

Téléphone: 418-644-3346
Télécopie: 418-643-3754

Bernard Madé (Madé, 1994)
Chef par intérim
Section des Programmes de protection de la couche d'ozone
Service de la Protection de l'Environnement
Environnement Canada
Ottawa, Ontario
K1A OH3

Téléphone: 819-994-3249
Télécopie: 819-953-4936

UNEP's OzonAction Information Clearinghouse Diskette - Ver 1.0
Cette disquette contient les coordonnées de 39 personnes compétentes dans le domaine de la substitution des solvants dans diverses industries. Plusieurs sont membres du comité qui a rédigé un rapport portant sur les alternatives aux solvants appauvrissant la couche d'ozone dans les domaines des produits de dégraissage, des peintures et des adhésifs (UNEP, 1991). Ce rapport contient d'ailleurs les noms d'experts additionnels.

A1.4.2 Prévention de la pollution

Marianne Lines
Communications Manager
Environment Canada
Great Lakes Pollution Prevention Centre
Conservation and Protection
Ontario Région
265 North Front Street, Suite 112
Sarnia, Ontario
N7T7X1

Téléphone: 1-800-337-3486 ou 519-337-3423
Télécopie: 519-337-3486

Cet organisme est un centre d'information sur la prévention de la pollution, qui organise des colloques et effectue des transferts de technologie. Le centre a produit notamment une vidéocassette intitulée «Water-based alternatives to solvent cleaning».

A1.4.3 Personnes-ressources techniques

Centre de référence sur les produits chimiques
Association canadienne des fabricants de produits chimiques
350, rue Sparks, bureau 805
Ottawa, Ontario
K1R 7S8

Téléphone de l'Association: 613-237-6215
Téléphone du Centre: 1-800-267-6666(sans frais)

Le Centre fournit, à l'aide de sa banque de données, le nom et numéro de téléphone d'une personne-ressource technique chez le fabricant ou le revendeur de tout produit chimique commercial ou industriel vendu au Canada. Pour les produits vendus aux États-Unis, le Centre obtient l'information de leurs collègues américains du Chemical Referai Center.

Association paritaire de santé et de sécurité du travail, secteur de l'imprimerie et activités connexes
405, rue de la Concorde
Bureau 300
Montréal, Québec
H3A 1J3

Téléphone: (514) 284-3318 (Claude Payette, directeur)
Télécopie: (514) 284-9255

(La liste des 12 ASP au Québec est disponible dans les bureaux régionaux de la CSST.)

Graphie Arts Technical Foundation
4615 Forbes Avenue
Pittsburgh, Pennsylvania 15213-3796

Téléphone: (412) 621-6941
Télécopie: (412) 621-3049

Institut des Communications Graphiques du Québec
9155, rue Saint-Hubert
Montréal, Québec
H2M 1Y8

Téléphone: (514) 389-5921 (Gilles Pilon, directeur)
Télécopie: (514) 389-5276

National Association of Printers & Lithographers
780 Palisade Avenue
Teaneck, New Jersey 07666

Téléphone: (201) 342-0700
Télécopie: (201) 692-0286

Technical Association of the Graphic Arts
P.O. Box 3064, Federal Station
Rochester, New York 14614

Téléphone: (716) 475-6662

Waterless Printing Association
P.O. Box 59800
Chicago, Illinois 60645

Téléphone: (312) 743-5677
Télécopie: (312) 743-5756

M. Léon Anderson, Agent de recherche et développement, CRIQ
8475, avenue Christophe-Colomb, Montréal, QC, H2M 2N9.

A1.5 FABRICANTS ET REVENDEURS DE SOLVANTS

Environnement Canada a établi une liste de fournisseurs canadiens de solvants de substitution (Environnement Canada, 1993).

L'EPA a établi une telle liste pour les fournisseurs américains. Cette liste est contenue dans le logiciel SAGE (voir plus haut) ou elle peut être obtenue en contactant:

SNAP Coordinator
U.S. EPA 6205J
401 M Street S.W.
Washington, D.C. 20460
USA

Téléphone: 202-233-9195
Télécopie: 202-233-9577

Le **Toxic Use Réduction Institute** (voir plus haut) a produit une liste de fournisseurs de solvants et d'équipements de nettoyage industriel (TURI, 1994b).

La compagnie **Pollution Prévention Consultants Inc.** a compilé une liste de solvants de substitution américains. On peut l'obtenir de l'auteur à l'adresse suivante:

Mitch Kennedy
Goldberg Zoino Associates
GeoEnvironmental, Inc.
27 Nack Road
Vernon, Connecticut 06066

Téléphone: 203-875-7655

OU

Mitch Kennedy
Pollution Prévention Consultants
11 Wendell St.
Cambridge, MA 02138

Téléphone: 617-868-1745

La liste contient plus de 145 solvants de substitution, classés alphabétiquement par type de produit en incluant les coordonnées du fournisseur et une description du produit. Elle est disponible sur support papier (140,00 $US) ou informatique (1 50,00 $US).

ANNEXE 2. ENQUÊTES

A2.1 ENQUÊTE AUPRÈS DES HYGIÉNISTES INDUSTRIELS DU RÉSEAU PUBLIC DE SANTÉ AU TRAVAIL DU QUÉBEC

En décembre 1993, nous avons effectué une enquête par questionnaire auprès des hygiénistes industriels du réseau public de santé au travail du Québec. Le but de cette enquête était de recueillir des cas concrets de substitution de solvants dans des entreprises québécoises sur les territoires respectifs couverts par les services de santé au travail des divers hygiénistes. Le format de la fiche de substitution, reproduite ci-dessous, est semblable à celui de la fiche utilisée par le Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail pour sa banque de données SOLUTIONS (CCHST, 1994). Les cas recueillis par cette enquête ont été incorporés dans notre banque de données sur les cas concrets de substitution dont les données essentielles sont présentées au chapitre 13.

Directives pour remplir la fiche

Veuillez s'il vous plaît utiliser la fiche ci-jointe comme un guide. Ne répondez pas aux questions ne correspondant pas à votre situation.

La compilation de ces fiches servira à faire circuler au Québec, par l'intermédiaire de notre rapport final, les acquis concernant des solutions pratiques à des problèmes concrets de substitution des solvants qui ont été appliquées avec succès en milieu de travail. Veuillez s'il vous plaît vous assurer que les cas de substitution que vous contribuez sont fidèles à la réalité et conformes aux critères suivants:

- se rapportent à la protection de la santé, de la sécurité ou de l'environnement;
- identifient un problème spécifique et une substitution de solvant réellement implantée;
- sont complètes et compréhensibles;
- fournissent de l'information pratique et utilisable;
- ne sont pas uniquement un moyen de faire la promotion d'un produit commercial particulier;
- sont conformes aux principes de la santé et de la sécurité du travail;
- ne portent pas préjudice aux intérêts des travailleur(euse)s ou des employeurs dans le milieu de travail.

FICHE DE SUBSTITUTION DES SOLVANTS EN MILIEU DE TRAVAIL

Source de l'information

Organisme_____
Personne à contacter_____
Titre_____
Adresse_____
Ville_____ Code Postal_____
Téléphone_____

Le milieu de travail

Industrie_____
Poste de travail_____
Professions exposées aux solvants_____
_____
Nombre d'employés exposés_____

Le procédé

Description_____
_____
_____
_____
_____

Le problème

Description du problème de santé, de sécurité ou d'environnement_____
_____
_____
_____
_____

Description de l'exposition, des accidents ou des maladies qui en résultent_____
_____
_____
_____
_____

La substitution

Type(s) d'approche:
substitution de procédé_____
substitution de produit_____
Description_____
_____
_____
_____
_____

Matériaux/Équipement utilisé

Description_____
_____
_____
Disponibilité commerciale Oui/non_____
Manufacturier/Fournisseur_____
Adresse_____
_____
_____
Nom/code du produit_____
Coût_____
Date_____
Autres spécifications_____

Efficacité de la solution de substitution

Utiliser la suite comme un guide en incluant les données chiffrées lorsque cela est possible
Exposition_____
Productivité_____
Coût de l'opération de substitution_____
Satisfaction des employé(e)s_____
Autre_____

Notes (inclure toute information pertinente non mentionnée plus haut)

_____
_____
_____
_____
_____
_____

Vous pouvez inclure des croquis du procédé en question.

A2.2 ENQUÊTE AUPRÈS DES ENTREPRISES ET ASSOCIATIONS

On retrouve présentées ci-dessous les questions-types utilisées lors de l'enquête dans les divers secteurs d'activité économique (chapitre 3).

1. Solvants utilisés (nom du produit - composition)

Quels solvants utilisez-vous? (il n'est pas nécessaire de fournir une liste exhaustive; ce sont principalement les solvants que vous jugez «importants», soit par la quantité utilisée, soit par le nombre de travailleurs exposés, soit par la toxicité du produit, les dangers pour la sécurité ou l'environnement, l'efficacité douteuse ou toute autre préoccupation).

Quels sont les noms de commerce et surtout, leur composition? (Joindre la fiche signalétique si possible ou du moins la première page).

2. Manufacturiers

Où vous procurez-vous ces divers solvants? (Cette information nous permet de retourner vers les manufacturiers pour de plus amples informations sur leurs produits, dont la composition et leurs propriétés physico-chimiques).

3. Utilisation, caractéristiques recherchées

Pour quelles activités l'utilisation de solvants vous est-elle nécessaire? Par exemple, pour enlever quel type de résidu, après ou avant quel procédé? Est-il important que ce produit soit ininflammable, ne laisse aucun résidu, soit diélectrique, s'évapore vite?

4. Conditions d'utilisation

Ces *produits sont-ils appliqués avec un chiffon, en aérosol, avec un vaporisateur, avec de la vapeur sous pression? Est-ce que le produit est chauffé, utilisé sous une hotte, avec des gants, dans un bac sans couvercle?*

5. Quantités utilisées

Quelle quantité approximative de chaque solvant «important» est utilisée? (Exemple: 2x45 gallons par mois).

6. Nombre d'employés exposés (poste de travail / fonction) et profil d'exposition

Quel est le nombre d'employés pouvant être exposés à ces solvants? À quel poste de travail et dans le cadre de quelle fonction? Les employés sont-ils exposés à de fortes concentrations dans l'air?

7. Préoccupations (santé / environnement / législation)

Suite à l'utilisation de ces solvants dans votre milieu de travail, a-t'on identifié certains problèmes reliés à la santé des travailleurs? A-t'on déjà identifié certains problèmes environnementaux extérieurs au milieu de travail reliés à l'utilisation de ces solvants?

8. Élimination

Comment ces solvants sont-ils éliminés? Sont-ils recyclés, récupérés, envoyés à l'égout, retournés chez le fournisseur? Que fait-on des contenants?

9. Alternatives essayées / envisagées

Que ce soit pour des préoccupations d'efficacité, de coûts, de disponibilité sur le marché, de problèmes à la santé ou l'environnement, y-a-t'il déjà eu des remplacements de produits et pour quelle raison? Quelles solutions ont été appliquées ou encore envisagées? Quelles sont les résultats de l'utilisation de ces alternatives?

ANNEXE 3. ELEMENTS LEGISLATIFS ET REGLEMENTAIRES

A3.1 INTRODUCTION GÉNÉRALE

Cette annexe passe en revue les lois et règlements régissant l'utilisation des solvants, dans les domaines de la santé et de la sécurité du travail (SST) et de l'environnement.

La première partie portant sur la SST énumère les articles de la législation canadienne, québécoise, américaine et européenne qui traitent de la substitution ou de l'élimination des substances toxiques et qui constituent donc une incitation et parfois même une obligation de substituer.

Dans la seconde partie, on peut retrouver les lois et règlements, principalement nord-américains, régissant l'utilisation des solvants en rapport à la protection de l'environnement. Cette section est structurée en fonction des thèmes suivants:

- l'environnement global;
- le contrôle des émissions atmosphériques;
- l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique;
- les COV et l'ozone troposphérique;
- le réchauffement global ou effet de serre;
- l'eau;
- les sols et les déchets.

A3.2 LÉGISLATION DE SANTÉ ET DE SÉCURITÉ DU TRAVAIL ET SUBSTITUTION DES SOLVANTS

Cette section vise à mettre en évidence les articles des lois et règlements préconisant ou favorisant la substitution des substances dangereuses par d'autres qui le sont moins. Certains éléments des textes cités ont été volontairement mis en caractères gras.

A3.2.1 Canada

A3.2.2.1 Règlement concernant la sécurité et la santé au travail pris en vertu de la Partie II du Code canadien du travail (Gouvernement du Canada, 1994)

Partie X, Substances hasardeuses, rubrique Substitution de substances, Article 10.5 (1):

> «Il est interdit d'utiliser une substance hasardeuse à quelque fin que ce soit dans le lieu de travail lorsqu'il est en pratique possible de la remplacer par une substance non hasardeuse»

Article 10.5(2):

> «Lorsqu'une substance hasardeuse doit être utilisée dans le lieu de travail, si une substance équivalente offrant moins de risque peut être utilisée à la même fin, **dans la mesure du possible, la substance équivalente doit être substituée à la substance hasardeuse»**

A3.2.2 Québec

A3.2.2.1 Loi sur la santé et la sécurité du travail (Gouvernement du Québec, 1986)

Au chapitre II, dans la section sur le champ d'application, les articles 2 et 3 vont dans le sens de la substitution.

Article 2, Objet de la loi:

> «La présente loi a pour objet **l'élimination à la source même des dangers pour la santé,** la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs».

Article 3, Moyens et équipements de protection:

> «La mise à la disposition des travailleurs de moyens et d'équipements de protection individuels ou collectifs, lorsque cela s'avère nécessaire pour répondre à leurs besoins particuliers, **ne doit diminuer en rien les efforts requis pour éliminer à la source même les dangers pour leur santé,** leur sécurité et leur intégrité physique».

A3.2.2.2 Règlement sur la qualité du milieu de travail (Gouvernement du Québec, 1994)

Section III.
Qualité de l'air

La majorité des solvants utilisés en milieu de travail sont visés par l'article 5 :

> «...tout établissement dont l'exploitation est susceptible d'entraîner l'émission de gaz, poussières, fumées, vapeurs ou brouillards dans le milieu de travail doit être exploité de manière à ce que la concentration de tout gaz, poussière, fumée, vapeur ou brouillard n'excède pas, au niveau de la zone respiratoire des travailleurs, les normes prévues à l'annexe A, pour toute période de temps indiquée à cette annexe.»

Ces normes sont listées à la partie 1 de l'annexe A. Bouchard et coll. présentent la démarche qui a mené à l'adoption récente de la révision de cette annexe (Bouchard, 1994a; Bouchard, 1994b).

Article 5.2:

> «Substances cancérogènes et isocyanates: L'employeur doit s'assurer **que l'exposition d'un travailleur à toute substance énumérée à la partie V de l'annexe A soit réduite au minimum,** même lorsqu'une telle exposition demeure à l'intérieur des normes prévues à l'annexe A».

Les solvants susceptibles d'être utilisés comme tel et qui sont visés par la partie V de l'annexe A sont les suivants:

- Benzène;
- Chloroforme;
- Dichlorométhane;
- Tétrachlorure de carbone;
- 1,2-Dichloroéthane;
- 2-Nitropropane;
- N,N-Diméthylformamide.

A3.2.2.3 Règlement sur les établissements industriels et commerciaux (Gouvernement du Québec, 1983)

Section X
Contrôle des substances dangereuses et des radiations dangereuses.

On stipule à l'article 10.2.1, alinéa 1 que:

> «Les substances nuisibles doivent être remplacées, autant que possible par des substances qui ne le sont pas».

La définition d'une substance nuisible est donnée à l'alinéa 29 de l'article 1.1 de la section I:

> «substance nuisible»: lorsque cette expression est utilisée à propos des poussières, fumées, brouillards, vapeurs ou gaz, elle désigne tout ce qui peut entraîner une lésion ou un affaiblissement des fonctions normales de toute partie du corps, sauf si cette condition est transitoire, peu fréquente et de courte durée, non cumulative et ne met pas en danger les personnes exposées à ces substances.

Les normes à respecter pour l'entreposage et la manutention des liquides inflammables et combustibles sont présentées à l'article 10.1.3. On donne une description aux articles 10.2.1 et 10.2.2 du contrôle à effectuer lorsqu'il y a émission de vapeurs inflammables.

L'annexe 4 de ce règlement comporte la liste des produits chimiques dangereux incluant plusieurs solvants ou familles de solvants.

A3. 2. 3 États-Unis

Dans sa politique sur les cancérogènes (OSHA, 1993a), OSHA stipule que:

> **«Lorsque l'on détermine qu'un ou plusieurs substituts valables et moins hasardeux existent pour certaines utilisations de produits potentiellement cancérogènes de catégorie I, un niveau d'exposition nul devrait être établi pour ces usages.** Ce niveau d'exposition zéro devrait être atteint par l'utilisation de techniques reconnues et par l'encouragement à la substitution. Pour déterminer si un substitut est valable, on tient aussi compte de la faisabilité économique et technique de l'introduction du substitut» (notre traduction).

Les cancérogènes de catégorie I incluent les substances cancérogènes (1) chez l'humain ou (2) chez une espèce de mammifère lors d'un essai à long terme lorsque ces résultats concordent avec une autre étude scientifique mettant en évidence son potentiel cancérogène. Le benzène est un exemple de solvant correspondant à cette catégorie.

Dans sa réglementation sur la protection respiratoire (OSHA, 1993b), OSHA stipule à l'alinéa 1 de la section 1910 que dans l e :

> «contrôle des maladies professionnelles causées par l'inhalation de poussières, de brouillards, de fumées, de gaz ou de vapeurs nocives, l'objectif devrait être d'empêcher la contamination atmosphérique. Ceci devrait être accompli, autant que possible, par l'application de mesures de contrôle acceptées (telles que le confinement des opérations, la ventilation locale ou générale et **la substitution par des substances moins toxiques).** Ce n'est que lorsque des mesures de contrôle efficaces ne sont pas applicables ou pendant qu'elles sont mises en oeuvre que des appareils de protection respiratoire appropriés doivent être portés» (notre traduction).

A3. 2. 4 Europe

Directive du Conseil de la CEE, 90/394/CEE, du 28 juin 1990 concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes au travail (CEE, 1990).

L'Union européenne a adopté, en 1990, la directive 90/394/CEC qui, à l'article 4 intitulé Réduction et substitution, alinéa 1, stipule que:

> «L'employeur **réduit l'utilisation d'un agent cancérigène** sur le lieu de travail, **notamment en le remplaçant, dans la mesure où cela est techniquement possible,** par une substance, une préparation ou un procédé qui, dans ses conditions d'emploi, n'est pas ou est moins dangereux pour la santé ou, le cas échéant, pour la sécurité des travailleurs.»

A3.2.5 Allemagne

Les allemands interdisent depuis 1986, l'utilisation du trichloroéthylène pour le dégraissage des métaux (FRGME, 1986).

A3.2.6 Danemark

Le ministère danois du travail a émis en 1982 une ligne directrice sur la substitution:

> «Une substance ou un matériau qui peut constituer un danger à la santé ou à la sécurité, ou les affecter de toute autre façon défavorable, ne doit pas être utilisé s'il peut être remplacé par une substance ou un matériaux inoffensif, moins dangereux ou moins nocif»

La législation indique d'autre part qu'il doit y avoir une faisabilité technique et économique; le fardeau de la preuve que la substitution n'est pas faisable revient à l'employeur (S0rensen, 1994a).

Le ministère danois du travail a également introduit dès 1982 un règlement sur le codage des produits. Toute peinture, adhésif, encre, etc. vendu au Danemark doit posséder un code, dit MAL, déterminé en fonction notamment de sa toxicité et de son potentiel d'évaporation selon des règles détaillées (DWES, 1993a). Le code MAL est composé de deux chiffres. Les chiffres plus petits impliquent un moindre danger. Le règlement stipule que l'on doit utiliser un produit commercial possédant le plus petit code MAL possible. Ce règlement ne s'appliquait originalement qu'aux peintures mais récemment, il a été généralisé aux bouches-pores, adhésifs, encres et scellants. Les solvants de dégraissage, nettoyants et décapants utilisés dans les travaux de préparation et de finition impliquant ces substances sont aussi inclus (DWES, 1993b). Cette réglementation aurait contribué positivement à l'amélioration des conditions de travail par l'élimination des peintures à solvants dans le secteur du bâtiment (Svane, 1985).

A3.3 LÉGISLATION ENVIRONNEMENTALE CONCERNANT LES SOLVANTS

L'inventaire des lois et règlements qui suit ne prétend pas être exhaustif. L'information donnée ne constitue pas un guide à suivre pour se conformer aux diverses exigences réglementaires. Les lois et règlements ne concernent que certains produits utilisés comme solvants et donc ne couvrent pas tous les domaines d'utilisation. Pour déterminer dans quelle mesure la réglementation concerne une entreprise, une utilisation ou un solvant en particulier, on doit se référer aux textes officiels et listes à jour.

A3.3.1 Environnement global

A3.3.1.1 Canada

A3.3.1.1.1 Loi canadienne sur la protection de l'environnement. L.R.C. 1985, c.16 (4e suppl.)

Partie II - SUBSTANCES TOXIQUES
Définition:

> «Est **toxique** toute substance qui pénètre ou peut pénétrer dans l'environnement en une quantité ou une concentration ou dans des conditions de nature à: a) avoir, immédiatement ou à long terme, un effet nocif sur l'environnement; b) mettre en danger l'environnement essentiel pour la vie humaine; ou c) constituer un danger au Canada pour la vie ou la santé humaine.» (article 11)

A3.3.1.1.2 Substances de l'inventaire national des rejets de polluants (INRP) LCPE, article 16 (1), Gazette du Canada, Partie I, 1993, Avis concernant certaines substances de l'inventaire national des rejets de polluants - Annexe I

> Liste de substances pour lesquelles un rapport est exigé (informations spécifiées à l'annexe IV), pour les installations décrites à l'annexe I, pour les activités décrites à l'annexe III.

A3.3.1.1.3 Liste des substances d'intérêt prioritaire LCPE, article 12 (1), Gazette du Canada, février 1989 pour la liste des 44 premières substances prioritaires.

> Les substances qui figurent sur cette liste font l'objet d'une évaluation qui vise à déterminer si ces substances doivent être déclarées «toxiques» en vertu de la Loi. Les substances qui seront déclarées toxiques feront ensuite l'objet de règlements.
>
> Près de la moitié des substances qui figurent sur cette liste sont des COV notamment le styrène, le chlorobenzène, le toluène et les xylènes.
>
> Certaines substances tels que les COV, le CO_2, les halons, les NO_X, les SO_X, les chlorophenates (bois), font l'objet d'élaboration d'options de contrôle et ne figurent ni sur la «Liste des substances toxiques» ni sur la «Liste des substances d'intérêt prioritaire». A partir de ces options de contrôle, les Ministres considèrent la réglementation pour ces substances.

A3.3.1.1.4 Liste des substances toxiques LCPE, Articles 13 et 33 à 37, Annexe I, 1993.

Ces substances peuvent faire l'objet de règlement. On lit à l'article 40:

> «En cas de violation de la présente partie ou de ses règlements, portant sur une substance ou sur un produit en contenant, le ministre peut: (...) b) ordonner aux personnes qui fabriquent, transforment, distribuent, importent ou vendent au détail cette substance ou ce produit: i) **soit de les remplacer par une autre substance ou un autre produit** inoffensifs pour l'environnement, la vie ou la santé (...)»

A3.3.1.1.5 Liste des substances interdites LCPE, article 41, Gazette du Canada, partie I de l'annexe II, 1992

Substances toxiques dont l'utilisation est interdite et qu'il est interdit d'exporter, sauf dans le but de détruire cette substance ou de se conformer avec un ordre (40 (b) (iii)).

A3.3.1.1.6 Liste pour l'exportation de substances toxiques LCPE, article 42, Gazette du Canada, partie II de l'annexe II, 1992

Liste de substances pour lesquelles un avis d'exportation est requis, quand exportées pour la première fois.

A3.3.1.2 Québec

A3.3.1.2.1 Loi sur la qualité de l'environnement. L.R.Q., c.Q-2

Article 20 - Émission d'un contaminant («Prohibition générale»):

> «Nul ne doit émettre, déposer, dégager ou rejeter ni permettre l'émission, le dépôt, le dégagement ou le rejet dans l'environnement d'un contaminant au-delà de la quantité ou de la concentration prévue par règlement du gouvernement.
>
> La même prohibition s'applique à l'émission, au dépôt, au dégagement ou au rejet de tout contaminant, dont la présence dans l'environnement est prohibée par règlement du gouvernement ou est susceptible de porter atteinte à la vie, à la santé, à la sécurité, au bien-être ou au confort de l'être humain, de causer du dommage ou de porter autrement préjudice à la qualité du sol, à la végétation, à la faune ou aux biens.»

Article 70.1 (n'est pas encore en vigueur) «Mesures préventives»; Section VII.1 «Matières dangereuses»:

> «Le ministre peut, lorsqu'il est d'avis qu'une matière dangereuse est dans une situation susceptible d'entraîner une atteinte à la santé de l'être humain ou des autres espèces vivantes ou un dommage à l'environnement ou aux biens, ordonner à quiconque a en sa possession la matière dangereuse ou en a la garde de prendre, dans le délai qu'il fixe, les mesures qu'il indique pour empêcher ou diminuer l'atteinte ou le dommage.»

A3.3.1.3 Etats-Unis

A3.3.1.3.1 Comprehensive Environmental Response. Compensation, and Liability Act (CERCLA) and Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986 (SARA) - 40 CFR Subchapter J (EPA)

CERCLA - Hazardous Substance / Reportable Quantity (RQ) EPA, CERCLA, SARA, 40 CFR Subchapter J - Superfund, Emergency Planning, and Community Right-to-know Programs, Part 302 - Designation, Reportable Quantities, and Notification, Paragraph 302.4 -Designation of Hazardous Substances, July 1992 edition with amendments through October 15, 1992 (57 FT 47376)

CERCLA - Proposed Hazardous Substance Addition EPA, CERCLA, SARA, 40 CFR Subchapter J - Superfund, Emergency Planning, and Community Right-to-know Programs, Part 302 - Designation, Reportable Quantities, and Notification, Paragraph 302.4 -Designation of Hazardous Substances, Proposed addition to 40 CFR 302.4 Table 302.4 54 FR 3388 (January 23, 1989), Docket Number 102RQ-232EHS

CERCLA - 1989 Proposed Reportable Quantity (RQ) Adjustment EPA, CERCLA, SARA, 40 CFR Subchapter J - Superfund, Emergency Planning, and Community Right-to-know Programs, Part 302 - Designation, Reportable Quantities, and Notification, Paragraph 302.4 -Designation of Hazardous Substances, Proposed amendment to 40 CFR 302.4 Table 302.4, 54 FR 35988 (August 30 1989), Docket Number 102RQ-251EHS

CERCLA - 1992 Proposed Reportable Quantity (RQ) Adjustment EPA, CERCLA, SARA, 40 CFR Subchapter J - Superfund, Emergency Planning, and Community Right-to-know Programs, Part 302 - Designation, Reportable Quantities, and Notification, Paragraph 302.4 -Designation of Hazardous Substances, Proposed amendment to 40 CFR 302.4 Table 302.4, 56 FR 20014 (May 8 1992), Docket Number 102RQ-31L

CERCLA - 1993 Priority List of Hazardous Substances That Will Be the Subject of Toxicological Profiles and Support Document US DHHS, ATSDR, Public Health Service, Quality Assurance Branch, Division of Toxicology, 1600 Clifton Road, N.E., Atlanta, GA 30333, (404) 639-6030

SARA - Extremely Hazardous Substance/Threshold Planning Quantity (TPQ) EPA, CERCLA, SARA, 40 CFR Subchapter J - Superfund, Emergency Planning, and Community Right-to-know Programs, Part 355 - Emergency Planning and Notification, Appendix A, July 1992 Edition
SARA - Section 313 Emissions Reporting EPA, CERCLA, SARA, 40 CFR Subchapter J - Superfund, Emergency Planning, and Community Right-to-know Programs, Part 372 - Toxic Chemical Release Reporting, Subpart D - Specific Toxic Chemical Listings, Paragraph 372.65 - Chemicals and chemical categories (including amendments published in the December 1, 1993FR) (58 FR 63496 and 63500)

SARA - Section 313 Proposed Addition EPA, CERCLA, SARA, 40 CFR Subchapter J - Superfund, Emergency Planning, and Community Right-to-know Programs, Part 372 - Toxic Chemical Release Reporting, Subpart D - Specific Toxic Chemical Listings, Paragraph 372.65 - Chemicals and chemical categories 40 CFR 372.65, Amendments proposed at 59 FR 1788 (January 12, 1994).

A3.3.1.3.2 Toxic Substances Control Act (TSCA)

Section 12 (B) - Export Notification EPA, TSCA, Document from TSCA Assistance Information Service, Export Division, (202) 488-3821, «List of chemicals that trigger 12 (b) export notification».

Interagency Testing Committee (ITC) 31st Report Priority List EPA, TSCA, Thirty First Report of the ITC, 58 Federal Register 26898 (May 5, 1993), Notice, Docket Number OPPTS-41038

Interagency Testing Committee (ITC) 32nd Report Priority List EPA, TSCA, Thirty Second Report of the ITC, 58 Federal Register 38490 (July 16, 1993), Notice, Docket Number OPPTS-41039

Interagency Testing Committee (ITC) 33rd Report Priority List EPA, TSCA, Thirty Third Report of the ITC, 59 Federal Register 3764 (January 26, 1994), Notice, Docket Number OPPTS-41040

A3.3.1.3.3 California Safe Drinking Water and Toxic Enforcement Act (Proposition 65), 1987

List of Toxics Known to the State to Cause Cancer or Reproductive Toxicity (révisée annuellement). State of California, California Environmental Protection Agency, Office of Environmental Health Hazard Assessment, 601 North 7th Street, P.O. Box 942732, Sacramento CA 94234-7320

A3.3.2 Contrôle des émissions atmosphériques

A3.3.2.1 Canada

A3.3.2.1.1 Loi canadienne sur la protection de l'environnement. L.R.C. 1985, c.16 (4e suppl.)

Les produits inscrits sur la «Liste d'intérêt prioritaire» sont étudiés et passent, si justifié, sur la «Liste des produits toxiques»; un règlement est établi pour chacun de ces produits.

A3.3.2.1.2 Objectifs nationaux pour la qualité de l'air ambiant. LCPE, article 8 (1), Gazette du Canada, Partie I, 12 août 1989, «National Ambient Air Quality Objectives for Air Contaminants - Schedule I»

Ces objectifs sont présentement revus par le Conseil canadien des ministres de l'environnement. Trois niveaux d'objectifs ont été formulés: le niveau maximal désirable, le niveau maximal acceptable, le niveau maximal tolerable.

A3.3.2.2 Québec

A3.3.2.2.1 Loi sur la qualité de l'environnement. L.R.Q., c.Q-2

Article 49.1 - Source de contamination de l'atmosphère:

«Dans le cas où le ministre est d'avis, sur la foi d'une étude ou d'une recommandation d'un organisme international ou gouvernemental, qu'une source de contamination de l'atmosphère située au Québec est susceptible de porter atteinte à la santé ou au bien-être des personnes dans un État étranger ou dans une autre province, il peut ordonner au responsable de cette source de contamination de cesser définitivement ou temporairement ou de limiter, selon les conditions qu'il impose, l'émission d'un contaminant dans l'atmosphère.»

A3.3.2.2.2 Règlement sur la qualité de l'atmosphère (Gouvernement du Québec, 1993) (en révision)

Ce règlement a pour objet d'établir des normes d'air ambiant et des normes d'émission des matières particulaires, des vapeurs et des gaz, des normes d'opacité des émissions ainsi que des mesures de contrôle pour prévenir, éliminer ou réduire le dégagement de contaminants des sources fixes.

A3.3.2.3 Montréal

A3.3.2.3.1 Loi sur la Communauté urbaine de Montréal. L.R.Q., c.C-37.2, Règlement relatif à l'assainissement de l'air et remplaçant les règlements 44 et 44-1 de la Communauté (règlement n° 90 de la CUM) (CUM, 1987)

À l'article 2, on définit un agent polluant ou matière polluante comme suit:

> «Toute substance qui se trouve dans l'atmosphère et qui nuit à la santé des humains ou des animaux ou interfère avec la vie des plantes ou endommage les biens matériels ou diminue le confort des personnes ou est susceptible de causer l'un quelconque de ces effets ainsi que tout substance qui se trouve dans l'atmosphère à une concentration interdite par le présent règlement. Dans ce dernier cas, une telle substance est considérée susceptible de causer l'un quelconque de ces effets.»

L'article 3 indique qu'il est interdit d'émettre un agent polluant mentionné au tableau 3.01 du règlement, en concentrations supérieures aux valeurs limites inscrites dans ce même tableau.

A3.3.2.4 États-Unis

A3.3.2.4.1 Clean Air Act (CAA) - 1990 (EPA)

List of Hazardous Air Pollutants EPA, CAA (1990), Public Law 101-549, 101st Congress, Title III - Hazardous Air Pollutants, Section 112, November 15, 1990

> Liste de 189 polluants de l'air dont les concentrations dans l'air doivent être réduites d'ici 10 ans, en contrôlant leur niveau d'émission selon les technologies de contrôle fixés par EPA («Maximum achievable control technology» - MACT). C'est le «Source Reduction Review Project» de l'EPA qui est chargé d'analyser les options de réduction à la source, pour 24 normes proposées, normes qui affecteraient 17 catégories industrielles dont les opérations de dégraissage, l'imprimerie, l'industrie du meuble, de la peinture, des adhésifs. Des règlements pour chaque catégorie industrielle sont publié, dont le «National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Halogenated Solvent Cleaning», par exemple, publié en version finale, le 2 décembre 1994 dans le Federal Register.
>
> Parmi ces HAP: benzène, tétrachlorure de carbone, éthylbenzène, les éthers de glycol, hexane, méthanol, 1,1,1-trichloroéthane, méthyl éthyl cétone (MEK), methyl isobutyl cétone, dichlorométhane, xylènes, toluène, styrène

List of Regulated Toxic Substances and Threshold Quantities for Accidental Release Prevention EPA, CAA (1990), Section 112 (r) (3), 40 CFR Part 68 - Chemical

Accident Provisions, Subpart C - Regulated Substances for Accidental Release Prevention, 40 CFR 68.130, Table 1; Règlement final publié dans le 59 FR 4478 (31 janvier 1994), effectif le 2 mars 1994.

A3.3.3 Appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique

A3.3.3.1 Problématique

L'ozone stratosphérique est l'unique absorbant du rayonnement solaire ultraviolet, entre le sol et quatre-vingts kilomètres d'altitude. Cette absorption permet le maintien de la vie animale et végétale. La couche d'ozone est aujourd'hui menacée par l'augmentation de la concentration des composés organohalogénés principalement. De plus, on s'est aperçu que les CFC jouaient un rôle non négligeable dans l'effet de serre. Parmi ces organohalogénés on retrouve comme solvants: le CFC-113, le tétrachlorure de carbone, le méthylchloroforme (MCF) et certains HCFC.

Protocole de Montréal et amendements Le protocole de Montréal (PNUE, 1987), ratifié en janvier 1989, amendé lors de la conférence de Londres en 1990 et celle de Copenhague en 1992, prévoit une suppression totale des CFC en l'an 2000, et l'arrêt de la production et de l'importation de MCF d'ici le 1er janvier 1996. La réunion de 1992 prévoit une clause permettant la production ou l'importation de substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO) pour utilisations essentielles. Cependant, les critères régissant ces exemptions sont très stricts.

Tous les pays ont désormais signé le protocole, sauf l'Indonésie, le Pakistan et les Philippines.

A3.3.3.2 Canada

Au Canada, le gouvernement fédéral est responsable de la réglementation sur la fabrication, l'importation et l'exportation des SACO ainsi que la mise en oeuvre des mesures énoncées dans le Protocole de Montréal. Les provinces ont convenu de réglementer la récupération et le recyclage des SACO, ainsi que leur utilisation, pour plusieurs provinces dont le Québec.

A3.3.3.2.1 Loi canadienne sur la protection de l'environnement. L.R.C. 1985, c.16 (4^{e} suppl.)

Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone (chlorofluoroalcanes)
Règlement n°4 sur les substances appauvrissant la couche d'ozone (tétrachlorométhane et 1,1,1-trichloroéthane) - Partie II de la Gazette officielle du Canada, 19 mai 1993 (Environnement Canada, 1993b).

Ces règlements ont été modifiés et le nouveau règlement s'intitule: **Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone - (DORS/94-408) Partie II de la**

Gazette officielle du Canada, 1994.

À compter du 1er janvier 1994, il est interdit à toute personne, à moins de détenir une autorisation, de fabriquer ou d'importer une quantité de MCF supérieure à 50% de celle qui a été fabriquée ou importée en 1989.

À compter du 1er janvier 1995, il est interdit à toute personne, à moins de détenir une autorisation, de fabriquer ou d'importer une quantité de MCF supérieure à 15% de celle qui a été fabriquée ou importée en 1989.

À compter du 1er janvier 1996, il sera interdit à toute personne, à moins de détenir une autorisation, de fabriquer, d'importer ou d'exporter du MCF qui n'est pas récupéré, recyclé ou régénéré ou du MCF fabriqué ou importé après le 1er janvier 1996, sauf s'il est destiné à servir de matière première ou d'étalon d'analyse.

Sont réglementés: le MCF pur, le MCF avec stabilisants, les mélanges de dissolvants.

Ne sont pas réglementés: le MCF récupéré, recyclé ou régénéré; les produits fabriqués (aérosols, peintures, adhésifs, lubrifiants, etc.) ainsi que le MCF servant de matière première ou MCF détruit.

A3.3.3.2.2 Liste des substances réglementées: Annexe III «Utilisations autorisées après la date d'interdiction» du règlement.

A3.3.3.3 Québec

A3.3.3.3.1 Loi sur la qualité de l'environnement. L.R.Q., c.Q-2
Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone

À compter du 1er janvier 2000, il sera interdit de se servir de MCF (sauf pour certains usages de laboratoire ou sauf s'il s'agit de matière première).

Liste des substances réglementées: Annexe I du règlement.

A3.3.3.4 États-Unis

A3.3.3.4.1 Clean Air Act (CAA) - 1990

Class I Ozone Depletors EPA, CAA (1990), Public Law 101-549, Title VI (Stratospheric Ozone Protection), 40 CFR 82, Subpart A - Production and Consumption Controls, Appendix F to Subpart A - Listing of Ozone Depleting Chemicals amended through December 10, 1993 (58 FR 65018)

Class II Ozone Depletors EPA, CAA (1990), Public Law 101-549, Title VI (Stratospheric Ozone Protection), 40 CFR 82, Federal Register Notice January 22,

1991 (56 FR 2420) listing Ozone-Depleting Substances. Related Notices of Proposed Rulemaking at 56 FR 49548 and 57 FR 19166.

En 1993, l'EPA a établi un règlement obligeant l'importateur à apposer une étiquette apparente et clairement lisible sur les marchandises suivantes: 1) tous les produits obtenus par un procédé utilisant du MCF; 2) tous les produits renfermant du MCF, et 3) tous les contenants renfermant du MCF ou un mélange de MCF.

A3.3.4 COV et ozone troposphérique (Beaud, 1993; CCME, 1990)

A3.3.4.1 Problématique

Il y a production de smog (contraction de *smoke* et *fog)* ou fumard (contraction de fumée et brouillard) lorsque des couches d'air chaud, en altitude, bloquent au sol les émanations des cheminées et des pots d'échappement. Les principaux responsables du smog photochimique sont les composés organiques volatiles (COV) et les oxydes d'azote (NO_X). Sous l'action du soleil, les COV réagissent avec d'autres polluants atmosphériques, notamment les NO_X, pour former de l'ozone et d'autres oxydants photochimiques tels que le PAN (nitrate de peroxyacétyle), particulièrement toxiques. Les sources naturelles (comme les terpènes et isoprènes de certains arbres) contribuent à 40% des émissions totales de COV. Vingt-sept pourcent des émissions sont causées par les vapeurs d'hydrocarbures venant du transport. Les solvants quant à eux représentent environ 25% des émissions, dont 15% dû aux solvants chlorés. Le toluène, le xylène, l'isopropanol, les éthers de glycol, les distillats du pétrole, les naphtas et essences minérales ainsi que la méthyléthylcétone sont des exemples de COV courants.

La **Directive de la Communauté Européenne sur les COV**, dont le but premier est de contrôler les émissions de COV qui contribuent, entre autres, au smog photochimique, devrait être finalisée au 31 décembre 1996. À partir de 1997, les *nouveaux* opérateurs de procédés spécifiés seront contraints d'utiliser les meilleures techniques de contrôle disponibles et d'avoir un plan de gestion des solvants (détaillé à l'annexe I de la Directive). Les opérations existantes devraient se conformer entre 2001 et 2005.

La Directive exige que toutes les mesures «techniquement et économiquement praticables» soient prises pour minimiser les émissions de COV, récupérer ou conserver la chaleur, ou substituer par des substances moins nocives. Les COV les plus nocifs, listés à l'annexe II de la Directive, devraient être substitués dans les «délais les plus courts possibles».

A3.3.4.2 Canada

Le **Plan de gestion pour les oxydes d'azote et les composés organiques volatils,** du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) a pour objectif de réduire la formation d'ozone au sol en contrôlant les émissions de COV et NO_X. Le plan met en place 58 initiatives spécifiques pour réduire les émissions des sources existantes et nouvelles, dans

le but de résoudre entièrement le problème de l'ozone au sol au Canada, d'ici l'an 2005.

Objectif de concentration maximale admissible d'ozone: 82 ppb, partout au Canada.

Définition de COV selon le plan:

> «Tout composé organique qui participe aux réactions photochimiques atmosphériques; ceci implique tout solvant organique autre que les suivants, qui ont été exclus à cause de leur réactivité photochimique négligeable: méthane, éthane, 1,1,1-trichloroéthane, dichlorométhane, CFC, FC, HCFC.»

Dans ce plan on prévoit notamment pour 1995 l'implantation des normes de performance pour les *nouvelles* sources dans les installations de dégraissage industrielles et commerciales.

A3.3.4.3 Québec

Loi sur la qualité de l'environnement. L.R.Q., c.Q-2
Règlement sur la qualité de l'atmosphère (en révision) - Section V: Émissions de composés organiques

L'article 12, «Normes générales» fixe des normes d'émission (kg/jour et kg/heure) de composés organiques par une source fixe (exceptions à l'article 15). Selon l'article 14, l'article 12 ne s'applique pas:

> «a) aux établissements de fabrication de solvants organiques; b) au transport et à l'entreposage de solvants organiques ou de substances qui en contiennent; c) à l'utilisation d'insecticides, de pesticides ou d'herbicides; ni d) à l'utilisation ou l'évaporation d'hydrocarbures halogènes.»

Ce règlement donne les définitions suivantes (extrait de l'article 1):

> «solvant organique»: composé organique liquide aux conditions normalisées, utilisé comme agent de dilution, de dissolution, de réduction de viscosité ou de nettoyage;
>
> «solvant organique photochimiquement réactif»: solvant organique contenant: i) 5% ou plus en volume de composés oléfiniques; ii) 8% ou plus en volume de composés aromatiques ayant au moins 8 atomes de carbone à l'exception de l'éthyl benzène; iii) 20% ou plus en volume d'éthyl benzène, de cétones ramifiées, de trichloroéthylène ou de toluène; ou iv) un total de 20% ou plus en volume de l'ensemble des composés visés aux sous-paragraphes i à iii.

Les émissions de ces composés organiques volatils seront davantage réglementées dans l'éventualité de l'adoption de la révision de ce Règlement par le Gouvernement du Québec (Gouvernement du Québec, 1995).

A3.3.4.4 États-Unis

Dans le *Clean Air Act Amendments of 1990,* on cherche à contrôler les composés organiques qui contribue à la production d'ozone au sol. Certains hydrocarbures aliphatiques, aromatiques et halogènes, ainsi que les alcools, les glycols, les éthers, les époxydes et les phénols sont des catégories de COV qui constituent la majorité des 189 HAP (Hazardous Air Pollutants) devant être contrôlés selon le Titre III du CAAA.

A3.3.4.4.1 CAAA - Title I: Provisions for Attainment and Maintenance of National Ambient Air Quality Standards (Urban Air Pollution)

Quatre-vingt seize villes américaines avec des problèmes d'ozone ont entre 3 et 20 ans pour rencontrer les normes de qualité de l'air.

La réduction des émissions de COV qui excèdent la norme nationale pour l'ozone de 0.12ppm (120 ppb) est réglementée selon le Title I du CAAA. D'ici 1996, les villes dont les niveaux d'ozone sont les pires ou sont modérés doivent réduire de 15% les émissions de COV par rapport aux émissions de 1990.

Voir les **Hazardous Organic National Emission Standard for Hazardous Air Pollutants** publiés dans le Federal Register.

A3.3.5 Réchauffement global - effet de serre (Beaud, 1993)

Le gaz carbonique ainsi que les gaz qui lui sont associés, oxydes d'azote et de carbone, produits par l'utilisation des combustibles fossiles et la deforestation, contribuent pour les deux tiers aux émissions responsables de l'effet de serre. Le méthane et les CFC se partagent le tiers restant. Les gaz à effet de serre jouent un rôle capital dans l'équilibre du climat actuel. Ils absorbent en effet le rayonnement infrarouge sortant émis par la Terre, et réémettent un rayonnement tant vers le bas que vers le haut. Ils contribuent ainsi à réchauffer fortement la surface de la planète.

Les concentrations en méthane et protoxyde d'azote (N_20) apparaissent beaucoup plus faibles que celles en $C0_2$, mais leur pouvoir d'absorption est beaucoup plus élevé: 20 fois plus pour le méthane, 200 fois plus pour N_20. Les solvants fluorés (CFC, HFC, HCFC) contribuent à l'effet de serre. Ainsi une molécule de CFC est de 15 000 à 20 000 fois plus absorbante qu'une molécule de CO_2 et elle persiste très longtemps dans l'atmosphère.

La **Convention sur le climat** signée lors de la Conférence mondiale sur l'environnement et le développement (CNUED, Rio de Janeiro, 3-14 juin 1992), appelle les pays développés à ramener dans les plus brefs délais possibles leurs émissions de gaz à effet de serre à leur

niveau de 1990. Son objectif consiste à stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui laisserait aux écosystèmes le temps de s'adapter aux changements climatiques. Cette convention a été signée par la quasi-totalité des États, pays du Golfe exceptés.

La **Conférence de Berlin** sur les changements climatiques, qui s'est terminée le 8 avril 1995, a entériné le principe d'une réduction des gaz à effet de serre après l'an 2000.

A3.3.6 Eau

A3.3.6.1 Canada

A3.3.6.1.1 Loi sur les pêches. L.R.C. 1985, c.F-14
Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers
Règlement sur les effluents liquides des mines de métaux

À l'article 26, cette loi interdit

> «... d'immerger ou de rejeter une substance nocive - ou d'en permettre l'immersion ou le rejet - dans des eaux où vivent des poissons (...)»

A3.3.6.1.2 Loi canadienne sur la protection de l'environnement. L.R.C. 1985, c.16 (4^{e} suppl.)

> Liste des substances interdites (immersion de déchets en mer) LCPE, articles 71 et 72, Gazette du Canada, 28 juin 1988, Annexe III, Partie I
>
> Liste des substances réglementées (immersion de déchets en mer) LCPE, articles 71 et 72, Gazette du Canada, 28 juin 1988, Annexe III, Partie II

A3.3.6.2 Québec

Loi sur la qualité de l'environnement, L.R.Q., c.Q-2
Règlement sur les fabriques de pâtes et papiers

A3.3.6.3 Montréal

Loi sur la Communauté urbaine de Montréal. L.R.Q., c.C-37.2
Règlement relatif aux rejets des eaux usées dans les réseaux d'égout et les cours d'eau (Règlement no 87 de la CUM) (CUM, 1988).

À l'article 1, on définit polluant comme suit:

> Polluant: un contaminant ou un mélange de plusieurs contaminants présents dans l'environnement en concentration ou

quantité supérieure au seuil permissible déterminé par règlement du gouvernement ou dont la présence dans l'environnement est prohibée par règlement du gouvernement.

L'article 7 «Substances prohibées» interdit de rejeter dans un réseau d'égout ou un cours d'eau des substances contenant notamment: du benzène, du naphte, de l'acétone; de rejeter un liquide explosif, inflammable, à réaction acide ou alcaline ayant des propriétés corrosives, etc.

A3.3.6.4 États-Unis

A3.3.6.4.1 Clean Water Act (CWA) - 40 CFR Subchapter D (EPA)

List of Hazardous Substances EPA, CWA, Subchapter D - Water Programs, Part 116- Designation of Hazardous Substances, Table 116.4- List of Hazardous Substances, 40 CFR 116.4, CFR July 1992 Edition

Reportable Quantities for Hazardous Substances EPA, CWA, Subchapter D - Water Programs, Part 117 - Determination of Reportable Quantities for Hazardous Substances, Table 117.3, 40 CFR part 117.3, CFR July 1992 Edition

- Quantité minimale de déclaration obligatoire (RQ) pour les substances listées dans la Partie 116.

List of Priority Pollutants EPA, CWA, Subchapter N - Effluent Guidelines and Standards, Part 423, Appendix A, CFR July 1992 Edition

- Liste de 126 polluants, dont: 1,1,1-trichloroéthane, chloroforme, éthylbenzène, dichlorométhane, tétrachloroéthylène, toluène, trichloroéthylène

List of Toxic Pollutants EPA, CWA, Subchapter N - Effluent Guidelines and Standards, Part 401, General Provision, 40 CFR 401.15 - Toxic Pollutants, CFR July 1992 Edition

A3.3.6.4.2 Safe Drinking Water Act (SDWA) - 40 CFR Subchapter D (EPA)

Priority List of Substances Which May Require Regulation Under the Safe Drinking Water Act Notice EPA, SDWA, Safe Drinking Water Act Notice, 56 FR 1470, January 141991, Table 5 - Drinking Water Priority List (DWPL)

Maximum Contaminant Level Goal (MCLG) EPA, SDWA, Subchapter D - Water Programs, Part 141 - National Primary Drinking Water Regulations, Subpart F - MCLG; 40 CFR 141.50, 141.51 - MCLGs for organic chemicals, inorganic chemicals - Amendments through July 17 1992 (57 FR 31776)

Maximum Contaminant Level (MCL) EPA, SDWA, Subchapter D - Water Programs, Part 141 - National Primary Drinking Water Regulations, Subpart B - MCL; 40 CFR 141. 11, 141. 12- MCLs for inorganic chemicals, organic chemicals - Amendments through July 17 1992 (57 FR 31776)

Secondary Maximum Contaminant Level (SMCL) EPA, SDWA, Subchapter D - Water Programs, Part 143 - National Secondary Drinking Water Regulations, 40 CFR 143.3 - SMCLs; CFR July 1 1992

A3.3.7 Sols - Déchets

A3.3.7.1 Canada

Loi canadienne sur la protection de l'environnement. L.R.C. 1985, c. 16 (4e suppl.)
Règlement sur l'exportation et l'importation des déchets dangereux

A3.3.7.2 Québec

Loi sur la qualité de l'environnement. L.R.Q., c.Q-2
Règlement sur les déchets dangereux

- Projet de règlement en remplacement: «Règlement sur les matières dangereuses» - avril 1994;
- Réglemente les registres, bilans et rapports; l'entreposage, l'utilisation, la disposition, les permis, etc. Article 9. Prohibition:

  > «Nul ne peut émettre, déposer, dégager ou rejeter un déchet dangereux dans l'environnement ou dans un système d'égout à moins que cette émission, ce dépôt, ce dégagement ou ce rejet ne s'effectue conformément à la Loi et au présent règlement.»;

- La majorité des solvants usés correspondent à la définition de «déchet dangereux» (article 1); plusieurs de solvants courants sont inclus dans la catégorie de déchets dangereux «Divers» de l'annexe I (111 à 115).

A3.3.7.3 États-Unis

Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) - 40 CFR Subchapter I

Appendix VII - Basis for Listing Hazardous Waste EPA, RCRA, 40 CFR Subchapter I - Solid Wastes, Part 261 - Identification and Listing of Hazardous Waste, Appendix VII - Basis for Listing Hazardous Waste, 40 CFR July 1992 edition with amendments through October 15, 1992(57 FR 47376)

- Liste des types de déchets dangereux. Par exemple:

Type F: déchets dangereux de sources non spécifiques
- F0001 Solvants halogènes usés utilisés pour le dégraissage tels que: 1,1,1-trichloroéthane, tétrachlorure de carbone, CFC
- F0002 Solvants halogènes usés tels que: tétrachloroéthylène, chlorure de méthylène, trichloroéthylène
- F0003 Solvants non halogènes usés tels que: xylène, acétone, acétate d'éthyle, éthylbenzène, éthyl éther, méthanol
- F0005 Solvants non halogènes usés tels que: toluène, MEK, isobutanol, benzène

Type K: déchets dangereux de sources spécifiques

Type U: déchets considérés toxiques, par exemple: U002-acétone, U154-méthanol, U220-toluène

Appendix VIII - Hazardous Wastes EPA, RCRA, 40 CFR Subchapter I - Solid Wastes, Part 261 - Identification and Listing of Hazardous Waste, Appendix VIII - Hazardous Wastes, 40 CFR with update through January 4, 1994 (59 FR 458)

Substances Banned from Land Disposal EPA, RCRA, 40 CFR Subchapter I - Solid Wastes, Part 268 - Land Disposal Restrictions, Subpart C - Prohibition on Land Disposal, Paragraph 268.35 - Third Third wastes, 40 CFR July 1992 edition. Includes seven additional wastes added on August 18, 1992 (57 FR 372).

A3.3.8 Tableau synoptique de la législation environnementale nord-américaine

Pour faciliter la compréhension des lois et règlements portant sur la législation environnementale canadienne et américaine, le tableau A3.1 décrit les solvants usuels qui s'y retrouvent. Certains règlements peuvent exiger notamment la production de rapports portant sur les émissions (dans l'air, dans l'eau ou comme déchet). Ceux-ci peuvent également interdire l'exportation ou l'émission de solvants au-delà de certaines normes. Enfin, certaines substances étant à l'étude, le législateur annonce dans le règlement son intention de les inclure à une date ultérieure.

Tableau A3.1

Tableau synoptique de la législation environnementale nord-américaine

Substance	LCPE[1]	LCPE[2]	LCPE[3]	CERCLA[1]	CERCLA[2]	SARA	TSCA	ITC	Calif.
Acétone	oui			5000	144	1,0 %	oui	oui	
CFC-113						1,0%			
Dichlorométhane	oui	4 ans		1 000	065	0,1 %			canc.
HCFC-123						oui			
HCFC-141b						oui	oui		
Isopropanol	oui				254	0,1 %"	oui		
Méthyléthylcétone	oui			5000	168	1,0%			
1,1,1-Trichloroéthane		4 ans	oui	1 000	072	1,0%	oui		
N-méthylpyrrolidone						nouvelle 95/01	oui		
Perchloroéthylène	oui	4 ans		100	023	0,1 %			canc.
Toluène	oui			1 000	053	1,0%			tox. dev.
Trichloroéthylène	oui	4 ans		100	011	1,0%			canc.
Xylène	oui	4 ans		1 000	079	1.0%			

Légende:

Pour chacune des listes, les particularités et les unités sont notées en italique ci-après lorsque requis.
«Oui» signifie que la substance est inscrite sur la liste en question (voir les pages liminaires pour les abréviations).

LCPE[1]: Substances de l'inventaire national des rejets de polluants (INRP)
LCPE[2]: Liste des substances d'intérêt prioritaire: 4 ans = temps estimé pour compléter le rapport
LCPE[3]: Liste des substances toxiques
CERCLA[1]: CERCLA Hazardous Substance / Reportable Quantity (RQ); unité: livres
CERCLA[2]: 1993 CERCLA Priority List of Hazardous Substances That Will Be the Subject of Toxicological Profiles and Support Document: rang sur un total de 275 produits listés
SARA: Section 313 Emissions Reporting: concentration minimale de déclaration obligatoire
TSCA: Section 12 (B) - Export Notification
ITC: Interagency Testing Committee (ITC) 31st, 32nd and 33rd Reports Priority Lists
Calif. California List of Toxics known to the State to cause Cancer or reproductive toxicity
canc. = cancérogène, tox. dev. = toxicité pour le développement
CAA: List of Hazardous Air Pollutants
PM Protocole de Montréal et amendements. Substances appauvrissant la couche d'ozone

Tableau A3.1

Tableau synoptique de la législation environnementale nord-américaine (suite)

Substance	CAA	PM	SBEC	CWA[1]	CWA[2]	CWA[3]	SDWA	LQE	RCRA[1]	RCRA[2]
Acétone								oui	U002	oui
CFC-113		oui						oui		
Dichlorométhane	oui		MAC: 0,05		oui		mcl= 0,005 mclg=0	oui	U080	
HCFC-123		oui								
HCFC-141b		oui								
Isopropanol										
Méthyéthylcétone	oui							oui	U159	oui
1,1,1-trichloroéthane	oui	oui			oui		mcl= mclg = 0,2	oui	U226	oui
N-méthylpyrrolidone										
Perchloroéthylène	oui				oui	oui	mcl= 0,005 mclg=0		U210	oui
Toluène	oui		AO	oui	oui	oui	mcl= mclg = 1	oui	U220	oui
Trichloroéthylène	oui		MAC: 0,05	oui	oui	oui	mcl= 0.005 mclg = 0	oui	U228	oui
Xylène	oui		AO	oui			mcl= mclg = 10	oui	U239	oui

*Seulement si manufacturé par le procédé à l'acide fort.

tiré de Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail, Base de données The Chemical Advisor (94-4)

SBEC: Santé Bien-Etre Canada - Concentration maximale acceptable unité: mg/l; AO = objectif d'esthétique fixé

CWA[1]: List of Hazardous Substances

CWA[2]: List of Priority Pollutants

CWA[3] List of Toxic Pollutants

SDWA: Maximum Contaminant Level Goal (MCLG); Maximum Contaminant Level (MCL); Secondary Maximum Contaminant Level (SMCL): unité: mg/l

LQE[1]: Déchets dangereux «Divers» de l'annexe I (111 à 115)

RCRA[1]: Appendix VIII - Hazardous Wastes

RCRA[2]: Substances Banned from Land Disposal

ANNEXE 4. LISTE DE FACTEURS A CONSIDERER LORS D'UNE ANALYSE DE SUBSTITUTION DANS LE CAS DES SOLVANTS

A4.1 INTRODUCTION

La présente liste a été établie à partir de la consultation de documents portant sur l'analyse de substitution ainsi que des chapitres 5 à 12 portant sur les utilisations prioritaires. Sans prétendre être exhaustive l'énumération ci-dessous peut servir d'aide mémoire des divers facteurs et paramètres qui pourraient rentrer en jeu lors d'une analyse se substitution, en complément de la lecture du chapitre 4. Les facteurs ont été regroupés en cinq grandes catégories (santé et sécurité du travail, environnement, technique, économique et socio-organisationnel) qui cependant se recoupent très souvent.

Les facteurs et paramètres présentés sont généralement à considérer sous deux angles: la situation existante, avant la substitution, et la situation prévisible après la substitution. De même ce qui est parfois présenté dans la liste comme un désavantage ou un coût doit aussi être envisagé comme un avantage ou un bénéfice possible.

A4.2 SANTÉ ET SÉCURITÉ DU TRAVAIL

réglementations diverses

étiquetage

listes des substances et produits commerciaux

composition des produits commerciaux

additifs

produits de dégradation thermique

inflammabilité, explosibilité (stockage, transport)

génération d'étincelles (appareils antidéflagrants)

réactivité (stockage, transport)

toxicité (voies d'absorption, toxicité aiguë et chronique, irritation, allergies, cancérogénicité, reprotoxicité, neurotoxicité, effets spécifiques divers)

possibilités de génération de brouillards

génération de poussières toxiques ou explosives

présence de produits toxiques dissous dans les solvants (résidus, liants, pigments, salissures diverses)

possibilités de contact cutané

odeurs

valeurs limites d'exposition

volatilité et indices de danger basés sur les VLE

effets possibles d'interaction

méthodes de prévention diverses (ventilation, entretien, protection individuelle)

surveillance environnementale et biologique de l'exposition

contraintes ergonomiques

possibilités de blessures (machines, sols glissants)

chocs électriques

bruit, vibrations

rayonnements divers

contraintes thermiques, brûlures

dépistage médical

procédures d'urgence

premiers secours

A4.3 ENVIRONNEMENT

réglementations diverses (air, eau, déchets, transport)

potentiel de depletion de la couche d'ozone

potentiel photochimique (COV)

toxicité spécifique

volatilité (pertes par evaporation)

biodégradabilité

création de nouveaux résidus ou déchets

traitement ou rejet des effluents gazeux (adsorption)

traitement ou rejet des effluents liquides

traitement ou disposition des déchets et résidus

recyclage sur place ou à l'extérieur

récupération, réutilisation

surcharge ou empoisonnement des systèmes de contrôle

transport, stockage

A4.4 FACTEURS TECHNIQUES

normes et spécifications particulières à respecter (normes sectorielles, normes militaires, ISO 9000)

propriétés du procédé

* qualité, apparence du produit fini
* utilité du solvant (remise en question)
* substrat (sensibilité chimique, possiblités de corrosion)
* salissure (nature chimique, possibilité de l'éliminer ou de la modifier dans les étapes précédentes, possibilité de l'accepter dans les étapes ultérieures)
* objet ou pièce (forme, dimension, complexité, parties cachées, trous borgnes)
* efficacité, rapidité, rendement
* possibilité d'automatiser
* procédé continu ou par lots
* mode et équipement d'application (installations nouvelles, modifications, rattrapage, rapidité

d'application)

* nettoyage, entretien, maintenance des équipements de production (résidus, tartre, corrosion)

* traitement préalable des surfaces (pré-nettoyage)

* traitement subséquent des surfaces (rinçage, séchage)

* équipements annexes requis (ventilation, contrôle de l'humidité, dépoussiérage, recyclage, élimination, contrôles divers)

* espace requis

* modifications aux procédures de travail

* modifications aux infrastructures de base (p.ex. électricité, égouts)

propriétés du substitut

* propriétés techniques fondamentales selon l'application (pouvoir de solubilisation, pouvoir couvrant ou d'adhérence)

* volatilité (mode d'application, temps de séchage, pertes par evaporation)

* volatilité, paramètres divers (point d'ébullition, tension de vapeur)

* viscosité

* tension superficielle

* réactivité chimique (attaque du substrat, stockage)

* stockage (stabilité chimique et thermique, réactivité, corrosion, gel, agitation)

* propriétés diélectriques

* additifs

* résidus laissés sur le substrat

A4.5 FACTEURS ÉCONOMIQUES

coûts directs des produits

coûts des équipements (achat, amortissement, exploitation, maintenance, espaces occupés)

coûts énergétiques (chauffage des bains, vaporisation, séchage, ventilation, rinçage, récupération de la chaleur)

coût des équipements et matériel de contrôle divers (ventilation, matériel anti-déflagrant, traitement des effluents, des rejets, protection individuelle)

coûts de transport

assurances (inflammabilté, compatibilité avec nouvelles procédures)

contrats divers (p.ex. entretien)

fournisseurs (disponibilité, diversité, service après-vente, recherche et développement)

diversité des formats disponibles

nettoyage, entretien, maintenance

pertes diverses (evaporation, efficacité d'application)

coûts de gestion des résidus et rejets (recyclage, récupération, réutilisation, disposition)

possibilité d'automatisation

productivité (rapidité, efficacité)

coûts de main d'oeuvre

marketing (santé-environnemnt, image publique, promotion, demandes des clients, de la communauté)

coûts d'expertise, de consultation, de recherche et de développement

A4.6 FACTEURS SOCIO-ORGANISATIONNELS

approche proactive plutôt que réactive

approche sectorielle ou regroupement d'entreprises

disponibilité de programmes gouvernementaux d'adaptation

relations de travail

implication de l'ensemble des acteurs de l'entreprise (notamment haute administration, ingénieurs et techniciens, travailleurs, comité de santé-sécurité du travail)

établissement de critères pour prioriser les divers facteurs de l'analyse de substitution

formation et information du personnel

modifications aux procédures de travail

implantation de moyens de protection individuelle

plans d'implantation des moyens de substitution

évaluation des résultats

ANNEXE 5. STRUCTURE DE LA BANQUE DE DONNEES DE CAS

A5.1 INTRODUCTION

Nous avons conçu la structure de la banque de données de telle sorte qu'un utilisateur éventuel puisse s'en servir en l'interrogeant de multiples façons. Ainsi, il serait possible d'extraire, par exemple, les divers cas qui se rapportent au secteur de l'imprimerie en effectuant une recherche par l'intermédiaire des codes de la Classification des activités économiques du Québec (Bureau de la statistique du Québec, 1984) pour cette industrie.

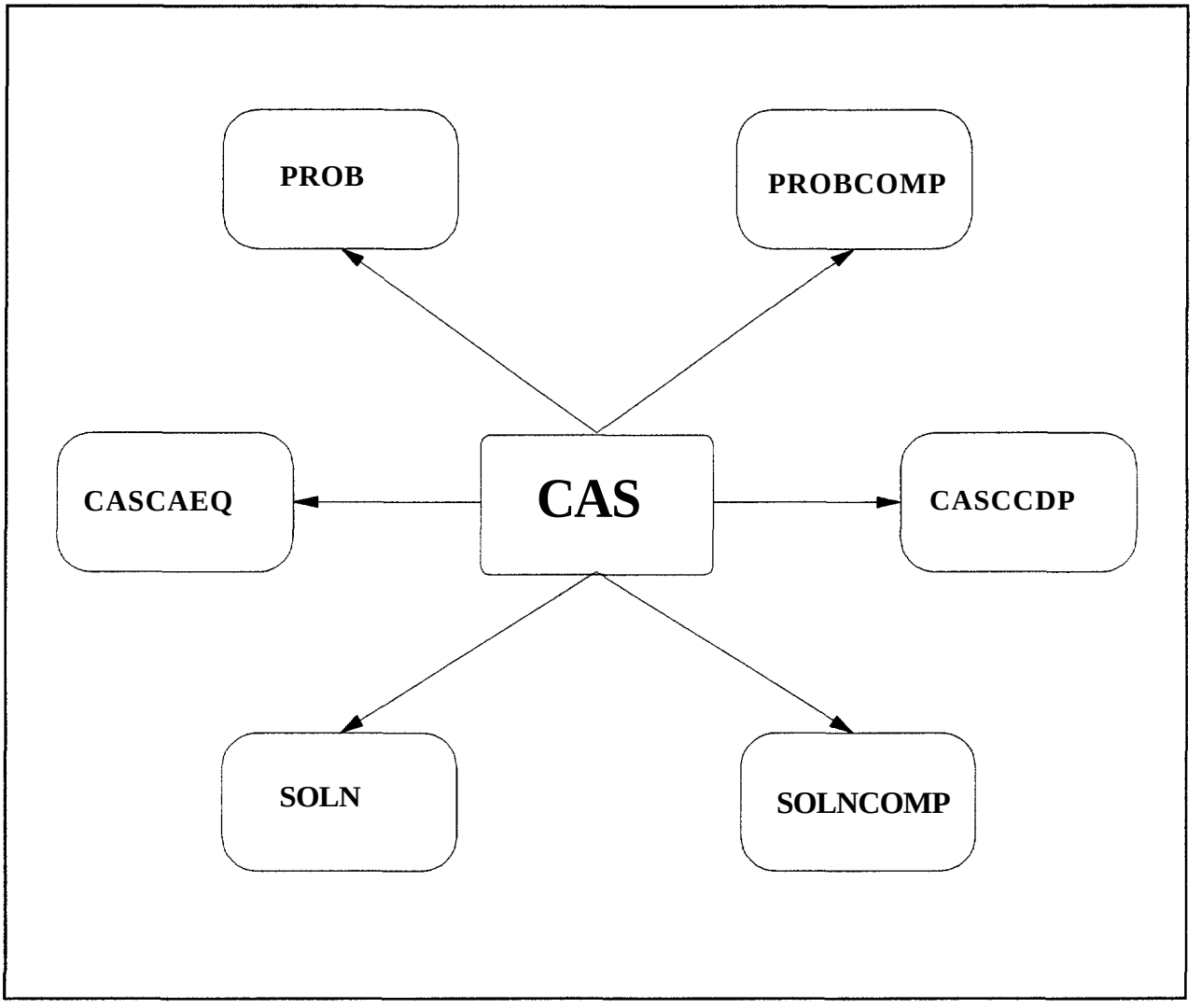
La complexité et la variété des données à inclure dans une telle banque nous a incité à choisir un modèle relationnel de base de données (relations un-à-un et un-à-plusieurs). Ce modèle a été mis en oeuvre à l'aide du logiciel Paradox[MD] pour Windows[MD] de Borland (Borland, 1993). La structure de la banque de données est présentée ci-dessous dans ce que nous appelons le dictionnaire des données.

Chaque fichier de données s'appelle une «table». On parle donc d'un modèle multitable. La figure A5.1 illustre le modèle conceptuel de la banque de données. Notre modèle comprend une table mère («Cas») et six tables enfants («Cascaeq», «Casccdp», «Prob», «Probcomp», «Soin», «Solncomp»). De plus, il y a deux tables de référence («Refcaeq», «Refccdp») qui servent à faciliter la recherche des codes de secteur économique et de profession (poste de travail).

Chaque enregistrement dans la table mère comprend un matricule qui sert de clef principale au modèle: c'est par le biais de ce champ que sont liées les six tables enfants à la table mère.

Figure A5.1

Modèle des données de la banque



A5.2 DICTIONNAIRE DES DONNÉES

Type: Ann: données textuelles d'une longueur maximale de «nn» caractères; *Mnn:* données textuelles d'une longueur variable, dont «nn» caractères sont affichés. Les champs-clef sont indiqués par un astérisque.

Table: CAS
Description: Table principale du modèle.
Tables enfants: CASCAEQ, CASCCDP, PROB, PROBCOMP, SOLN, SOLNCOMP

Variable	Type	Description	Tables reliées
No. enregistrement	A4*	Clef principale du modèle. Les «Sources» décrivant plus d'une situation problématique auront plusieurs «No. enregistrement» uniques.	CASCAEQ, CASCCDP, PROB, PROBCOMP, SOLN, SOLNCOMP
Type de document	A3	Type de document à partir duquel les informations pour cet enregistrement sont tirées. SUB: Articles de la base de données bibliographiques ENQ: Enquêtes	
Source	A4	Matricule du document	
Production	M25	Description brève des produits fabriqués par l'entreprise.	
Procédé	M25	Description du procédé où le solvant à remplacer est impliqué.	
Pièce/Matériau	M80	Matériau sur lequel le solvant est utilisé, et type de pièce.	
Équipement/Méthode	M80	Équipement ou méthode utilisé lors de l'emploi du solvant.	
Nom du Produit Prob	A50	Nom du produit (solvant) à remplacer.	Soeurs: PROB, PROBCOMP

Table: CAS (suite)

Variable	Type	Description	Tables reliées
Problème	M25	Problème résultant de l'emploi du solvant problématique.	
Nom du Produit Soln	A50	Nom du produit remplaçant le produit problématique.	Soeurs: SOLN, SOLNCOMP
Solution	M25	Solution retenue pour palier au «Problème».	
Résultats - Procédé	M25	Impact de la «Solution» sur la mise en oeuvre du procédé.	
Résultats - Intrants	M25	Impact de la «Solution» sur la nature ou la quantité de matières brutes utilisées.	
Résultats - Produit final	M25	Impact de la «Solution» sur la qualité ou la nature du produit final.	
Résultats - Finances	M25	Impact de la «Solution» sur les coûts directs ou indirects d'exploitation de l'entreprise.	
Résultats - Exposition	M25	Impact de la «Solution» sur l'exposition des travailleurs aux solvants.	
Résultats - Émissions Env	M25	Impact de la «Solution» sur les émissions environnementales de vapeurs ou de liquides.	
Résultats - Autre	M25	Autres impacts de la «Solution».	
Commentaires	M25	Remarques générales.	
Site	M25	Site (usine, entreprise....) où la substitution a eu lieu.	
Voir aussi	M25	Renvoi à d'autres sources d'informations connexes.	

Table: CASCAEQ
Description: Secteurs économiques visés par la substitution.
Table mère: CAS
Table de référence: REFCAEQ

Variable	Type	Description	Tables reliées
No. enregistrement	A4*	Clef principale du modèle.	Mère: CAS
Secteur économique	A4*	Code du secteur économique, selon la CAEQ, visé par la substitution. Un entreprise peut avoir plusieurs codes.	Référence: REFCAEQ

Table: REFCAEQ
Description: Table de référence pour les secteurs économiques.
Table référant: CASCAEQ

Variable	Type	Description	Tables reliées
Code CAEQ	A4*	Code numérique du secteur économique.	
Libellé	A170	Description du secteur économique.	

Table: CASCCDP
Description: Postes du travail visés par la substitution.
Table mère: CAS
Table de référence: REFCCDP

Variable	Type	Description	Tables reliées
No. enregistrement	A4*	Clef principale du modèle.	Mère: CAS
Poste de travail	A7*	Code du poste de travail, selon la CCDP, visé par la substitution. Un entreprise peut avoir plusieurs codes.	Référence: REFCCDP

Table: REFCCDP
Description: Table de référence pour les postes de travail.
Table référant: CASCCDP

Variable	Type	Description	Tables reliées
Code CCDP	A7*	Code numérique du poste du travail.	
Libellé	A170	Description du poste du travail.	
Rubrique	A2	Catégorie générale du poste du travail.	

Table: PROB
Description: Informations sur les produits à remplacer
Table mère: CAS
Table soeurs: PROBCOMP

Variable	Type	Description	Tables reliées
No. d'enregistrement	A4*	Clef principale du modèle.	Mère: CAS Soeurs: PROBCOMP
Nom du Fournisseur	A50	Nom du fournisseur du produit.	
Utilisation	A80	Utilisation.	
Commentaires	M25	Commentaires.	

Table: PROBCOMP
Description: Composition des produits à remplacer
Table mère: CAS
Table soeurs: PROB

Variable	Type	Description	Tables reliées
No. d'enregistrement	A4*	Clef principale du modèle.	Mère: CAS Soeurs: PROB
Ingrédient	A50*	Composant du produit. Un produit peut avoir plusieurs composants.	
Numéro du Chemical Abstracts Service	A12*	Numéro d'enregistrement de l'ingrédient	
Concentration	A10*	Concentration de l'ingrédient	

Table: SOLN
Description: Informations sur les produits substitutifs
Table mère: CAS
Tables enfants: SOLNCOMP

Variable	Type	Description	Tables reliées
No. d'enregistrement	A4*	Clef principale du modèle.	Mère: CAS Soeurs: SOLNCOMP
Nom du Fournisseur	A50	Nom du fournisseur du produit.	
Utilisation	A80	Utilisation.	
Commentaires	M25	Commentaires.	

Table: SOLNCOMP
Description: Composition des produits substitutifs
Table mère: CAS
Table soeurs: SOLN

Variable	Type	Description	Tables reliées
No. d'enregistrement	A4*	Clef principale du modèle.	Mère: CAS Soeurs: SOLN
Ingrédient	A50*	Composant du produit. Un produit peut avoir plusieurs composants.	
Numéro du Chemical Abstracts Service	A12*	Numéro d'enregistrement de l'ingrédient	
Concentration	A10*	Concentration de l'ingrédient.	

BIBLIOGRAPHIE

AAA (1992) **Substitution of Organic Solvents - The Danish Experience.** Aktionsgruppen Arbejdere Akademikere (Action Group Workers and Academics), Valby (Denmark)

ACGIH (1992) Méthylène Chloride. In: **Documentation of the Threshold Limit Values.** Sixth Edition, pp 981-987. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati

AIHA (1994) Workplace Environmental Exposure Level Guides: N-Methyl-2-Pyrrolidone. **American Industrial Hygiene Association Journal** 55(2): 176-177

AIHA (1993) Workplace Environmental Exposure Level Guides: d-Limonene. American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA.

Altpeter, J.; Andersen, S.O.; Cooper, M.; Eckersley, C.; Ferguson, L,; Guth, L.; Lichtenberg, L.; McNeil Jr, J.; Pillar, W.; Sterian, I.; Szymanowski, R.; Wade, Ft.; Zatz, M. (1993) **No-Clean Soldering to Eliminate CFC-113 and Methyl Chloroform Cleaning of Printed Circuit Board Assemblies.** United States Environmental Protection Agency (EPA-430-B93-005),Washington.DC

Amdur, M.O. (1991)/4/r *Pollutants.* In: **Casarett and Doull's Toxicology - The Basic Science of Poisons,** pp. 854-871. M.O. Amdur; J. Doull; C.D. Klaassen, Ed. Pergamon Press, New York

Andersson, I.M.; Niemalä, R.; Rosén, G.; Säämänen, A. (1993) Control of Styrène Exposure by Horizontal Displacement Ventilation. **Applied Occupational and Environmental Hygiene** 8(12): 1031-1037

Anderson, L. (1994) Centre de recherche industrielle du Québec, Communication personnelle avec René Garneau et Denis Bégin. Réunion le 28 septembre 1994

Andrews, L.S.; Snyder, R. (1991) *Toxic Effects of Solvents and Vapors.* In: **Casarett and Doull's Toxicology - The Basic Science of Poisons,** pp. 681-722. M.O. Amdur; J. Doull; C.D. Klaassen, Ed. Pergamon Press, New York

Anonyme (1993a) The Perfect Press: Printers' Point of View. From waterless to digital, these six printers air their views on the "perfect" press. **American Printer** 211(3): 65-67

Anonyme (1993b) For Aluminum Window/Door Fabricator: Powder Coating is Finish of Choice. **Plating and Surface Finishing** 80(7): 8-9

Anonyme (1993c) Putting the terpenes to work. **European Surface Treatment 3** (Spring): 43-44

Anonyme (1993d) The Perfect Press: Printers' Point of View. From waterless to digital, these six printers air their views on the "perfect" press. **American Printer** 211(31: 65-67

Anonyme (1993e) Pflanzenöl, ein Reinigungsmittel für den Offset, das sich mit der Umwelt "gut" verträgt (Vegetable oil, an environment-compatible cleaning agent for offset). **Man Roland Rev.** (30): 15

Anonyme (1992a) Hybrid PU Cuts Styrène Levels. **Reinforced Plastics** 36(3): 12

Anonyme (1992b) Removing the Water Easily. **Graphic Arts Monthly** 64(4): 44

Anonyme (1992c) Surface treatment and cleaning in the aircraft industry. **European Surface Treatment** 2(Autumn): 7-8, 10-12

Anonyme (1992d) An alternative to laminating with solvent-based adhesives. **Euro Flexo Magazine** (October): 31

Anonyme (1990a) Fountain Solutions for Lithographic Printing. **Research Disclosure** (315}: 539

Anonyme (1990b) PMS and VT Vie for Markets Held by Styrène Monomer. **Chemical Marketing Reporter** 238(11: 13-14

Anonyme (1990c) Gamma-Butyrolactone. In: **Toxicological Evaluations 1. Potential Health Hazards of Existing Chemicals,** pp. 133-153. BG Chemie, Ed. Springer-Verlag, Berlin

Anonyme (1989) *N-Methylpyrrolidone.* In: **Solvents,** pp. 242-244. D. Walsh, Ed. The Royal Society of Chemistry, Nottingham, UK

Anonyme (1988) Styrène in Paint Challenged; Vinyltoluene and PMS Touted. **Chemical Marketing Reporter** 234(25): 12-13

Anonyme (1983a) Safer parts finishing cuts cost. **American Machinist** 127(21: 82-83

Anonyme (1983b) Substitution of hazardous glycol ethers in marine paints. **Health and Safety Bulletin (Australia)** (34): 1-3

Anonyme (1980) LSE capability with good interlaminar adhesion. **Reinforced Plastics** 24(31: 72-73

Anonyme (1979) Cost Efficiency is Bonus in RP Resins Developed to Cut Styrène Emissions. **Modern Plastics** 56(12): 38-41

Ansell, J. M. (1982) *The use of solvent substitution as a method for improving health and safety.* In: **Safe use of solvents,** pp. 269-281. A. J. Collings; S. G. Luxon, Ed. Academic Press, London, UK

Archer, W. L. (1992) Using the Hansen solubility parameter theory in reformulating solvent-based coatings. **American Paint & Coatings Journal** 76(391: 38-46

Arndt, S. C. *(1991) An Alternative to Méthylène Chloride for Removal of Lead-based Paint.* In: **Reducing Risk** in Paint Stripping, Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 195-196. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Athey, C.; Hester, C.; McLaughlin, M.; Neulicht, R. M.; Turner, M. B. (1988) **Reduction of Volatile Organic Compound Emissions from Automotive Refinishing.** Control Technology Center; U. S. Environmental Protection Agency (EPA-450/3-88-009), Research Triangle Park, N. C.

Aubert, J. S. (1993) "Green" protective coatings. **Polymers Paint Colour Journal** 183(43241: 105

Axelson, O; Hogstedt, C. (1994) *The Health Effects of Solvents.* In: **Occupational Medicine,** pp. 764-778. C. Zenz; O. B. Dickerson; E. P. Horvath, Ed. Mosby-Year Book, St-Louis

Barnett, K. W.; Most, C. E. (1989) **Ultrasonic Cleaning of Rotogravure Cylinders.** United States Environmental Protection Agency; Control Technology Center (EPA-450/3-89-024), Research Triangle Park, NC

Basu, R. S.; Logsdon, P. B.; Kenny-McDermott, E. M. (1990) *Alternatives to CFCs in Precision Cleaning: A New HCFC Based Solvent Blend.* In: **The First International Workshop on Solvent Substitution,** Phoenix, AZ, 4-7 December 1990, pp. 184-191. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ, 1993

Baxter, B.; Karmali, A.; Riza, F.; Stemniski, J.; Stephenson, R.; Szymanowski, R.; Vickers, D.; Woodwell, B.; Andersen, S.O. (1991) **Eliminating CFC-113 and Methyl Chloroform in Precision Cleaning Operations.** United States Environmental Protection Agency (EPA/400/1-91/018), Washington, DC

Beaud, M.; Beaud, C.; Bouguerra, M.L., Ed. (1993) **L'État de l'environnement dans le monde.** Éditions La Découverte, Paris

Bégin, D. (1989) Les banques de données informatiques en hygiène du travail. **Travail et Santé** 5{4):S25-S31

Bégin, D. (1988) **Étude sur l'évaluation de l'exposition professionnelle aux produits chimiques dans le secteur de l'imprimerie.** Mémoire de maîtrise en hygiène du travail et de l'environnement. Université de Montréal, Montréal

Bernstone, K. (1993) The impact of VOCs on solvents selection. **Polymers Paint Colour Journal** 183(4330):290

Berselli, J. (1993) **Statistiques sur les produits utilisés par les manufacturiers québécois 1990.** Bureau de la statistique du Québec, Québec

Bisesi, M.S. (1994) Esters. In: **Patty's Industrial Hygiene and Toxicology.** Volume II, Part D, Toxicology, pp. 3058-3059, 3062. G.D. Clayton, F.E. Clayton, Ed., John Wiley & Sons, New York

Bisson, M. (1986) **Introduction à la pollution atmosphérique.** Les Publications du Québec, Québec

Borland (1993) **Paradox^{MD} pour Windows^{MD} version 4.5.** Borland International Inc., Scotts Valley, CA

Bost, J. (1985) Matières **plastiques I. Chimie - Applications.** Technique et Documentation (Lavoisier), Paris

Bouchard, A.; Guillemette, M.; Lemieux, C. (1994a) *L'annexe A du Règlement sur la qualité du milieu de travail : cuvée paritaire 1993.* In: **Créer le futur... 16^{e} Congrès de l'AHIQ,** Québec, 4-6 mai 1994, pp. 30-37. Association pour l'hygiène industrielle au Québec, Montréal, 1994

Bouchard, A.; Guillemette, M.; Lemieux, C. (1994b) La première révision de l'annexe A du Règlement sur la qualité du milieu de travail. **Travail et santé** 10(2):41-44

Bouchard, M. (1993) **Mémoire sur la réduction des émissions de composés organiques volatils (COV) dans l'industrie du meuble au Québec.** Centre de recherche industrielle du Québec, Sainte-Foy

Bradley, K.; Hager, F. (1990) A change for the better; How to replace hazardous materials with less dangerous substitutes. **Occupational Health and Safety CANADA** 6(5):86-88, 90, 92

Brown, L.M.; Springer, J. (1992) Chemical substitution for 1, 1, 1-trichforoethane and methanol in an industrial cleaning operation. **Journal of Hazardous Materials** 29:179-188

Buehner, R.W. (1990) *Waterborne Epoxy Dispersions as Latex Modifiers.* In: **Nonwovens Conference,** Marco Island, FL, pp. 261-270. TAPPI Press, Atlanta, GA, 1990

Bureau de la statistique du Québec (1984) **Classification des activités économiques du Québec.** Les Publications du Québec, Québec

Byland, L. (1993) UV flexographic inks: basic principles explained. **Labels & Labelling** 15(2):32, 34

Camford (1991) **Study on the Identification of Solvent Users and their VOC Emissions on Canada.** Camford Information Services Inc, Don Mills

Cammarata, D.; Lajoie, A.; Ménard, L; Ostiguy, C. (1994) **Présentation des résultats d'analyses produits en 1992.** Institut de recheche en santé et en sécurité du travail du Québec, Montréal

Campbell, M. E.; Glenn, W. M. (1982) **Profit from Pollution Prévention: A Guide to Industrial Waste Reduction & Recycling.** Pollution Probe Foundation, Toronto

Carnes, R. M. (1991) *The Good, the Bad, and the Ugly - But, for a Few Dollars More...* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 105-116. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Carter, T. (1991) *Resins for the Electrical Industry enter a new phase.* In: **The Paint Directory,** pp. 9-11. Oil and Colour Chemists' Association, Wembley, UK

Cazalas, F.; Gautron, R. (1993) *Les technologies propres.* In: **Maîtriser les pollutions,** pp. 187-188. Les éditions de l'environnement, Paris

CCHST (1994) SOLUTIONS, in: OHS Publications CD-ROM. Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail, Hamilton.

CCME (1994) **Programme visant à réduire de 40 p. 100 les émissions de composés organiques volatils provenant d'adhésifs et d'agents d'étanchéité.** Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg

CCME (1993) **Plan de réduction destiné à diminuer de 20% les émissions de COV provenant des revêtements de surface vendus au détail.** Environnement Canada; Direction de l'évaluation des produits chimiques commerciaux; Groupe de travail de l'Initiative V101 du Plan de gestion des NOx/COV, Ottawa

CCME (1990) **Plan de gestion pour les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV) - Phase I.** Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg

CEE (1990) Directive du Conseil, du 28 juin 1990, concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes au travail (90/394/CEE). **Journal officiel des Communautés européennes 33**(L196/26juillet):1-7

Champagne, D. (1994) Initiatives québécoises pour la protection de la couche d'ozone. **Chimiste 9(1): 5-10**

Charretton, M. (1987) Peinture en phase aqueuse (ou peintures à l'eau): Composition, risques toxicologiques, mesures de prévention. **Cahiers de notes documentaires 128:** 417-428

Cicolella, A. (1992) Les éthers de glycol - État actuel des connaissances - Perspectives de recherche. **Cahiers de notes documentaires 148**: 359-378

Cohr, K. H. (1985) *Definition and Practical Limitation of the Concept of Organic Solvents.* In: **Chronic Effects of Organic Solvents on the Central Nervous System and Diagnostic Criteria,** pp. 43-55. World Health Organization - Regional Office for Europe, Copenhagen

Cognard, P.; Pardos, F. (1982) **Le collage industriel.** Les Éditions de l'Usine Nouvelle, Paris

Copeland, A. E. (1990) *Biodegradable Solvent Substitution.* In: **The First International Workshop on Solvent Substitution,** Phoenix, AZ, 4-7 December 1990, pp. 114-117. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ, 1993

CPST (1987) **Opération Bilan 1987. 6: Portrait de l'exposition des travailleurs aux facteurs de risque: Dans les groupes prioritaires I et II.** Association des Hôpitaux du Québec; Division de la santé communautaire; Comité provincial en santé au travail, Montréal

Crandall, M.S.; Hartie, R.W. (1985) An Analysis of Exposure to Styrène in the Reinforced Plastic Boat-Making Industry. **American Journal of Industrial Medicine 8:** 183-192

Cross, L; Ynostroza, R. {1993a) Ink, Temp Systems Advance Waterless. **Graphic Arts Monthly 65**(6):53-54,57

Cross, L.; Ynostroza, R. (1993b) Rising Tide Lifts Web Hopes. **Graphic Arts Monthly 65**(10):35-36,39

Cross, L; Ynostroza, R. (1993c) Watershed Year For Waterless. **Graphic Arts Monthly 65**(2):51-53

Cross, L.; Ynostroza, R. (1993d) Will Waterless Dot Gain Measure Up? **Graphic Arts Monthly 65**(8):63-65

Cross, L. (1992a) Waterless Ignites Renewed Interest. **Graphic Arts Monthly 64**(4):38-40

Cross, L. (1992b) Widening Interest In Waterless. **Graphic Arts Monthly 64**(9):76,78,81-82

CUM (1988) **Règlement relatif aux rejets des eaux usées dans les réseaux d'égout et des cours d'eau (Règlement 87)**. Communauté urbaine de Montréal, Montréal

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

Daigneault, R. (1994) *Les matières dangereuses.* In: **L'environnement au Québec,** pp. 7001-7267. R. Daigneault; M. Paquet, Ed. Les Publications CCH/FM Ltée, Farnham

De Craecker, I.W. (1986) Les peintures, vernis, colles, encres et composants. **Promosafe** (3):215-298

Devost, A. (1982) **L'imprimerie au Québec.** Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, Montréal

Duffy, M.J. (1979) Reducing Styrène Emission from Unsaturated Polyester. **Plastics Engineering 35**(8):33-35

Dufour, A. (1994) Ministère de l'industrie, du commerce et de la technologie du Québec, Communication personnelle avec Denis Bégin et René Garneau. Réunion le 13 octobre 1994.

DWES (1993a) **Executive Order No. 301 of 13 May 1993 on the Determination of Code Numbers.** Arbejdstilsynet (Danish Working Environment Service), Copenhagen

DWES (1993b) **Executive Order No. 302 of 13 May 1993 on Work with Code-numbered Products.** Danish Working Environment Service (Arbejdstilsynet), Copenhagen

Earner, M. (1994) La lithographie sans eau. **Le maître imprimeur 58(1)**:27-30,41

Ellis, W.E. (1986) **Solvents.** Ed. D. Brezinski; T.J. Miranda, Federation of Societies for Coatings Technology, Philadelphia

Energy Pathways Inc. (1994) **L'élimination progressive du méthylchloroforme au Canada: Les étapes à entreprendre afin de minimiser les difficultés de transition.** Environnement Canada; Division de l'évaluation des produits chimiques commerciaux; Programme de protection de la couche d'ozone, Ottawa

Energy Pathways Inc.; H.W. Quinn Associates (1993) **Reference Document: VOC Emissions from Solvent Degreasing.** Environment Canada; Chemical User Industries Section; Chemical Industries Division; Industrial Sectors Branch; Environmental Protection Service, Hull

ENQXXX: Réfère à des cas concrets de substitution obtenus dans le cadre de l'enquête auprès des hygiénistes du réseau public de santé au travail du Québec (voir annexe 2)

Environment Canada (1994) **NOx/VOC Management Plan. Initiative V104: A Reduction Plan to Reduce VOC Emissions by 20% from Miscellaneous Commercial & Industrial Solvent Use. Report of the Task Force Submitted to the CCME.** Environment Canada; Chemicals Control Division; Commercial Chemicals Evaluation Branch, Ottawa

Environnement Canada (1994) **Programme canadien de protection de la couche d'ozone - Sommaire.** Environnement Canada (No de catalogue: En40-442/1994), Ottawa

Environnement Canada (1993) **Liste des alternatives aux substances appauvrissant la couche d'ozone et de leurs fournisseurs.** Section des programmes de protection de l'ozone; Direction de l'évaluation des produits chimiques commerciaux; Environnement Canada, Ottawa

Environnement Canada (1993a) **PCE-44-92: Adhésifs.** Environnement Canada; Programme Choix environnemental, Ottawa

Environnement Canada (1993b) Règlement no. 4 sur les substances appauvrissant la couche d'ozone (tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone) et 1, 1, 1-trichloroéthane (méthylchloroforme)). **Gazette du Canada - Partie II 127**(10): 2243-2296

Environnement Canada (1992) **PCE-12-89: Peintures: Peintures à base de solvant.** Environnement Canada; Programme Choix environnemental, Ottawa

Environnement Canada (1991) **L'État de l'environnement au Canada.** Gouvernement du Canada; Ministre des Approvisionnement et Services Canada, Ottawa

Environnement Canada; J.E. Hanna Associates Inc. (1987) **Aperçu de l'industrie canadienne des traitements de surface: État de l'industrie et mesures de lutte contre la pollution.** Ministère des Approvisionnements et Services Canada, Ottawa

Farhi, R.; Morel, C.; Chéron, J. (1986) **Matières plastiques et adjuvants: Hygiène et sécurité.** Institut national de recherche et de sécurité, Paris

Fauner, G.; Endlich, W. (1984) **Manuel des techniques de collage.** Soproge, Paris

Ferrier, P. (1991) *New Hot Melt Technologies Offer More Choices in Building Components Assembly.* In: **Hot Melt Symposium**, Hilton Head, NC, pp. 125-128. TAPPI Press, Atlanta, GA, 1991

Filskov, P.; Goldschmidt, G.; Hansen, M.K.; Höglund, L; Johansen, T.; Pedersen, C.L.; Wibroe, L. (1989) **Substitution in practice: Company Health Service experiences (Substitution i praksis - erfaringer fra BST).** Working Environment Fund (Arbejdsmiijofondet), Copenhagen

Flick, E. W. (. (1991) **Industrial Solvents Handbook.** Noyes Data Corporation, Park Ridge, N. J.

Forbes, S. (1993) *Substituting for Hazardous Substances.* In: **Occupational Health and Safety '93,** Toronto, Environment Canada - Great Lakes Pollution Prevention Centre, Sarnia, 1993

Fourez, M.; Gheno, F.; White, P.E. (1993) The Application of Zinc-Aluminium Flake Non-electrolytic Surface Coating. **Trans. Inst. Metal Finish. 71**(1): 21-25

Frangos, S.A.; Peters, J.M. (1993) Chlorinated Hydrocarbon Solvents: Substituting Our Way Towards Human Carcinogenicity. **American Journal of Industrial Medicine 24**(4): 355-364

FRGME (1986)Zweite Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen - 2. BlmSchV) - 21 April 1986 (Order on Limitation of Emission of Volatile Chlorohydrocarbons). **Bundesgesetzblatt Teil I (Bonn)** (17 / 30 April 1986): 571-574

Full, J.A. (1991) *The Facts Regarding Alternative Adhesive Technologies Used to Reduce Volatile Organic Compound Emissions.* In: **Polymers, Laminations and Coatings Conference,** San Diego, CA, pp. 405-408. TAPPI Press, Atlanta, GA, 1991

Gagnon, C. (1994) **Rapport annuel de la qualité de l'air - Sommaire des résultats - 1993.** Communauté urbaine de Montréal; Service de l'environnement; Direction de l'assainissement de l'air et de l'eau, Montréal

Gaines, H. (1993) Resins on the move: Developments in ink making are spurring resin producers to new heights. **American Ink Maker 71** (9): 18-20

Gallagher, P.M.; Krukonis, V.J. (1990) *Precision Parts Cleaning with Supercritical Carbon Dioxide.* In: **The First International Workshop on Solvent Substitution,** Phoenix, AZ, 4-7 December 1990, pp. 76-87. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ, 1993

Gamble, A.A. (1986) *Radiation Curable Offset Inks: A Technical and Marketing Overview.* In: **Radiation Curing of Polymers,** University of Lancaster, pp. 48-77. Ed. D.R. Randell, Royal Society of Chemistry, London, 1987

Gardner, L.C.; Huisingh, D. (1987) Waste Reduction Through Material and Process Substitution: Progress and Problems Encountered in Industrial Implementation. **Hazardous Waste & Hazardous Materials 4**(1): 23-33

Gashlin, K.; Watts, D.J. (1992) **Waste Reduction Activities and Options for an Autobody Repair Facility. U. S.** Environmental Protection Agency; Risk Reduction Engineering Laboratory (EPA-R-815165; EPA/600/S-92/043), Cincinnati

Gauvin, R. (1991) **Étude du procédé RTM comme alternative au moulage par contact dans l'industrie du plastique renforcé. Rapport final.** Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, Montréal

Gennart, J.P.; Lauwerys, R. (1990) Les risques toxicologiques en imprimerie. **Archives des maladies professionnelles 51**(1): 47-54

Gérin, M. (1993) *Prévention et surveillance biologique de l'exposition. La place de la surveillance biologique de l'exposition dans la démarche de prévention des effets toxiques en milieu de travail.* In: **Surveillance biologique de l'exposition des travailleurs,** Montréal, 25-26 mars 1993, pp. 1-8. Université de Montréal; Département de médecine du travail et hygiène du milieu, Montréal, 1993

Geuskens, R.B.M.; van der Klaauw, M.M.; van der Tuin, J.; van Hemmen, J.J. (1992) Exposure to Styrène and Health Complaints in the Dutch Glass-Reinforced Plastics Industry. **Annals of Occupational Hygiene 36**(1): 47-57

Gindre, A. (1991) Evolution de peintures en milieu solvant vers une moindre toxicité et un moindre impact sur l'environnement. **Double Liaison - Chimie des Peintures 38**(427-428): 17-21

Goldschmidt, G. (1993a) An Analytical Approach for Reducing Workplace Health Hazards through Substitution. **American Industrial Hygiene Association Journal 54**(1): 36-43

Goldschmidt, G.; Olsen, E.; Svane, 0. (1993b) On the Substitution of Carcinogens in the Working Environment. **Pharmacology & Toxicology 72** (Supplement 1): 139-143

Gouvernement du Canada (1994) **Document de travail consolidé: Règlement concernant la sécurité et la santé au travail pris en vertu de la Partie II du Code canadien du travail et Règlement concernant les comités de sécurité et de santé et les représentants à la sécurité et à la santé.** Développemnt des ressources humaines Canada, Ottawa

Gouvernement du Québec (1995) **Projet de règlement modifiant le règlement sur la qualité de l'atmosphère (R.20).** Version technique finale. Direction de la coordination réglementaire. Direction générale des politiques. Ministère de l'Environnement et de la Faune.

Gouvernment 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 (erratum: Gazette officiele du Québec 126 (39): 5749-5757)

Gouvernement du Québec (1993) **Règlement sur la qualité de l'atmosphère (c. Q-2, r.20).** Éditeur officiel, Québec

Gouvernement du Québec (1986) **Loi sur la santé et la sécurité du travail (L.R.Q., chapitre S-2.1).** Éditeur officiel, Québec

Gouvernement du Québec (1983) **Règlement sur les établissements industriels et commerciaux (R.R.Q., c. S-2.1,** r. 9). Éditeur officiel, Québec

Green, D.A.; Northeim, C.M. (1992) Alternate **VOC Control Technique Options for Small Rotogravure and Flexography Facilities.** United States Environmental Protection Agency; Control Technology Center (EPA-600/R-92-201), Research Triangle Park.NC

Hacker, D.M.; Cassaday, V.; Flack, J.R. (1993) **Report on the Canadian Coatings Industry.** Ortech International, Mississauga

Hague, J. (1991) European solution to the challenge of industrial degreasing. **European Surface Treatment** 1(1):26-27

Hague, J.; Heckendorn, R. (1989) An Environmental Cloud with a Silver Lining. **Finishing** 13(12):21-23

Hart, J. (1990) The radiation curing of polymers. **Paint & Ink International** 3(4):8, 10-11

Hartsuch, P.J. (1979) **Chemistry for the Graphic Arts.** Graphic Arts Technical Foundation, Pittsburgh

Hendriksen, K.; Parking, J.; Haagensen, S. (1990) Soya-bean oil as a cleaning agent for offset printing presses. **Advances in printing science and technology 20:** 111-117

Hestar, C.I.; Nicholson, R.L. (1989) **Powder Coatings Technology Update.** United States Environmental Protection Agency; Control Technology Center (EPA-450/3-89-33), Research Triangle Park,N.C.

Hirsch, A. (1991) *Ultra High-pressure Water for Paint Removal in the Original Equipment Manufacturing Sector.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington,DC, 12-13 February 1991, pp. 59-61. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Hoffman, W.E.; Miles, D.E. (1992) UV Light-Cured PSAs Provide Application Alternatives. **Adhesives Age** 35(4):20,22-24

Holman, R. (1992) *Solutions Without Solvents and the Radcure Alternative.* In: **Second Asia-Pacific Conference on Advances in Coatings, Inks and Adhesives Technology,** Singapore, pp. 1-15. Paint Research Association, Teddington, U.K., 1992

Howard, P.H. (1993) **Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals. Volume IV: Solvents 2.** Lewis Publishers, Chelsea, Mi.

Howard, P.H. (1990) **Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals. Volume II: Solvents.** Lewis Publishers, Chelsea, Ml.

Hoy, K.; Pelgrims, J. (1991) *Unicarb™ System for Spray Coatings: A Contribution to Pollution Prevention.* In: **XIX[e] AFTPV Congress: Eurocoat 91,** Nice (France), pp. 122-130. Association française des techniciens de peinture et vernis, 1991

HSE (1994) **7 Steps to Successful Substitution of Hazardous Substances.** United Kingdom Health and Safety Executive, HSE Books, Sudbury, Suffolk, UK

Huang, E.W. (1994) *Research, Development, and Demonstration of Zero-VOC Wood Coatings.* In: **First North American Conference & Exhibition on Emerging Clean Air Technologies and Business Opportunities,** Toronto, 26-30 September 1994, pp. 1-9.

Huisingh, D. (1989) Cleaner technologies through process modifications, material substitutions and ecologically based ethical values. **UNEP Industry and Environment** 12(1): 4-8

Huisingh, D.; Martin, L.; Hilger, H.; Seldman, N. (1986) Proven **Profits from Pollution Prevention: Case Studies in Resource Conservation and Waste Reduction.** Institute for Local Self-Reliance, Washignton, D.C.

Hunt, B. (1993) Plates and platemaking: creating the right image. **Labels & Labelling** 15(1): 22, 24

IARC (1995), **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans,** Vol 63, International Agency for Research on Cancer, Lyon (sous presse).

IARC (1994a) *Styrène.* In: **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans,** Vol. 60, pp. 233-320. International Agency for Research on Cancer, Lyon

IARC (1994b) Vinyl Toluene. In: **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans,** Vol. 60, pp. 373-388. International Agency for Research on Cancer, Lyon

IARC (1993) d-Limonene. In: **IARC Monagraphs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans,** Volume 56, pp. 135-162. International Agency for Research on Cancer, Lyon

IARC (1989) *Occupational Exposures in Paint Manufacture and Painting.* In: **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans,** Vol. 47,
pp. 329-442. International Agency for Research on Cancer, Lyon

ICOLP (1993) Eliminating CFC-113 and Methyl Chloroform in Aircraft Maintenance Procedures. Industry Cooperative for Ozone Layer Protection; United States Environmental Protection Agency (EPA-430-B-93-006), Washington, DC

Ikeda, M. (1992) Public health problems of organic solvents. **Toxicology Letters** 64/65: 191-201

INRS (1989) **Guide Pratique de ventilation: 3. Mise en oeuvre manuelle des polyesters stratifiés.** Institut National de Recherche et de Sécurité (ED 665), Paris

Ivey, R.B. (1990) *Carbon Dioxide Pellet Blasting Paint Removal for Potential Application on Warner Robins Managed Air Force Aircraft.* In: **The First International Workshop on Solvent Substitution,** Phoenix, AZ, 4-7 December 1990, pp. 88-91. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ, 1993

Jackson, H.L. (1991) *DBE-based Stripper Formulations.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping**, Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 173-176. Economies and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Jackson, H.L. (1991) Reduce environmental concerns with DBE dibasic esters. **Polymers Paint Colour Journal 181**(4290):503-504

Jacobsen, T.; Hendriksen, K. (1994) *Barriers to Substitution of Organic Solvents with Less Toxic Agents in the Graphic Arts.* In: **International Symposium on Health Hazards of Glycol Ethers**, Abbaye de Pont-à-Mousson, Nancy, France, Ed. A. Cicolella, Institut National de Recherche et de Sécurité, Paris, 1994

Jacobsen, T.; Hendriksen, K. (1993) *Substitution of Organic Solvents in Offset Printing Shops.* In: 24th International Congress on Occupational Health, Nice, 26 sept. - 1 oct. 1993, pp. 289. Ed. J. Bertran, International Commission on Occupational Health, Paris, 1993

Johnson, P. (1991a) *Alternative Technologies to Replace the Regulated Solvents for Cleaning, Adhesives and Coatings (Document No. 15).* In: **United Nations Environment Programme Workshop on the Implementation of the Montreal Protocol for the Protection of the Ozone Layer**, Heliopolis/Cairo-Egypt, 9-12 December 1991, United Nations Environment Programme, Industry and Environment Programme Activity Centre, Paris, 1991

Johnson, S. (1991b) *Woodfinisher's Pride: An Alternative to Current Chemical Paint Stripper* **In: Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 185-190. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Johnson, D.H.; Patton, R.L.; Thompson, L.M. (1990) *The Elimination of Chlorinated, Chlorofluorocarbon, and other RCRA Hazardous Solvents from the Y-12 Plant's Enriched Uranium Operations.* In: **The First International Workshop on Solvent Substitution,** Phoenix, AZ, 4-7 December 1990, pp. 120-125. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ, 1993

Juntunen, J. (1993) Neurotoxic Syndromes and Occupational Exposure to Solvents. **Environmental Research 60**(1):98-111

Kalliokoski, P.J.; Säämänen, A.J.; Ivalo, L.M.; Kokotti, H.M. (1988) Exposure to Styrène Can Be Controlled. **American Industrial Hygiene Association Journal 49**(1):6-9

Kalliokoski, P.; Koistinen, T.; Jääskeläinen, M. (1982) *Prevention of Styrène Hazards - Hygienic Approach.* In: **International Symposium on Occupational Hazards Related to Plastics and Synthetic Elastomers**, Espoo, Finland, 22-27 November 1982, pp. 279-286. Ed. J. Jharvisalo; P. Pfäffli; H. Vainio, Alan R. Liss, New York, 1984

Karlberg, AT.; Shao, L.P.; Nilsson, U.; Gafvert, E.; Nilsson, J.L.G. (1994) Hydroperoxides in oxidized d-limonene identified as potent contact allergens. **Archives of Dermatological Research 286**(2):97-103

Karlberg, AT.; Lindell B. (1993) Limonene. Arbete Och Hälsa (35): 207-246

Karlberg, AT.; Boman, A.; Melin, B. (1991) Animal experiments on the Allergenicity of d-limonene -The citrus solvent. **Annals of Occupational Hygiene 35**(4):419-426

Kelsey, J.R.; Lyons, D.; Smithey, S.R. (1991) The replacement of aromatic solvents in surface coatings: Eliminating the need for toluene? **Journal of the Oil and Colour Chemists' Association 74**(8):278-283, 287

Kennedy, M.L. (1994) Getting to the Bottom Line: How TCA Shows the Peal Cost of Solvent Substitution. **Pollution Prevention Review 4**(2): 155-164

Kiefer M.; Bresler F., Sallisburg, S. (1993) NIOSH Health Hazard Evaluation Report HETA 92-0101-2341. Robins Air Force Base, Warner Robins, GA. National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH

Kirsch, F.W.; Looby, G.P. (1992a) **Waste Minimization Assessment for a Manufacturer of Aluminum Extrusions.** United States Environmental Protection Agency; Risk Reduction Engineering Laboratory (EPA600/S-92/010), Cincinnati, OH

Kirsch, F.W.; Looby, G.P. (1992b) **Waste Minimization Assessment for a Manufacturer of Military Furniture.** United States Environmental Protection Agency; Risk Reduction Engineering Laboratory (EPA/600/S-92/017), Cincinnati, OH

Kirsch, F.W.; Looby, G.P. (1992c) **Waste Minimization Assessment for a Manufacturer of Motor Véhicule Exterior Mirrors.** United States Environmental Protection Agency; Risk Reduction Engineering Laboratory (EPA/600/S-92/020), Cincinnati, OH

Kirschner, E.M. (1994) Environment, Health Concerns Force Shift In Use Of Organic Solvents. **Chemical & Engineering News** 72(25): 13-20

Koelsch, J.R. (1992) Clean or Green? **Manufacturing Engineering** 108(3): 75-78

Koenig, U.; Zwecker, J.; Chaneliere, P. (1990) La protection de l'environnement dans la transformation des thermodurcissables. **Composites** 30(4): 97-99

Konopka, J.E. (1991) *Use of Plastic Media Stripping in Original Equipment Manufacturers' Applications.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 53-58. Economies and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Kreneck, L. (1989) Water-Based Screenprinting. **School Arts 89**(3): 18-19

Laden, F.; Gray, G.M. (1993) Toxics Use Reduction: Pro and Con. **Risk - Issues in Health & Safety** 4: 213-234

Laforest, J.C.; Mahieu, J.C. (1981) Mise en oeuvre des polyesters stratifiés. **Cahiers de notes documentaires** (102): 73-77

Larson, N. (1990) *Low Toxicity Paint Stripping of Aluminum and Composite Substrates.* In: **The First International Workshop on Solvent Substitution,** Phoenix, AZ, 4-7 December 1990, pp. 50-75. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ, 1993

Lea, C. (1993) Metal and precision cleaning without ozone-depleting solvents. **Finishing 17**(3): 20-24

Lea, C. (1991) *The Replacement of CFC-113 in the Electronics Assembly Sector (Document No. 16).* In: **United Nations Environment Programme Workshop on the Implementation of the Montreal Protocol for the Protection of the Ozone Layer,** Heliopolis/Cairo-Egypt, 9-12 December 1991, United Nations Environment Programme, Industry and Environment Programme Activity Centre, Paris, 1991

Leleu, M. (1980) Peintures à solvants: Composition et risques toxicologiques. **Cahiers de notes documentaires** 98: 53-62

Lenz, R.; Oestreich, J. (1991) *Envirostrip Starch Blast Media - A Safe, Economical Alternative to Méthylène Chloride Strippers.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 93-94. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Libner, L. **(1994) Newsletter-Subsprint project-Second Issue (April).** Kooperationsstelle, Hamburg

Libner, L.; Thormählen, H.; Westphal, U.; Hendriksen, **K. (1993) Newsletter-Subsprint project-First Issue (July).** Kooperationsstelle, Hamburg

Liebe, K. (1986) Contribution du photodurcissement à la transformation peu polluante des résines UP. **Composites 26**(3): 91-96

Long, D.; Barush, J. (1993) New formulations and films widen water-based adhesive appeal. **Canadian Packaging 46**(5):37-38

Looby, G.P.; Kirsch, F.W. (1992a) **Waste Minimization Assessement for a Manufacturer of Components for Automobile Air Conditioners.** United States Environmental Protection Agency; Risk Reduction Engineering Laboratory (EPA/600/S-92/009), Cincinnati, OH

Looby, G.P.; Kirsch, F.W. (1992b) **Waste Minimization Assessment for a Manufacturer of Sheet Metal Cabinets and Precision Metal Parts.** United States Environmental Protection Agency; Risk Reduction Engineering Laboratory (EPA/600/S-92/021), Cincinnati, OH

Looby, G.P.; Kirsch, F.W. (1992c) Waste **Minimization Assessment for an Aluminum Extrusions Manufacturer.** United States Environmental Protection Agency; Risk Reduction Engineering Laboratory (EPA600/S-92/018), Cincinnati, OH

Lowell, J.H. (1985) *Coatings.* In: **Encyclopedia of Polymer Science & Engineering,** Volume 3, pp. 615-675. H. Mark; N. Bikales; C. Overberger; G. Menges, Ed. John Wiley & Sons, New York

Mahieu, J.C. (1994) Dégraissage des métaux: Choix des techniques et des produits (Fiche pratique de sécurité ED 48). **Travail et Sécurité** 521: 125-128

Machin, F. D. P. (1992) The Effects of Environmental Issues on the Screen Process. **Screen Process 42**(1): 14-16

Madé, B. (1994) Le programme canadien de protection de la couche d'ozone. **Chimiste 9**(1): 12-15

Makhlouf, J. (1982) *Polyesters unsaturated.* In: **Encyclopedia of Chemical Technology,** pp. 575-594. M. Grayson, Ed. John Wiley and Sons, New York

Maltby, P. (1992) The Efficient Use of Aqueous Cleaning for Precision Components. **Metal Finishing 90**(8): 17-20

Marbek Resource Consultants (1993) **Industrial Cleaners/Degreasers for Plant and Equipment Maintenance (Draft).** Environmental Choice Program/Environment Canada, Ottawa

Mathur, A.N. (1991) *Cryogenic Paint Stripping.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 50-52. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Materazzi, A.R. (1990) **Alcohol Substitutes Find Increased Acceptance: If At First You Don't Succeed, Try Again.** National Association of Printers & Lithographers (NAPL Special Report No. S270), Teaneck, NJ

Materazzi, A.R. (1987) **What's being done to stall an EPA crackdown on alcohol in dampeners.** National Association of Printers & Lithographers (Special Report No. S433), Teaneck, NJ

Materazzi, A.R. (1982) **Why To Try Alcohol Substitutes In Lithographic Dampening.** National Association 6f Printers & Lithographers (Special Report No. SR424), Teaneck, NJ

McCabe, M. (1994) A "Substitute" Teacher Speaks From Experience. **Printing Manager** (Third Quarter): !4

McDonald, G. (1991) *ARMEX/ACCUSTRIP Bicarbonate Blasting.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 100-104. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

McMinn, B.W.; Newman, C.R.; McCrillis, R.C.; Kosusko, M. (1992) VOC **Prevention Options for Surface Coating.** U.S. Environmental Protection Agency; Air and Energy Engineering Research Laboratory (EPA/600/A-92/146), Research Triangle Park, N.C.

Mehta, H. (1991) **A Comparative Evaluation of Solvent and Water Borne Interior Building Paints.** Health and Safety Executive (HSE Contract Research Report No. 32/1991 to The Paint Research Association; Teddington; UK), Bootle, UK

Meade, R.J.; Burinsky, F.C. (1991) *Alternative Methods for Uncured Paint Removal In Automotive Manufacturing.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 47-49. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Menzer, R.E. (1991) *Water and Soil Pollutants.* In: **Casarett and Doull's Toxicology - The Basic Science of Poisons,** pp. 872-902. M.O. Amdur; J. Doull; C.D. Klaassen, Ed. Pergamon Press, New York

Miller, G. D.; Tancig, W. J.; Plewa, M. J.; Randall, P. M. (1993) **Ink and Cleaner Waste Reduction Evaluation for Flexographic Printers.** Risk Reduction Engineering Laboratory; Pollution Prevention Research Branch; U.S. Environmental Protection Agency (EPA-R-815829; EPA/600/R-93/086), Cincinnati, OH

Montgomery, J.E. (1989) The Nitrocellulose Challenge. **American Ink Maker 67**(11): 38-40

Morrison, P.; Wolf, K. (1985) Substitution Analysis: A Case Study of Solvents. **Journal of Hazardous Materials 10**: 189-204

Munroe, G.; Bradley, W.P.; Neuber, F. (1990) **Profit from Pollution Prevention. Volume 1: A Guide to Waste Reduction and Recycling in Canada.** Ed. D.V. Lintula, The Pollution Probe Foundation, Toronto

NAPL **(1993) Printing Waterless! (Audiocassette).** National Association of Printers & Lithographers, Teaneck, NJ

Nelson, K.P. (1993) Implementing a Hazardous-Waste Handling Program: One Screen Printer's Odyssey. **Screen Printing 83**(7): 94-97, 124

Nethercott, J.R.; Nosal, R. (1986) Contact dermatitis in printing tradesmen. **Contact Dermatitis 14:** 21-28

Niemelä, R.; Säämänen, A.; Karvinen, P.; Pfäffli, P.; Nylander, L.; Kalliokoski, P. (1991) *Dilution Ventilation to Control Styrène Exposure in the Reinforced Plastics Industry.* In: **Ventilation '91: 3rd International Symposium on Ventilation for Contaminant Control,** Cincinnati, OH, pp. 241-244. Ed. R.T. Hughes; H.D. Goodfellow; G.S. Rajhans, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH, 1991

Nilsson, A.; Oscarsson, B. (1980) **Solvents in the work environment.** The Swedish Work Environment Fund, Stockholm

NIOSH (1987) **Current Intelligence Bulletin no. 48: Organic Solvent Neurotoxicity.** National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati

NIOSH (1979) **Occupational Safety and Health Profile of Printing Processes (Final Director's Draft).** National Institute for Occupational Safety and Health (Contract No. 210-79-0112), Cincinnati

Nobel Printing Inks Corp (1992) The Future of UV Flexo Inks is Drawing Near. **Flexo 17**(8): 8, 11, 13

Olsen, E.; Olsen, I.; Wallstrom, E.; Rasmussen, D. (1992) On the substitution of chemicals - Use of the Subfac-index for volatile substances. **Annals of Occupational Hygiene 36**(6): 637-652

Olsen, E.; Seedorff, L. (1990) Exposure to Organic Solvents - II. An Exposure Epidemiology Study. **Annals of Occupational Hygiene 34**(4): 379-389

OSHA (1993a) *The OSHA Cancer Policy: General Statement of Regulatory Policy (Title **29,** Chapter XVII, Standard Number 1990. 111). In:* **Code of Federal Regulations,** pp. 327. United States Government Printing Office; Office of the Federal Register, Washington, DC

OSHA (1993b) *Respiratory Protection (Title **29,** Chapter XVII, Standard Number 1910. 134).* In: **Code of Federal Regulations,** pp. 421. United States Government Printing Office; Office of the Federal Register, Washington, DC

Parker, S.E. (1989) Use and Abuse of Volatile Substances in Industry. **Human Toxicology 8:** 271-275

Paul, K. (1989) The Healthy Screeprinter. **School Arts 89**(3): 15-17

Perrin, H. (1981) Guide **pratique du peintre industriel.** Technique et Documentation, Paris

Petrelli, G.; Siepi, G.; Miligi, L; Vineis, P. (1993) Solvents in pesticides. **Scandinavian Journal of Work, Environment and Health 19**(1): 63-65

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

Popendorf, W. (1984) Vapor Pressure and Solvent Vapor Hazards. **American Industrial Hygiene Association Journal 45**(10): 719-726

Pritchard, G.; Swapillai, G.J. (1978) Styrène Loss During the Fabrication of Glass Reinforced Polyester Products. **SAMPLE Journal 14:** 15-19

Quitmeyer, J. (1991) Aqueous Cleaners Challenge Chlorinated Solvents. **Pollution Engineering 23**(13): 88-91

Rhodes, W.J. (1991) Stratospheric Ozone Protection: An EPA Engineering Perspective. **Journal of the Air & Waste Management Association 41**(12): 1579-1584

Randall, P.M. (1992) Pollution prevention methods in the surface coating industry. **Journal of Hazardous Materials 29:** 275-295

Rehm, R.; Anderson, E.; Duletsky, S.; O'Brian, T.; Rollins, H. (1982) **Preliminary Analysis of Possible Substitutes for 1,1,1-Trichloroethane, Tetrachloroethene, Dichloromethane, Tetrachloromethane, Trichloroethene, and Trichlorotrifluoroethane. Draft Final Report.** Ed. V.K. Steiner, United States Environmental Protection Agency; Office of Toxics Integration; Office of Pesticides and Toxic Substances (Contract No. 68-02-3168 Task No. 54), Washington, DC

Rees, S. (1992) *Wither non-aqueous coatings?* In: **Creative Advances in Coatings and Ink Technology: The Impact of the Environment,** Harrogate, U.K., pp. 15-24. Paint Research Association, Teddington, U.K., 1992

Reisch, M.S. (1994) Paints & Coatings: Government mandates, driven by environmental and health concerns, pressure industry to develop new technologies. **Chemical and Engineering News 72**(40): 44-66

Reisch, M.S. (1993) Paints and Coatings. **Chemical & Engineering News 71:** 34-37, 40, 42, 44, 49, 51, 53-61

Research Triangle Institute **(1994) Solvent Alternatives Guide (SAGE).** United States Environmental Protection Agency (EPA-600/R-94-069; PB94-501764); Control Technology Center, Research Triangle Park, N.C.

Reti, R. (1993) *Environmentally Acceptable Silicone coatings.* In: **Third Asia-Pacific Conference: Advances in Coatings, Inks and Adhesives Technology,** Singapore, pp. Paper 19: 1-20. Paint Research Association, Teddington, U.K., 1993

Richart, D.S. (1985) *Coating Methods.* In: **Encyclopedia of Polymer Science & Engineering,** Volume 3, pp. 577-601. H. Mark; N. Bikales; C. Overberger; G. Menges, Ed. John Wiley & Sons, New York

Riklik, L. (1991) **Les substituts: critères de sélections.** Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail, Hamilton

Rittner, D. (1992) **Ecolinking: Everyone's Guide to Online Environmental Information.** Peachpit Press, Inc., Berkeley, CA

Rivard, C. (1981) **Chimie industrielle: Peintures, vernis, émaux.** Sherwin-Williams Company; Laboratoire de recherche, Montréal

Rix, M.R.E.; Lyons, D.; de Lint, N.; Cassaday, V.; Slama, C. (1993) **Commercial/Industrial Printing Facilities: Solvent/VOC Emission Reduction Technologies and Other Emission Control Options. A Final Report to Environment Canada.** Ortech International (Report No. 92-T62-B002634; Environment Canada Reference: KA168-2-5061), Mississauga

Robins, G. (1986) *UV Curable Screen Printing Inks.* In: **Radiation Curing of Polymers,** University of Lancaster, pp. 78-83. Ed. D.R. Randel, Royal Society of Chemistry, London, 1987

Russell, J. (1992) Substitution under COSHH. **Industrial relations review and report** (517): 5-7

Säämänen, A.J.; Niemelä, R.I.; Blomqvist, T.K.; Nikander, E.M. (1991) Emission of Styrène During the Hand Lay-Up Molding of Reinforced Polyester. **Applied Occupational and Environmental Hygiene 6**(9): 790-793

Salerno, R.F. (1990) *High Pressure Supercritical Carbon Dioxide Efficiency in Removing Hydrocarbon Machine Coolants from Metal Coupons and Components Parts.* In: **The First International Workshop on Solvent Substitution,** Phoenix, AZ, 4-7 December 1990, pp. 98-107. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ, 1993

Schmitz, W.N. (1991) *$C0_2$ Pellet Blasting for Paint Stripping and Coatings Removal.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 124-125. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Schmitz, W.N. (1990) *$C0_2$ Pellet Blasting for Paint Stripping/Coatings Removal.* In: **The First International Workshop on Solvent Substitution,** Phoenix, AZ, 4-7 December 1990, pp. 11-13. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ, 1993

Schumacher, R.L.; Breysse, P.A.; Carlyon, W.R.; Hibbard, R.P.; Kleinman, G.D. (1981) Styrène exposure in the fiberglass fabrication industry in Washington State. **American Industrial Hygiene Association Journal 42**(2): 143-149

Scharwat, F.E. (1991) *Water as a Tool: Alternative Methods of Reducing the Environmental and Human Health Risk in Paint Stripping.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 121-123. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Scotto, V. (1994) Sun Chemical Ltée, Communication personnelle avec Denis Bégin. Téléphone le 19 août 1994

Seedorff, L; Olsen, E. (1990) Exposure to organic solvents - I. A survey on the use of solvents. **Annals of Occupational Hygiene 34**(4):371-378

Seifert, H. (1991) *Aromatic Solvent Strippers for Automotive Paint Booth Maintenance* . In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 44-46. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Silman, H. (1974) The Substitution of toxic Materials. **Plating 61**(4):332-336

Skeist, I. (1990) **Handbook of Adhesives.** Van Nostrand Reinhold, New York.

Skrifvars, M.; Hohansson, M.; Blomqvist, T.; Keinanen, K. (1992) Low Styrène Emission Unsaturated Polyester Resins. **Composites 32**(3):42-45

Smoluk, G.R. (1990) Meter/Mix is Environmentally Cleaner and More Efficient. **Modern Plastics International 20**(4): 31-34

Snyder, J.T. (1990) *Aqueous Degreasing: A Viable Alternative to Vapor Degreasing.* In:**The First International Workshop on Solvent Substitution,** Phoenix, AZ, 4-7 December 1990, pp. 173-175. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ, 1993

Snyder, R. (1992) **Ethel Browning's Toxicity and Metabolism of Industrial Solvents.** Volume 3: Alcohols and Esters. Elsevier Science Publisher, New York.

Snyder, R. (1990a) **Ethel Browning's toxicity and metabolism of industrial solvents.** Volume 2: Nitrogen and Phosphorus Solvents. Elsevier Science Publisher, New York.

Snyder, R. (1987) **Ethel Browning's toxicity and metabolism of industrial solvents.** Volume 1: Hydrocarbons. Elsevier Science Publisher, New York.

Sørensen, F.; Styhr Petersen, H.J. (1994) Formulation and Recycling of Water-Based Degreasing Agents: Effects on Occupational Health and Environmental Protection. **Hazardous Waste & Hazardous Materials 11**(3):361-370

Søensen, F. (1994a) Professeur, Université technique du Danemark. Communication personnelle avec Michel Gérin. Réunion le 14 juin 1994

Sørensen, F.; Styhr Petersen, H.J. (1993a) **Substitution of Hazardous Chemicals and the Danish Experience.** Department of Chemical Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby,

Sørensen, F.; Styhr Petersen, H.J. (1993b) Substitution of organic solvents and hazardous binders by bonding with adhesives in the manufacture of fabricated metal products, machinery and equipment. **Staub - Reinhaltung der Luft 53**(6):251-254

Sørensen, F.; Styhr Petersen, H.J. (1993c) Vapour Phase Soldering and Removal of Flux Residues after Soldering in the Electronics Industry: Substitution of Organic Solvents. **Hybrid Circuit 30:** 31-32

Sørensen, F.; Styhr Petersen, H.J. (1992) Substitution of organic solvents. **Staub - Reinhaltung der Luft 52**(3):113-118

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

Sørensen, F.; Styhr Petersen, H.J. (1988) Substitution of dangerous Chemicals by a process-based method. Staub **- Reinhaltung der Luft 48**(12):469-472

Statistique Canada (1994) **Industries manufacturières du Canada: niveau national et provincial 1990.** Statistique Canada Catalogue 31-203. Ministre de l'Industrie, des Sciences et de la Technologie, Ottawa

Statistique Canada (1993) **Catalogue 46-250 Annuel: Industries chimiques CTI 37 1990.** Statistique Canada; Division de l'industrie; Section de l'enquête annuelle des manufactures et Ministre de l'Industrie des Sciences et de la Technologie, Ottawa

Stevenson, S. (1989) What's new about inks? A review. **Pulp & Paper Canada 90**(5):27-28,30

Stratford, S. (1991) *Perspectives on Surface Preparation with $C0_2$ Blasting.* in **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 117-120. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Sugarman G. (1995) MSP Technology Inc./LP Turgeon. Conférence pronocée le 25 janvier 1995 au CEGEP Ahuntsic à Montréal

Sullivan, C.J. (1991) *NMP Formulations for Stripping in the OEM Market Sector.* in **Reducing Risk in Paint** Stripping, Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 39-43. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Sullivan, E.A.; Sullivan, J.L. (1986) Styrène Exposure in the Reinforced Plastics Industry in Ontario. **Occupational Health in Ontario 7**(1):38-55

Svane, O. (1985) *Danish Work Environment Regulation of Organic Solvents: An Attempt to Evaluate the Effects.* In: **International Course on Safety and Health Aspects of Organic Solvents,** Espoo, Finland, pp. 283-296. Ed. V. Riihimäki; U. Ulfvarson, Alan R. Liss, New York, 1986

Swuste, P.; Buringh, E. (1994a) Sharing Knowledge on Preventive Measures. **Applied Occupational and Environmental Hygiene 9**(1):74-76

Swuste, P.; Hale, A. (1994b) Databases on Measures to Prevent Occupational Exposure to Toxic Substances. **Applied Occupational and Environmental Hygiene 9**(1):57-61

Thompson, L.M.; Simandi, R.R.; Richard, H.L. (1990) *Chlorinated Solvent Substitution Program at the Oak Ridge Y-12 Plant.* In: **The First International Workshop on Solvent Substitution,** Phoenix, A2, 4-7 December 1990, pp. 134-141. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ, 1993

Takala, J. (1993) CD-ROMs and Databases as Véhicules for Chemical Safety Information. **American Industrial Hygiene Association Journal 54**(11):683-696

Talty, J.T. (1988) *General Methods of Control Available to the Industrial Hygiene Engineer.* In: **Industrial Hygiene Engineering. Recognition, Measurement, Evaluation and Control,** pp. 70-78. J. T. Talty, Ed. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ

Tardif, R.; Brodeur, J. (1993) **Influence des expositions à des contaminants multiples en milieu de travail sur les paramètres de surveillance biologique de l'exposition (Rapport R-069).** Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, Montréal

Tellus Institute (1993) **Substitute Case Study: Alternatives to Solvent-Based Paints (Technical Report No. 4).** Toxics Use Reduction Institute; University of Massachusets, Lowell

Terpene Technologies Inc. **(1994a) Tarksol™ based Terpene Solvents.** Terpene Technologies Group, Rochester, NY

Terpene Technologies Inc. (1994b) **Tarksol™ Total Solution.** Terpene Technologies Inc., Rochester, NY

Tillman, J.W. **(1991) Achievements in Source Reduction and Recycling for Ten Industries in the United States.** United States Environmental Protection Agency; Office of Research and Development; Risk Reduction Engineering Laboratory (EPA/600/2-91/051), Cincinnati, OH

Tillotson, J.H.; Demers, P. (1994) **Blanket Wash Technology Study: An Evaluation of Commercially Available Blanket Washes (Technical Report No. 16).** The Toxics Use Reduction Institute; University of Massachusets, Lowell

Tinker, D. (1993) *Developments in water based adhesives and coatings for packaging.* In: **Adhesives in packaging - an update,** Leatherhead, UK, pp. Paper 4: 1-7. PIRA International, Leatherhead, UK, 1993

Todd, W.F. (1985) Styrène Vapor Control Systems in FRP Yacht Plants. **American Journal of Industrial Medicine 8:** 219-232

Trippe, A.P. (1991) *Pulsed Light Flashlamp System for Paint Removal in Maintenance Stripping.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 126-128. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Trochimowicz, H.J.; Kennedy, G.L.; Krivanek, N.D. Heterocyclic and Miscellaneous Nitrogen Compounds. In: **Patty's Industrial Hygiene and Toxicology.** Fourth Edition. Volume II, Part E, Toxicology, pp. 3309-3312. G.D. Clayton, F.E. Clayton, Ed., John Wiley & Sons, New York, 1994

Truchon, G.; Ostiguy, C.; Drolet, D.; Mergler, D.; Campagna, D.; Bélanger, S.; Larribe, F.; Huel, G. (1992) Surveillance des effets neurotoxiques de l'exposition au styrène en milieu de travail. I. Évaluation environnementale et surveillance biologique de l'exposition. **Travail et Santé 8**(2): S11-S14

Tully, P.F. (1987) *Waterborne Conductive Paints.* In: **Systems in Plastics Finishing,** Louisville, KY, pp. 95-105. Society of Plastics Engineer; Decorating Division, 1987

TURI (1994a) **Alternatives to Petroleum- and Solvent-Based Inks (Fact Sheet 6).** Toxics Use Reduction Institute; University of Massachusetts, Lowell

TURI (1994b) Vendor **Survey Database for Industrial Cleaning.** Toxics Use Reduction Institute; University of Massachusetts, Lowell

UNEP (1993) **Cleaner Production Worldwide.** United Nations Environment Programme; Industry and Environment Programme Activity Centre, Paris

UNEP (1991) **Montreal Protocol 1991 Assessement. Report of the Solvents, Coatings and Adhesives Technical Options Committee.** United Nations Environment Programme, Nairobi

UNEP/USEPA (1993) **International Cleaner Production Information Clearinghouse: ICPIC User Guide Version 1.0.** United Nations Environment Programme; Industry and Environment Programme Activity Centre and United States Environmental Protection Agency; Office of Environmental Engineering and Technology Demonstration; Pollution Prevention Information Clearinghouse (Technical Report Series No. 9), Paris/Washington, D.C.

USEPA (1994a) **Alternative Control Techniques Document: Industrial Cleaning Solvents.** United States Environmental Protection Agency; Emission Standards Division (EPA-453/R-94-015; PB94-156791), Research Triangle Park, NC

USEPA (1994b) **Alternative Control Techniques Document: Offset Lithographic Printing.** United States Environmental Protection Agency; Office of Air Quality Planning and Standards {EPA 453/R-94-D54), Research Triangle Park, NC

USEPA (1994c) Protection of Stratospheric Ozone: Significant New Alternatives Policy Notice of Final Rule Making. **Federal Register (18 March 1994) 59**

USEPA (1994d) **Reregistration Eligibility Decision (RED): Limonene.** United States Environmental Protection Agency; Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances, Washington, D.C. (EPA 738-R-94-034)

USEPA (1993) **1993 Reference Guide to Pollution Prevention Resources.** United States Environmental Protection Agency; Office of Pollution Prevention and Toxics (EPA/742/B-93-001), Washington, D.C.

USEPA (1993a) **Control of Volatile Organic Compound Emissions from Offset Lithographic Printing.** United States Environmental Protection Agency; Office of Air Quality Planning and Standards; Emission Standards Division; Chemical and Petroleum Branch, Research Triangle Park, NC

USEPA (1993b) **Metal Industries - Metal Finishing, Manufacturing.** United States Environmental Protection Agency; Pollution Prevention Information Clearinghouse, Washington, D.C.

USEPA (1991a) **Guides to Pollution Prevention: The Automotive Refinishing Industry.** Risk Reduction Engineering Laboratory and Center for Environmental Research Information; Office of Research and Development; U.S. Environmental Protection Agency (EPA/625/7-91/016), Cincinnati

USEPA (1991b) **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 Research and Development, Cincinnati

USEPA (1990) **Guides to Pollution Prevention: The Commercial Printing Industry.** Risk Reduction Engineering Laboratory and Center for Environmental Research Information; Office of Research and Development; U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati

USEPA (1989a) **Waste Minimization in Metal Parts Cleaning.** United States Environmental Protection Agency; Office of Solid Waste (EPA/530-SW-89-049), Washington, D.C.

USEPA (1989b) **Case Studies from the Pollution Prevention Information Clearinghouse (PPIC): Printing.** United States Environmental Protection Agency; Office of Environmental Engineering and Technology Demonstration and Office of Pollution Prevention, Washington, D.C.

Van Alstyne, D. (1991) *The Polygon Paint Removal System.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 129-131. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Vangheluwe, P. (1994) Ministère de l'industrie, du commerce et de la technologie, Communication personnelle avec Denis Bégin. Téléphone le 24 octobre 1994

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

Visaisouk, S. (1991) *Crystalline Ice Blasting.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 95-99. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

von Hassel, A. (1991) Tough EPA Rules Block New Product Development. **Plastics World 49**(3): 87-89

Wahlberg, K. (1992) Water Paints a Health Hazard? **National Board of Occupational Safety and Health Newsletter (Sweden)** (3): 1,4-6

Walata III, S.A.; Newman, C.R. (1991) **Radiation-Curable Coatings.** U.S. Environmental Protection Agency; Control Technology Center (EPA-600/2-91-035), Research Triangle Park, N.C.

Walewski, L; Stockton, S. (1985) Low-Styrene-Emission Laminating Resins Prove It in the Workplace. **Modern Plastics 62:** 78, 80

Walsh, W.C. (1991) *Surface Tension Modification of NMP-based Paint Strippers.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 177-184. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Webb, J.P. (1990) TABS an enviro-friendly solvent. **Pigment and Resin Technology 19**(7): 7-8

Weltman, H.J.; Phillips, T.L. (1992) *Environmentally Compliant Wipe-Solvent Development.* In: **Aerotech'92,** Anaheim, CA, 5-8 October 1992, pp. 1-10. Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1992

Whiteside, R.C.; Sheih, P.S.; Massingill, J.L (1990) High Performance Epoxy Resins For Container Coating Applications Based on In-Situ Advancement Technology. **Journal of Coatings Technology 62**(788): 61-67

Whitfield, L. (1978) Low Styrène Emission Polyester Resins. **Reinforced Plastics 22**(1): 13-15

Whittaker, C.; Gideon, J.; Eberle, S. (1991) *Panel Report: Summary of Findings.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 217-221. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

White, D.L. (1991a) *Substitute Chemical Formulations for Professional Furniture Refinishing.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 192-194. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

White, T.F. (1991b) An Economic Solution to Meeting VOC Regulations. **Metal Finishing 89**(4): 55-58

WHO Regional Office for Europe (1987) **Air quality guidelines for Europe.** World Health Organization, WHO Regional Publications, European Series No 23, Copenhagen

Wicks, Z.W.; Jones, F.N.; Pappas, S.P. (1994) **Organic Coatings: Science and Technology. Volume II: Applications, Properties, and Performance.** John Wiley & Sons, New York

Willis, T. (1980) Styrène - Cleaning up the Workshop. **International Boat Industry** (6): 38-41

Wolf, K. (1993-1994) The Generic Classification System: A Simplified Approach to Selecting Alternatives to Chlorinated Solvents. **Pollution Prevention Review** (Winter): 15-29

Wolf, K.; Yazdani, A.; Yates, P. (1991a) Chlorinated Solvents: Will the Alternatives be Safer? **Journal of the Air & Waste Management Association 41** (8): 1055-1061

Wolf, K. (1991b) *The Next Steps: Planning for the Future.* In: **Reducing Risk in Paint Stripping,** Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 222-226. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1991

Wolf, K.; Chesnutt, T.W. (1987) Chlorinated Solvents: Market Interactions and Regulations. **Journal of Hazardous Materials 15:** 137-161

Woods, J. (1986) *UV Curable Adhesives.* In: **Radiation Curing of Polymers,** University of Lancaster, pp. 102-115. Ed. D.R. Randell, Royal Society of Chemistry, London, 1987

Words and Publications (1992) **Protecting the Ozone Layer. Volume 2: Solvents, coatings and adhesives.** United Nations Environment Programme; Industry and Environment Programmme Activity Centre, Paris

Zarno, J. (1991) The search for an environmentally benign metal cleaning process. **Finishing 15**(2): 32, 34-35

INDEX ALPHABÉTIQUE DES PRINCIPAUX SUJETS

Cet index alphabétique renvoie aux principaux sujets abordés dans le rapport sans cependant constituer un recensement exhaustif de l'ensemble des termes. La banque de cas (troisième partie), notamment, n'est pas indexée. Les lecteurs sont conviés à consulter en complément la table des matières détaillée située dans les pages liminaires du rapport.

Abrasifs (projection d') 110, 111, 138-151, 271

Adhésifs

*à base d'eau 159, 160, 166

* à base de solvants 157-158

* à haute teneur en solides 163

*autocollants 161

*description 156, 157

*poudres 164, 271

* réactifs 162, 163, 271

*thermofusibles 160, 161, 166

Alcalins.....voir . . . . . Nettoyants aqueux alcalins

Alcools 99, 100, 115, 126, 127

Amidon de blé (abrasif). 142, 143

Analyse de substitution

*facteurs de santé et de sécurité du travail 34-37, 323, 324

*facteurs environnementaux 37, 38, 324, 325

*facteurs techniques 33, 34, 325, 326

*facteurs économiques 33, 34, 326, 327

*facteurs humains et organisationnels 38, 39, 327, 328

*généralités 30-32,39,40,

*procédures 32,33

Banque de données de cas 177-263,274,329-336

Bicarbonate de sodium (abrasif) 143-146

gamma-Butyrolactone 137

Carbonate de propylène 137

Cas . . . . . **voir** . . . . . **Banque de données de cas**

Caustique (décapage) 134

Cétones 99,100,126,127

Chaleur (décapage) 151,152,271

Chlorure de méthylène . . . . . **voir** . . . . . **Dichlorométhane**

Clichage . . . . . **voir** . . . . . **Imprimerie**

Colles . . . . . **voir** . . . . . **Adhésifs**

Consommation . . . . . **voir** . . . . . **Solvants**

COV 16,45, 314-316

Décapage 133-153

Dégraissage des surfaces métalliques

*électrolytique 109,271

*en phase vapeur 90

Déhuilage thermique sous vide 109

Dichlorométhane 133,134,166

Dioxyde de carbone

*abrasif 146-148

*supercritique.....voir . . . . . Fluides supercritiques

Eau (nettoyage, décapage) 110, 125, 148-151, 271

Effet de serre 16, 316-317

Électronique (composants) 123-132

Encres.....voir aussi . . . . . **Imprimerie**

*à solvants 81,82

*hydrosolubles 77,82,83,84,85,86

*plastisols 82

*réactives 76,77,82,84,85,86,271

Enquêtes

*entreprises, associations 19-25, 267, 298-299

*secteur public 267, 268, 295-297

Environnement (généralités) 15-17, 37, 38, 306-322

Esters

*d'acides gras dérivés d'huiles végétales.....voir . . . . . Huiles végétales

*de diacides 63, 80, 136, 137, 271

*dibasiques.....voir . . . . . Esters de diacides

Éthers de glycol 63, 80, 83, 108-109, 271

Exposition professionnelle .....voir . . . . . **Solvants**

Fibre de verre.....voir . . . . . **Polyesters**

Flexographie.....voir . . . . . **Imprimerie**

Fluides supercritiques 57, 58, 109, 110, 122, 271

Flux.....voir . . . . . **Électronique**

Fontaine (solution de) 77

Gaz sous pression 120,271

Glace (décapage) 150,151

Glycols.....**voir** . . . . . **Éthers de glycol**

HCFC.....**voir** . . . . . **Hydrochlorofluorocarbures**

Huiles minérales 76

Huiles végétales et dérivés 76,80,81

Hydrocarbures aliphatiques 94-96,116

Hydrochlorofluorocarbures 93-94,114,127

Imprimerie

*clichage 75

*flexographie 74,83-85

*offset 71-73, 76-81

*rotogravure 74, 85-87

*sérigraphie 73, 81-83

*typographie 73-74

Information.....**voir** . . . . . **Sources d'information**

Instruments de précision 113-122

Laques.....**voir** . . . . . **Peintures, vernis et laques**

Laser (décapage) 152,271

Législation 268,301-322

d-Limonène.....**voir** . . . . . **Terpènes**

Lithographie.....**voir** . . . . . **Imprimerie, offset**

N-Méthylpyrrolidone 109,116,134-136,166,272

Nettoyage.....voir . . . . . **Dégraissage**

Nettoyants aqueux 85,117,125

Nettoyants aqueux acides 106

Nettoyants aqueux alcalins 100-106

Nettoyants semi-aqueux 106-108,119,126,271

Offset.....voir . . . . . **Imprimerie**

Ozone

*depletion de la couche (d') 16, 312-314

*troposphérique.....voir . . . . . COV

*nettoyage par oxydation 121,122

Peintures, vernis et laques

*à base d'eau 49-52

*à base de solvants 46-50

*à haute teneur en solides 54-56

*anticorrosives 65

*appareils électroménagers 55,65

*automobiles 55,64,65

*avec $C0_2$ supercritique 57,58

"bâtiment 65,66

*divers substrats 66,67

*en poudre 52-55, 271

*isolation électrique 67

*meubles 67,68

*réactifs 56,57,271

*résistantes à la chaleur 66

Perchloroéthylène.....voir . . . . . Tétrachloroéthylène

Perfluorocarbures 92,115

Plasma, (nettoyage au) 120,271

Plastique (abrasif) 138-142

Polyesters stratifiés 167-174

Pulvérisation (systèmes de) 58-61,68,69,164

Rayonnement ultraviolet (nettoyage) 121

Récurage 111

Revêtements.....voir . . . . . Peintures, vernis et laques

Rotogravure.....voir . . . . . Imprimerie

Sécurité 13,14,35

Semi-aqueux.....voir . . . . . Nettoyants semi-aqueux

Sérigraphie.....voir . . . . . Imprimerie

Smog photochimique.....voir . . . . . COV

Solubilité (paramètres de) 34,62,63

Solvants

*aromatiques, décapage 134

*halogénés 89,90,92,273

Consommation 7-9, 89, 90

*définition 7

*exposition professionnelle 9-11

*isoparaffiniques 63

*revendeurs, fabricants 294

Soudage ..... **voir** . . . . . **Électronique**

Sources d'information 281-294

Styrène 167-174

SUBFAC (indice) 36,38

Substitution

*analyse (de) ..... voir . . . . . Analyse de substitution

*définition 27

*place en prévention 27-30

Technologies sans nettoyage 111,127

Terpènes 63,96-99,271

Tétrachloroéthylène 92,93

Thermofusibles ..... **voir** . . . . . **Adhésifs**

Toxicité (généralités) 14,15,37

Trichloroéthylène 92,93

Typographie ..... **voir** . . . . . **Imprimerie**

Valeurs limites d'exposition 35,36

Vernis ..... **voir** . . . . . **Peintures, vernis et laques**