

Substances chimiques et agents biologiques

Bilans de connaissances

RAPPORT B-056



**La substitution des solvants
par les esters d'acides dicarboxyliques (DBE):
Adipate diméthylque, Glutarate diméthylque,
Succinate diméthylque**

*Denis Bégin
Michel Gérin*



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

NOS RECHERCHES

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
1999
ISBN : 2-551-19211-0
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,
Juin 1999



Substances chimiques et agents biologiques

Bilans de connaissances

 RAPPORT B-056

La substitution des solvants par les esters d'acides dicarboxyliques (DBE): Adipate diméthylque, Glutarate diméthylque, Succinate diméthylque

Avis de non-responsabilité

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

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

Denis Bégin et Michel Gérin

*Département de médecine du travail et d'hygiène du milieu.
Université de Montréal*



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

Note au lecteur

Depuis la parution de cette étude, l'IRSST a produit le *Guide des respirateurs utilisés au Québec*. Celui-ci est diffusé par la CSST et devient la référence québécoise en remplacement du guide de *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH)

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

L'adipate diméthylrique, le glutarate diméthylrique et le succinate diméthylrique sont des liquides peu volatils, à point d'ébullition élevé (autour de 200 °C), appartenant à la famille des esters d'acides dicarboxyliques, et auxquels l'on réfère fréquemment par l'acronyme DBE (dibasic esters). Sous-produits de la synthèse du nylon, ils sont de plus en plus proposés, généralement sous forme d'un mélange des trois composés, pour remplacer divers solvants toxiques ou nuisibles à l'environnement, notamment dans des formulations de produits décapants, dans des produits de nettoyage de l'équipement de fabrication d'objets en polyester stratifié ou en polyuréthane, dans l'industrie électronique et dans la formulation de peintures. Leur utilisation comme nettoyeurs ou décapants peut impliquer des changements dans les méthodes de travail, notamment une durée plus longue d'application que les solvants volatils habituels. Il existe peu de données toxicologiques publiées sur les DBE. Il n'y a notamment pas d'étude sur la toxicocinétique ni sur la cancérogénicité. On ne connaît pas leur potentiel de passage percutané. Les produits n'apparaissent pas comme génotoxiques, mais il manque d'études sur cet effet. Les principaux effets toxiques rapportés chez l'animal portent sur des lésions nasales par inhalation observées chez le rat. Le potentiel foetotoxique et tératogène a fait l'objet de deux études qui ne permettent pas de se prononcer définitivement. Une seule étude indique l'absence de reprotoxicité chez le rat. Une vision brouillée serait associée chez l'humain à un niveau excessif d'exposition aux DBE. Sur la base de cet effet, la compagnie DuPont propose une valeur limite d'exposition sur 8 heures de 1,5 ppm (10 mg/m³) pour les DBE totaux. Les points d'éclair élevés (autour de 100 °C) des DBE en font des solvants peu inflammables. Ils sont recyclables par distillation et facilement biodégradables. Leur faible tension de vapeur minimise leur impact potentiel sur la génération de smog photo-oxydant.

Table des matières

Résumé	1
1.0 Introduction.....	5
2.0 Méthodologie	5
3.0 Propriétés physico-chimiques.....	5
4.0 Production et utilisation	6
4.1 Procédé de fabrication	6
4.2 Fabricants	7
4.3 Utilisations.....	7
4.4 Aspects techniques de la mise en œuvre.....	8
4.5 Coûts	14
5.0 Exposition humaine	14
6.0 Toxicologie	15
6.1 Doses létales chez l'animal	16
6.2 Irritation.....	16
6.3 Toxicologie nasale	17
6.4 Mutagenèse et génotoxicité	19
6.5 Toxicologie de la reproduction et du développement.....	19
6.6 Cancérogénicité	22
6.7 Autres études	22
7.0 Environnement	23
7.1 Devenir environnemental	23
7.2 Effets environnementaux.....	24
8.0 Réglementation et recommandation	25
8.1 Milieu de travail.....	25
8.2 Environnement.....	25
9.0 Prévention	27
9.1 Premiers secours	27
9.2 Classification et moyens de lutte contre les incendies.....	28
9.3 Fuites accidentelles	29
9.4 Manipulation et stockage.....	29
9.5 Équipement de protection personnelle.....	29
9.6 Élimination des déchets.....	30
9.7 Recyclage	30
9.8 Échantillonnage et analyse.....	30
9.9 Surveillance médicale.....	30
10.0 Discussion.....	30
10.1 Aspects techniques et environnementaux	30
10.2 Hygiène et toxicologie industrielles	31
11.0 Axes potentiels de recherche.....	34
12.0 Remerciement	35
13.0 Bibliographie.....	35

Figure

Figure I : Structure moléculaire des trois esters d'acides dicarboxyliques.....	6
---	---

Tableaux

Tableau I : Pourcentage en poids d'esters d'acides dicarboxyliques dans les mélanges commerciaux de base proposés par quatre fabricants de DBE	7
Tableau II : Composition de deux décapants à base de DBE	9
Tableau III : Formulations de décapants à base de DBE accompagnés de solvants adjuvants.....	10
Tableau IV : Niveaux de DBE en ppm (mg/m ³) mesurés dans l'air lors d'une simulation d'application d'un décapant dans une pièce résidentielle fermée	15

Annexes

Annexe I : Propriétés physico-chimiques du succinate diméthylque (DMS), glutarate diméthylque (DMG) et adipate diméthylque (DMA)	43
Annexe II : Fabricants de DBE	46

1.0 Introduction

Environ 200 000 travailleurs québécois sont exposés régulièrement aux solvants organiques (12). Leur inflammabilité, leur toxicité ou la protection de l'environnement, notamment le problème de la protection de la couche d'ozone, forcent les entreprises à travailler au remplacement de nombre d'entre eux. Un bilan de connaissance a été produit en 1995 pour aider les intervenants en santé, sécurité et environnement à trouver des produits pour remplacer les solvants classiques ou à trouver des procédés de rechange (47). De « nouveaux » solvants ont fait leur apparition dans les milieux de travail comme par exemple le d-limonène, les esters d'acides dicarboxyliques et la N-méthyl-2-pyrrolidone (NMP). Mis à part les fiches signalétiques fournies par les fabricants, les hygiénistes et médecins du travail et autres spécialistes de la santé, de la sécurité et de l'environnement ne possèdent que des données fragmentaires concernant ces substances. De plus, elles sont parfois présentées comme des substituts idéaux à tout point de vue. La présente monographie traite des esters d'acides dicarboxyliques (« dibasic esters » = DBE). Elle présente de façon synthétique et critique les connaissances sur les aspects santé et sécurité du travail, environnementaux et techniques de ces solvants, de manière à guider les spécialistes de l'hygiène du travail et de l'environnement dans leurs choix et décisions par rapport à ces substances. Ce bilan de connaissance permet également aux intervenants de la santé publique, particulièrement ceux de la santé au travail, d'apprécier la toxicité de ces substances.

2.0 Méthodologie

Une recherche exhaustive dans les bases de données bibliographiques suivantes a permis d'identifier la plupart des articles scientifiques de première main et les rapports de recherche de la littérature dite « grise » : Medline, Toxline, PolTox, Current Contents, NIOSHTIC, HSELINE, UnCover (CARL), site W3 du USEPA, ISST. Les banques de données factuelles suivantes ont servi à recueillir certaines données physico-chimiques et autres paramètres : ECDIN, SOLV-DB, RTECS, HSDB. L'utilisation d'Internet a permis notamment d'identifier des fournisseurs de DBE.

Les doses en mg/kg de poids corporel calculées à partir des concentrations aériennes d'exposition aux DBE dans les sections traitant de toxicologie ont été dérivées en utilisant des valeurs de référence tirées de la littérature pour le débit respiratoire et le poids corporel des espèces animales considérées (26).

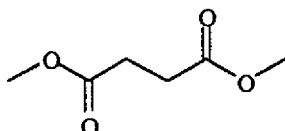
3.0 Propriétés physico-chimiques

Les DBE sont des mélanges des esters méthyliques des acides succinique, glutarique et adipique. Les esters sont des substances résultant de la réaction entre un acide organique et un alcool. Ce sont généralement des liquides dotés d'une odeur caractéristique de fruits (43). Les esters les plus utilisés comme solvant en industrie sont les acétates, formés par la réaction d'alcools avec l'acide acétique. Les DBE sont des solvants stables, à point d'ébullition (autour de 200 °C) et point d'éclair (autour de 100 °C) élevés, possédant un excellent pouvoir de dissolution pour diverses résines et polymères. Ils sont solubles dans

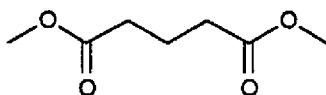
les alcools, les cétones, les éthers et la plupart des hydrocarbures mais pratiquement insolubles dans l'eau et les hydrocarbures aliphatiques à haut poids moléculaire (10). Par ailleurs des mélanges ternaires (DBE + eau + alcool) sont possibles (112). Comme la plupart des esters, ces solvants possèdent une odeur légère et agréable. En effet, Furia et Bellanca décrivent l'odeur du succinate diméthylque comme éthérée et vinaigre (46). Leur structure moléculaire développée est présentée dans la figure I.

Figure I
Structure moléculaire des trois esters d'acides dicarboxyliques

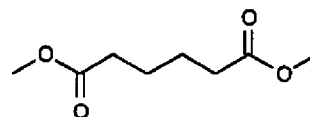
Succinate diméthylque (DMS)



Glutarate diméthylque (DMG)



Adipate diméthylque (DMA)



L'annexe I présente les propriétés physico-chimiques du succinate diméthylque, du glutarate diméthylque et de l'adipate diméthylque. Il est à noter que les données présentées portent sur une large gamme de propriétés, y compris divers paramètres reliés aux aspects techniques spécialisés de la mise en œuvre des produits (p. ex. tension superficielle, viscosité, paramètres de solubilité de Hansen) ou à leur devenir environnemental (p. ex. coefficients de partage octanol-eau) ou aux aspects santé-sécurité (p. ex. tension de vapeur, inflammabilité). Les données sont reproduites telles quelles des sources consultées, avec les unités d'origine. L'on note parfois des disparités entre diverses sources pour certaines propriétés (p. ex. point d'éclair) qui pourraient être explicables en partie par des différences dans les méthodes utilisées pour les déterminer.

Les DBE sont utilisés la plupart du temps en mélanges. En conséquence certaines propriétés ne sont disponibles que pour ceux-ci. À titre d'exemple, la société DuPont ne rapporte l'indice Kauri-butanol (égal à 51) (29), la rigidité diélectrique (égale à 188 volts/mil; ASTM D-877) (100) et le seuil de détection olfactive (décelé à 0,01 ppm chez 50 % des sujets et à 0,1 ppm chez 100 % des sujets) (32) que pour son mélange de base (voir tableau I plus loin).

4.0 Production et utilisation

4.1 Procédé de fabrication

Les DBE sont fabriqués à partir d'un sous-produit de la synthèse de l'acide adipique, lui-même utilisé dans la fabrication du nylon 6-6 (polyhexaméthylène adipamide) par condensation avec une diamine. L'oxydation de la cyclohexanone en présence de cyclohexanol et d'acide nitrique produit de l'acide adipique mais également les acides glutarique et succinique. En faisant réagir le méthanol sur le mélange de ces trois diacides l'on obtient le mélange des trois esters méthyliques correspondants (65). C'est pourquoi les fabricants proposent des mélanges de DBE. Le tableau I présente les proportions de

DBE proposés par quatre fabricants pour leur catégorie de base. Chaque fabricant propose également des mélanges dans des proportions différentes ou, moins souvent, les esters individuels purs afin de satisfaire les besoins de leur clientèle.

Tableau I
Pourcentage en poids d'esters d'acides dicarboxyliques dans les
mélanges commerciaux de base proposés par quatre fabricants de DBE

	Chemoxy ⁽²¹⁾	DuPont ⁽³⁴⁾	Monsanto ⁽⁷⁶⁾	Rhône-Poulenc ⁽⁹²⁾
Succinate diméthylrique	15-25	20	17-21	21-27
Glutarate diméthylrique	55-65	59	61-65	57-63
Adipate diméthylrique	12-23	21	14-22	12-20

4.2 Fabricants

Deux sociétés étasuniennes produisent des DBE en Amérique du Nord : DuPont (« Dibasic esters ») et Monsanto (maintenant dénommée Solutia) (« Santosol »). Seule DuPont fabrique des DBE au Canada. La société britannique Chemoxy les fabrique au Royaume-Uni (« Estasol »). La société Rhodia Chimie (Rhône-Poulenc) en produit en France (« Rhodiasolv »). L'annexe II fournit les adresses de ces fabricants.

4.3 Utilisations

Archer affirme que les DBE sont des produits de toute première importance dans la catégorie des solvants oxygénés à haut point d'ébullition pour la formulation de nouveaux revêtements ainsi que comme substituts dans les revêtements existants (10). Stoye rapporte que les DBE sont utilisés en raison de leur point d'ébullition élevé et de leur bon pouvoir de dissolution, dans les émaux à cuisson, les revêtements à feuille métallique pour la fabrication de contenants (« coil coating ») et dans les peintures automobiles (99). En plus de ces utilisations, la société Dupont propose les DBE dans les applications suivantes : formulation de revêtements pour bobinages électriques, de nettoyeurs industriels, de décapants pour peintures, de liants à noyaux de fonderie, d'encres d'imprimerie, de lubrifiants à textile, de revêtements du substrat magnétique des disques d'ordinateur, de plastifiants, comme intermédiaires pour la synthèse de polyesters et autres polymères ainsi que pour la synthèse de diverses substances telles que des pigments de couleur, des insecticides et des produits pharmaceutiques (30). Trois décapants à peinture contenant des DBE et vendus dans des quincailleries locales ont été répertoriés (1; 52; 89). Les DBE sont utilisés en sérigraphie dans la formulation de nettoyeurs utilisés pour la régénération (« dégravage ») des écrans (111). Enfin, au moins deux fournisseurs étasuniens proposent des nettoyeurs à main contenant des DBE (« Plumber's Hand Cleaner » de Oatey, Cleveland, OH; « Force Five Hand Cleaners » de 5 Star Autobody Products, Scottsdale, AZ).

4.4 Aspects techniques de la mise en œuvre

Seront traités, dans cette section, les aspects techniques de la mise en œuvre des DBE dans divers secteurs industriels. La couverture des secteurs d'utilisation n'est pas exhaustive, car seuls seront abordés les procédés ou secteurs exposant aux DBE, de l'avis des auteurs, le plus grand nombre de travailleurs. Seront ainsi examinés successivement les secteurs du décapage de peinture, du nettoyage de surfaces métalliques et autres surfaces et de la formulation de peinture.

4.4.1 Décapage

Le dichlorométhane est le solvant retrouvé le plus souvent dans la composition des décapants à peinture (70). Le remplacement du dichlorométhane par d'autres solvants moins dangereux est une priorité du point de vue de la santé au travail et de l'environnement. En effet, au Québec, le Règlement sur la qualité du milieu de travail classe ce solvant halogéné dans la catégorie C2 (effet cancérigène soupçonné chez l'humain) et stipule que l'exposition des travailleurs à cette substance doit être réduite au minimum même lorsqu'une telle exposition demeure à l'intérieur des normes (50). De plus le dichlorométhane a été qualifié de substance toxique aux termes de la Loi canadienne de protection de l'environnement (LCPE) en vertu de ses effets délétères sur l'environnement et la santé humaine (45). Environnement Canada a mis sur pied un processus des options stratégiques (POS) visant à élaborer un plan d'action concernant le dichlorométhane. Le POS a pour objectif de déterminer les options de gestion pour réduire l'exposition à cette substance toxique dans l'environnement canadien. Une des options proposée est la substitution du dichlorométhane par des solvants moins dangereux comme les DBE dans les décapants à usage domestique et commercial (20). D'autres solvants sont également utilisés dans la formulation des décapants notamment des mélanges d'acétone, méthanol et toluène (20). La toxicité et l'inflammabilité de ces mélanges milite également en faveur de leur remplacement. Finalement il existe des décapants à base d'alcalis tels que l'hydroxyde de sodium (20). Ces préparations sont fortement corrosives pour la peau et les yeux.

Au niveau de la performance le dichlorométhane est le meilleur solvant pour le décapage de la plupart des peintures (66; 70). En conséquence les divers décapants qui sont actuellement proposés sont en général moins performants. Krier a effectué des tests de performance sur 59 décapants commerciaux aux États-Unis. Les tests ont été effectués sur du contreplaqué de chêne recouvert de trois couches de peinture cuite. L'auteur a testé les sept revêtements suivants : teinture, vernis, polyuréthane, gomme-laque (« shellac »), laque au nitrate de cellulose, émail, peinture au latex. Les décapants à base de dichlorométhane agissent le plus rapidement. Les décapants à base de DBE sont les plus lents : 12 à 24 heures pour obtenir des résultats. Les décapants à base de DBE exigent un rinçage à l'eau. Ils auraient tendance à faire lever légèrement le grain du bois, ce qui nécessite un léger sablage avant l'application du revêtement de protection après le décapage. Ces décapants font rouiller le métal, probablement en raison de la présence d'eau, de sorte qu'il faut utiliser des tampons à récurer en plastique plutôt que de la laine d'acier pour enlever les boues résiduelles de peinture. Le décapant « Peel Away 6 »

(Dumond Chemicals Inc., New York, NY) s'est avéré être le meilleur décapant à base de DBE mais aussi le plus dispendieux (64). Ce décapant est en fait un mélange de DBE (glutarate et adipate diméthyliques) et de N-méthyl-2-pyrrolidone (NMP) (27) alors qu'au moins un des autres décapants testés concurremment dans cette catégorie ne contenait exclusivement que des DBE (1).

Walsh a comparé diverses formulations de décapants à base de NMP pour décaper des revêtements à base d'acrylique, d'époxy, de polyuréthane et d'alkyde. Les cosolvants utilisés comprenaient un mélange d'hydrocarbures aliphatiques, le 3-éthoxypropionate d'éthyle, les DBE, un éther de glycol et des agents épaississants. La NMP décape plus lentement que le dichlorométhane parce que ce dernier est une molécule plus petite, que sa tension de vapeur est plus élevée et sa tension superficielle est inférieure. En modifiant la tension superficielle des mélanges de NMP à la baisse par l'ajout d'un agent tensioactif non ionique, l'auteur a réussi à augmenter la vitesse de décapage des peintures les plus coriaces. La baisse de tension superficielle la plus importante a été mesurée dans le mélange NMP (80 %)/DBE (12 %)/éther monométhylrique du tripropylène glycol (TPM) (7 %) (115). Pour le décapage de revêtements séchant par évaporation du solvant tels que les nitrates de cellulose, les acryliques, les peintures au latex ainsi que pour les alkydes, le fabricant BASF suggère le mélange moins dispendieux suivant : NMP (12 %), 3-éthoxypropionate d'éthyle (6,7 %), DBE (80 %) et un épaississant (1,3 %) (11).

Le fabricant Monsanto a testé une dizaine de mélanges des solvants suivants pour le décapage de deux émaux à l'alkyde et d'un vernis au polyuréthane à un composant : NMP, TPM et DBE. Le mélange 50/50 NMP/DBE s'est avéré le plus performant suivi, en tenant compte des coûts, du mélange 33,3/33,3/33,3 NMP/TPM/DBE (76).

Jackson a testé quatre décapants dont deux à base de DBE et deux à base de dichlorométhane. Le tableau II donne la composition des décapants à base de DBE.

Tableau II
Composition de deux décapants à base de DBE (56)

Ingrédients	Décapant # 1	Décapant # 2
DBE ¹	40	47
NMP	15	18
Solvesso 150 ²	40	-
Conosol C-200 ³	-	31
Oléate de potassium ⁴ (50 % H ₂ O)	4	3
Methocel 311 ⁵	0,9	0,9

¹ Adipate diméthylrique (24 %) + glutarate diméthylrique (75 %)

² Naphta aromatique lourd (No. CAS : 64742-94-5) (Imperial Oil Ltd, Toronto, ON)

³ Distillat de pétrole, hydrotraité, léger (No. CAS : 64742-47-8) (Conoco, Houston, TX)

⁴ No. CAS : 143-18-0

⁵ Épaississant cellulosique (Dow Chemical Co., Midland, Michigan)

L'auteur a testé les décapants sur les huit systèmes de peinture suivants : (1) peinture extérieure latex acrylique sur un apprêt à l'alkyde; (2) peinture alkyde extérieure sur un apprêt à l'alkyde; (3) laque au nitrate de cellulose; (4) peinture intérieure latex acrylique/vinyle sur un apprêt à l'alkyde; (5) peinture époxy sur un apprêt à l'alkyde; (6) vernis polyuréthane; (7) peinture époxy maritime sur un apprêt pour fibre de verre; (8) vernis alkyde maritime. Les peintures étaient appliquées en trois couches sur des planches en bois avec une journée de séchage entre chaque couche suivi d'un séchage à l'air de cinq jours puis d'un étuvage à 49 °C pendant deux semaines. Les planches peintes ont ensuite été entreposées à l'air libre pendant 60 jours avant les tests. Les tests ont été effectués à une température d'environ 24 °C. L'auteur a utilisé un pinceau pour appliquer d'épaisses couches de décapant. Il a utilisé environ deux fois plus de décapants à base de dichlorométhane que de décapants à base de DBE pour recouvrir les mêmes surfaces de revêtement à décaper. Les décapants à base de DBE ont été mis en contact avec la surface pendant 30 minutes alors que les décapants à base de dichlorométhane ont été mis en contact pendant 20 minutes. Les résultats de l'auteur indiquent que la performance des décapants à base de DBE est généralement aussi bonne que celle des décapants à base de dichlorométhane. Les peintures époxy sont les revêtements les plus résistants au décapage pour les deux types de décapants (traditionnel et DBE). Le décapant # 2 (Tableau II) est plus performant que le décapant # 1 sur ces peintures coriaces. Le décapage avec les décapants à base de DBE est plus lent que celui des décapants traditionnels par un facteur de 1,5 (56).

Le tableau III présente deux formulations de décapants à base de DBE proposées par Krizan et coll. et incorporant d'autres solvants adjuvants.

Tableau III
Formulations de décapants à base de DBE accompagnés de solvants adjuvants (66)

Ingrédients	Décapant A	Décapant B
DBE ¹	15,6	35
Carbonate de propylène ²	15,6	
NMP ³	31,3	
Diméthylsulfoxyde ⁴		28
Éther monométhylrique du dipropylène glycol ⁵		25
3-Éthoxypropionate d'éthyle ⁶		5
Eau		1
Épaississant		1
Agent tensioactif		4,5
Bentonite ⁷	37,5	

¹ Adipate diméthylrique (24 %) + glutarate diméthylrique (75 %); ² No. CAS : 108-32-7; ³ No. CAS : 872-50-4; ⁴ No. CAS : 67-68-5; ⁵ No. CAS : 34590-94-8; ⁶ No. CAS : 763-69-9; ⁷ Silicate hydraté d'aluminium (argile), No. CAS : 1302-78-9

Les auteurs rapportent que le décapant A serait très efficace sur les peintures domestiques (c'est-à-dire alkyde et latex) alors que le décapant B donnerait des résultats supérieurs à tous les décapants commerciaux de remplacement (sans dichlorométhane) évalués (66).

Turner a comparé l'efficacité en laboratoire de cinq décapants commerciaux sur trois types de vernis pour bois. La nature des constituants des décapants était la suivante : (1) dichlorométhane + méthanol + toluène + acétone + cire; (2) NMP + glutarate diméthylrique + adipate diméthylrique + succinate diméthylrique; (3) même que (2) mais en proportions différentes; (4) NMP + d-limonène; (5) H₂O + adipate diméthylrique + glutarate diméthylrique + deux silicates. Les trois vernis comprenaient un nitrate de cellulose, un revêtement non spécifié à haut pourcentage de solide ainsi qu'un revêtement aqueux. Les revêtements étaient appliqués de façon à simuler les pratiques de l'industrie du meuble : application successive d'une teinture, d'un bouche-pores et d'un vernis avec une étape de cuisson. L'auteur indique que le décapant no. 4 était le plus performant. Cependant les trois décapants les plus performants (no. 3, 4 et 5), dont deux sont à base de DBE, avaient des scores très proches (104).

La société Dupont propose des solutions aqueuses concentrées de DBE sous la forme de micro-émulsions. À l'encontre des émulsions traditionnelles qui sont opaques et d'apparence laiteuse, les micro-émulsions sont translucides. Dupont affirme que les performances de ses micro-émulsions se comparent favorablement à celles des décapants à peinture commerciaux lors de tests en laboratoire sur diverses peintures commerciales non spécifiées (39).

4.4.2 Nettoyage

Les DBE peuvent être utilisés pour le nettoyage de divers substrats dans plusieurs secteurs industriels, notamment pour les équipements dans les industries de la fabrication d'objets en polyester stratifié à la fibre de verre et d'objets moulés en polyuréthane ainsi que pour le nettoyage lors de la fabrication des cartes de circuits imprimés en électronique.

4.4.2.1 Polyester stratifié à la fibre de verre

L'acétone est le solvant le plus utilisé dans l'industrie de la fabrication d'objets en polyester stratifié à la fibre de verre pour le nettoyage des équipements (108). Ce solvant très volatil s'enflamme facilement et c'est en raison notamment du risque d'incendie qu'il est préférable de le remplacer par un nettoyant moins inflammable. Les DBE sont utilisés à cet effet dans certaines entreprises étasuniennes (108).

Les mélanges commerciaux de base de DBE, présentés au tableau I, peuvent être utilisés pour le nettoyage des instruments par simple récurage dans un contenant ouvert. Parce que les DBE ne s'évaporent pas facilement, il est nécessaire d'employer une procédure spéciale pour le nettoyage des rouleaux et pinceaux utilisés pour l'application de la résine de polyester. DuPont Canada suggère notamment de les suspendre pour les faire égoutter ou d'utiliser de l'air comprimé pour récupérer l'excès de solvant (33). Cette dernière procédure doit toutefois être utilisée avec prudence en raison du risque d'évaporation et

d'éclaboussure et doit être mise en œuvre dans un endroit bien ventilé. Enfin, la ligne d'approvisionnement du fusil d'application de l'enduit gélifié (« gel coat ») ainsi que celle du fusil-hachoir (« chopper-gun ») peuvent être purgées à l'aide de DBE (33).

Une entreprise étasunienne aurait réduit ses coûts de nettoyage de 60 % en substituant les DBE à l'acétone (108). De même la société W.R. Grace (Fort Worth, TX) aurait réduit ses émissions atmosphériques d'acétone de 92 % en passant de 75 tonnes à 6 tonnes par an par l'utilisation de DBE pour le nettoyage des équipements. Ce fabricant expédie ses DBE usés à l'extérieur pour être utilisés comme combustible (9).

La compagnie Hatteras Yachts (High Point, NC), un fabricant de navires de plaisance en polyester renforcé à la fibre de verre, a substitué les DBE à un mélange commercial de dichlorométhane, 1,1,1-trichloroéthane, acétone et toluène, utilisé dans le nettoyage des équipements. Afin de faciliter le passage aux DBE, la direction de l'entreprise a imposé des limites individuelles à l'utilisation de l'ancien solvant tout en permettant un usage illimité des DBE. Les DBE étant moins volatils, les employés n'ont plus besoin de faire tremper les chiffons pour bien les imbiber comme cela était le cas avec l'ancien solvant. De plus les DBE peuvent être utilisés plus longtemps que l'ancien mélange pour les opérations de nettoyage par immersion. Des sessions de formation ont été organisées avant et après l'introduction des DBE. Lors d'une première session, on a présenté les caractéristiques des DBE, leur manipulation et les raisons de la substitution pour terminer avec une longue période de questions. Lors de la deuxième session, les travailleurs ont expliqué leur expérience sur la performance des DBE et les problèmes associés (109).

Par ailleurs, la société Mirolin Industries (Toronto, ON) qui fabrique des accessoires de salles de bain aurait tenté de substituer les DBE au dichlorométhane. Les DBE n'auraient pas été choisis en raison de problèmes d'embrouillement de la vision chez les employés travaillant en espace confiné (20).

Pour prévenir la survenue de la vision brouillée chez les travailleurs exposés aux DBE, la société DuPont Canada recommande que pour chaque contenant de DBE ouvert à l'air libre en entreprise, on fournisse un débit d'air minimum de 6 000 cfm (2,83 m³/s) afin d'obtenir un facteur de sécurité de quatre par rapport à leur recommandation de valeur limite d'exposition professionnelle (voir la section 8.1). Pour un atelier possédant une surface de 400 pi² (37 m²) par 10 pi (3 m) de hauteur, la vitesse de l'air près du contenant de DBE serait d'environ 20 fpm (0,10 m/s). Cette vitesse d'air serait adéquate pour une petite surface d'évaporation d'environ 1 pi² (0,09 m²), ce qui équivaut environ à un gallon (4,6 L) de DBE. Pour un atelier où la surface d'évaporation est plus grande que 1 pi² (0,09 m²) il faudrait augmenter la vitesse à 50-100 fpm (0,25-0,50 m/s) (33).

4.4.2.2 Polyuréthane

Le dichlorométhane est utilisé pour nettoyer l'équipement employé dans la fabrication d'objets moulés en polyuréthane. Dans une étude en entreprise, Jackson et Gallagher ont étudié les DBE et l'éther monométhylque du tripropylène glycol (TPM) comparativement au dichlorométhane pour purger de tels équipements. Le polyuréthane à nettoyer était

composé d'un système de prépolymère à base de diisocyanate de toluène (TDI) et du durcisseur 4,4'-méthylène bis(o-chloroaniline) (MBOCA). L'entreprise étudiée effectuait quelque 50 purges par cycle d'opération d'une durée de 8 heures. Chaque purge nécessitait de 104 à 118 ml de solvant pour nettoyer la buse qui assure le mélange. Les DBE nettoyaient mieux que le TPM qui a son tour nettoyait mieux que le dichlorométhane mais aucun solvant ne nettoyait parfaitement la buse. Par contre les DBE laissaient un résidu mou plus facile à enlever que le résidu dur laissé par le dichlorométhane. De plus, il fallait purger moins souvent en employant les DBE, entraînant ainsi un gain de productivité (58).

4.4.2.3 Électronique

Dans l'industrie électronique le 1,1,1-trichloroéthane et le CFC-113 étaient utilisés depuis plusieurs années pour le nettoyage des terminaisons en argent des condensateurs avant leur placage au nickel puis à l'étain. Kucera a décrit en détail l'implantation d'un système de nettoyage semi-aqueux à base d'un mélange d'hydrocarbures aliphatiques et de DBE sans agent tensioactif pour remplacer ces solvants halogénés. Le système comporte un nettoyage au solvant suivi d'un premier rinçage de l'émulsion couplé à une séparation par coalescence ainsi qu'un deuxième et troisième rinçages à l'eau avec ultrafiltration. Le solvant est pompé et circulé de même que les eaux de rinçage. La récupération du solvant usé par distillation à vide n'a pas été jugée rentable de sorte qu'il est par la suite employé comme combustible (67).

4.4.3 Peinture

À partir du milieu des années 70, la plupart des fabricants nord-américains de véhicules automobiles utilisaient des revêtements pour carrosserie contenant des DBE (54). Cependant, l'introduction graduelle des revêtements pigmentés à base d'eau dans cette industrie a contribué à leur remplacement. Jackson les a proposés comme substituts aux éthers de glycol basés sur l'éthylène glycol, toxiques pour le système reproducteur, notamment pour les peintures à base d'époxy, d'acrylique et de polyester (54). Jackson et Emanuel utilisent à cet effet la théorie des paramètres de solubilité de Hansen pour proposer des combinaisons et concentrations de solvants de remplacement incluant des DBE dans divers revêtements industriels (57). Cette théorie veut que les propriétés de solubilisation d'un solvant ou d'un mélange de solvants puissent être décrites à l'aide de trois paramètres se rapportant à l'énergie intermoléculaire : l'énergie de dispersion, l'énergie polaire et les ponts hydrogène. Ainsi deux solvants ou mélanges de solvants ayant des paramètres semblables auraient des propriétés de solubilisation comparables et pourraient être remplacés l'un par l'autre. Plusieurs fabricants de polymères utilisés dans la fabrication des peintures possèdent des logiciels de calcul des paramètres de Hansen pour aider les chimistes à trouver les proportions idéales des solvants de substitution dans leurs revêtements (10). À titre d'exemple la société Shell propose gratuitement son logiciel BlendProTM (96).

Malgré le fait que les DBE ont un taux d'évaporation beaucoup plus faible que plusieurs solvants utilisés dans les peintures industrielles, Jackson a démontré que les DBE ont une

baisse de leur taux d'évaporation plus rapide en fonction de la température que plusieurs autres solvants. Ceci milite en faveur de leur utilisation dans les revêtements à cuisson au four (55).

En raison de leurs propriétés physico-chimiques, Winfield affirme que les DBE permettent de réduire les composés organiques volatils (COV) dans divers revêtements notamment en augmentant le pourcentage de solides et en réduisant la viscosité. Les DBE permettraient également de formuler des revêtements ayant des points d'éclair plus élevés que les peintures traditionnelles tout en réduisant les coûts des matières premières (118). Un fabricant local de peintures industrielles a confié à l'un des auteurs qu'il utilise des DBE dans les revêtements à base de polyuréthane.

4.5 Coûts

Deux revendeurs locaux ont été contactés afin d'obtenir leur prix de vente. La Société Van Waters & Rogers Ltée (Lachine, QC) offre le grade de base de DBE (voir tableau I) à 2,44 \$/kg pour des quantités variant de 1 à 3 barils de 220 kg. La société Produits chimiques CCC (St-Laurent, QC) offre le même grade à 2,56 \$/kg pour une quantité de 1 à 2 barils de 222 kg ou 2,36 \$/kg pour 3 à 4 barils. Ces cotations étaient valides au 98/04/21.

5.0 Exposition humaine

Notre revue de la littérature scientifique n'a permis de trouver aucune donnée publiée sur l'exposition humaine aux DBE en milieu de travail.

La société E. I. du Pont de Nemours possède des résultats d'échantillonnage de l'air des locaux de travail effectué lors de l'utilisation des DBE pour le nettoyage des équipements dans l'industrie de la fabrication de yachts et bateaux en polyester stratifié à la fibre de verre. Cette compagnie rapporte un niveau de 7,4 ppm de DBE dans un espace confiné sans ventilation à l'intérieur de la coque d'un bateau, des niveaux variant de 1,5 à 5,5 ppm dans des situations de ventilation minimale à faible et des niveaux variant de < 0,1 à 1,3 ppm dans des situations de ventilation allant de passable à bonne. Les niveaux de constituants individuels des DBE et les durées d'échantillonnage n'ont pas été spécifiés par l'auteur (J. C. Olguin, memorandum interne de DuPont, sans date, obtenu par courrier de T. D. Krizan, DuPont, Wilmington, DE, le 2 avril 1998).

Le même auteur rapporte également des résultats en poste fixe dans une étude de simulation de l'application de décapants sur le dessus d'une table de verre mesurant 2,4 x 3,0 m dans une pièce sans ventilation. Le poste fixe était situé à 2,5 cm du substrat et la durée d'échantillonnage était de 6 heures. Trois décapants de marque « Safest Stripper » (3M, St-Paul, MN), fabriqués avec des DBE dans les proportions suivantes, ont été comparés : (1) le mélange de base de DBE de DuPont (voir le tableau I), (2) un mélange de 24 % d'adipate diméthylrique et 75 % de glutarate diméthylrique et (3) un mélange de 89 % d'adipate diméthylrique et 10 % de glutarate diméthylrique. Les résultats de l'analyse étaient respectivement de 3,7 ppm, 2,0 ppm et 0,9 ppm de DBE totaux (J. C. Olguin,

mémorandum interne de DuPont, sans date, obtenu par courrier de T. D. Krizan, DuPont, Wilmington, DE, le 2 avril 1998).

Un organisme de recherche sans but lucratif, le Midwest Research Institute (Kansas City, Missouri), commandité par le United States Environmental Protection Agency (USEPA) aurait également simulé l'utilisation d'un décapant à base de DBE dans une pièce avec seulement 0,5 changements d'air à l'heure. Cette situation serait typique d'une pièce résidentielle sans porte ni fenêtre ouverte. L'échantillonnage a été effectué en poste fixe à la hauteur de la zone respiratoire au centre de la pièce pendant trois heures. Le décapant ne contenait que du glutarate diméthylque et de l'adipate diméthylque. Les résultats sont présentés au tableau IV (J. C. Olguin, mémorandum interne de DuPont, sans date, obtenu par courrier de T. D. Krizan, DuPont, Wilmington, DE, le 2 avril 1998).

Tableau IV
Niveaux de DBE en ppm (mg/m^3) mesurés dans l'air lors d'une simulation
d'application d'un décapant dans une pièce résidentielle
fermée (J. C. Olguin, DuPont, mémo interne)

	Échantillon # 1	Échantillon # 2	Échantillon # 3
Glutarate diméthylque	0,72 (4,8)	0,75 (5,0)	0,63 (4,2)
Adipate diméthylque	1,1 (8,0)	1,3 (9,4)	1,1 (8,0)

Kayser, de la société E. I. du Pont de Nemours, a procédé à une simulation d'exposition aux DBE (mélange de base, voir tableau I) afin d'effectuer une comparaison avec le dichlorométhane. À cet effet un volontaire a porté trois pompes d'échantillonnage lors de l'application de DBE sur une surface d'acier mesurant 0,9 x 1,2 m pour un temps d'échantillonnage total d'une heure. Le volontaire appliquait le solvant sur la surface métallique à l'aide d'une lavette à raison d'une vingtaine de mouvements de va-et-vient pendant une minute puis se dégageait de la table d'application pour environ une minute. Ce cycle d'application-retrait a été répété trente fois. Environ 500 ml de solvant a ainsi été utilisé dans un entrepôt mesurant 7,3 x 11,6 m par 6,1 m de hauteur sans ventilation mécanique mais possédant une porte ouverte à chaque extrémité de la pièce et un orifice d'aération au plafond au dessus du poste de travail, ce qui engendrait une légère brise. L'adipate diméthylque et le succinate diméthylque n'ont pas été décelés ($< 0,2 \text{ ppm}$ ou $< 1,4 \text{ mg}/\text{m}^3$ et $< 1,2 \text{ mg}/\text{m}^3$ respectivement). Les concentrations en zone respiratoire de glutarate diméthylque étaient de 0,21 ppm ($1,4 \text{ mg}/\text{m}^3$), 0,23 ppm ($1,5 \text{ mg}/\text{m}^3$) et 0,33 ppm ($2,2 \text{ mg}/\text{m}^3$) (59).

6.0 Toxicologie

Il existe peu de données toxicologiques publiées sur les DBE, la plupart provenant du fabricant étasunien E. I. du Pont de Nemours. Il n'y a notamment pas d'étude publiée sur la toxicocinétique et le potentiel cancérigène.

6.1 Doses létales chez l'animal

La plupart des doses létales 50 (DL₅₀) rapportées dans cette section proviennent des fiches signalétiques d'un fabricant étasunien. Elle ont été publiées dans ces documents sous la forme suivante : DL₅₀ > x.

6.1.1 Succinate diméthylique

Citant un rapport du Research Institute for Fragrance Materials Inc. (Hackensack, NJ), Opdyke rapporte que la DL₅₀ par voie orale chez le rat et la DL₅₀ par voie cutanée chez le lapin pour le succinate diméthylique, se situent au delà de 5 g/kg de poids corporel (86).

6.1.2 Glutarate diméthylique

Le fabricant DuPont rapporte pour le glutarate diméthylique une DL₅₀ par voie orale chez le rat excédant 50 mg/kg et une DL₅₀ par voie cutanée chez le lapin excédant 200 mg/kg (37).

6.1.3 Adipate diméthylique

Singh et coll. rapportent une DL₅₀ par injection intrapéritonéale chez le rat de 1,81 ml/kg (1 920 mg/kg) pour l'adipate diméthylique (97). Le fabricant DuPont rapporte une DL₅₀ par voie orale chez le rat excédant 7 500 mg/kg et une DL₅₀ par voie cutanée chez le lapin excédant 200 mg/kg (38).

6.1.4 Mélanges de DBE

Les fabricants de DBE rapportent des doses létales sur leur mélange de base (voir tableau I). La société étasunienne DuPont rapporte une concentration létale 50 (CL₅₀) par inhalation pendant 4 heures chez le rat excédant 11 000 mg/m³ et pendant 1 heure, excédant 10 700 mg/m³ (38). Le fabricant canadien DuPont rapporte une DL₅₀ par voie orale chez le rat égale à 8 191 mg/kg et une DL₅₀ par voie cutanée chez le lapin excédant 2 250 mg/kg (35). Le fabricant Rhône-Poulenc rapporte une DL₅₀ par voie orale chez le rat excédant 2 000 mg/kg (93). Le fabricant Monsanto rapporte une DL₅₀ par voie orale chez le rat qui se situerait entre 500 et 5 000 mg/kg et une DL₅₀ par voie cutanée chez le lapin excédant 5 000 mg/kg (75).

6.2 Irritation

Nair et coll. ont étudié le potentiel d'irritation sensorielle par la baisse du débit respiratoire chez la souris à la suite d'expositions atmosphériques à diverses concentrations de chacun des trois DBE ainsi que de deux mélanges (1^{er} : 25 % succinate diméthylique + 63 % glutarate diméthylique + 12 % adipate diméthylique; 2^{ième} : 23 % succinate diméthylique + 57 % glutarate diméthylique + 20 % adipate diméthylique). Les auteurs ont noté que la toxicité des mélanges étudiés était plus élevée que ce qui aurait été prévu sur la base de l'hypothèse de l'additivité des effets des composants individuels (78).

La banque de données CHRIS (Chemical Hazards Response Information System) du U.S. Coast Guard rapporte que les vapeurs de succinate diméthylque, glutarate diméthylque et adipate diméthylque peuvent causer le picotement des yeux chez l'humain (105).

6.3 Toxicologie nasale

Des chercheurs du fabricant étasunien E. I. du Pont de Nemours ont mis en évidence certaines lésions nasales par inhalation de DBE chez le rat.

Kelley et coll. ont exposé trente rats de chaque sexe à 0, 160 ou 400 mg/m³ de vapeur de DBE ou à 1000 mg/m³ d'un mélange vapeur/aérosol de DBE à raison de 6 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 15 semaines. Ces concentrations d'exposition correspondent respectivement à des doses de 0, 33, 83 et 207 mg de DBE par kg de poids corporel par jour. Les auteurs rapportent une légère dégénérescence de l'épithélium olfactif proportionnelle à la dose de DBE dans chacun des groupes exposés (61).

Keenan et coll. ont exposé des groupes de 40 rats mâles et 40 rats femelles à chacune des concentrations de vapeur de DBE suivantes : 0, 20, 76, 390 mg/m³ jusqu'à 13 semaines à raison de 6 heures par jour et 5 jours par semaine. Ces concentrations d'exposition correspondent respectivement à des doses de 0, 4, 16 et 81 mg de DBE par kg de poids corporel par jour. La composition des DBE était la suivante : 67 % glutarate diméthylque, 17 % succinate diméthylque, 17 % adipate diméthylque. La proportion des esters dans l'air des chambres d'inhalation était la même que dans le liquide. Le corps entier des animaux était exposé aux vapeurs de DBE. Après 7 semaines d'exposition, 10 mâles et 10 femelles ont été euthanasiés dans chacun des groupes d'exposition. Après 13 semaines d'exposition, 20 mâles et 20 femelles ont été euthanasiés dans chacun des groupes. Six semaines après l'arrêt de l'exposition, les 10 mâles et 10 femelles restantes ont été euthanasiés. Les auteurs ont appliqué à tous les animaux une batterie de tests incluant l'analyse de l'urine et du sérum, l'hématologie et un examen pathologique grossier. La cavité nasale de tous les rats a été examinée au microscope. Lors de l'euthanasie des animaux les paramètres suivants ont été mesurés : poids corporel et poids des organes suivants : coeur, reins, foie, poumons, rate, cerveau, thymus, testicules. On rapporte une baisse de la prise de poids chez les femelles exposées aux DBE comparativement aux témoins. Cependant les rates exposées qui ont été euthanasiées 6 semaines après la fin de l'exposition n'avaient pas de ralentissement de croissance par rapport aux témoins. Les auteurs ne rapportent pas de signes cliniques observables durant l'exposition aux DBE. Par ailleurs ceux-ci mentionnent qu'il y aurait eu une différence significative dans les paramètres urinaires et hématologiques entre les animaux exposés et les témoins mais que ces différences se situaient généralement à l'intérieur des variations biologiques et seraient ainsi non reliés à l'exposition aux DBE. Aucune différence de poids d'organes chez les mâles n'a été notée. Les femelles exposées à 390 mg/m³ durant 7 semaines d'exposition montraient une baisse de 9,2 % du poids absolu du foie et de 15,5 % après 13 semaines. Par contre, il n'y avait aucune différence de poids d'organes chez tous les rats euthanasiés 6 semaines après la fin de l'exposition. Après 7 semaines d'exposition, Keenan et coll. rapportent une dégénérescence minimale à légère de l'épithélium olfactif dans la cavité nasale des rats

exposés à 76 et 390 mg/m³ de DBE, surtout sur le méat dorsal et le long de la partie dorsale du septum nasal. Cette dégénérescence est qualifiée de nécrose initiale et est caractérisée par une perte des cellules sensorielles et sustentatrices. Après 13 semaines, les auteurs rapportent une dégénérescence de l'épithélium olfactif à toutes les concentrations chez les femelles et aux deux concentrations les plus élevées chez les mâles. Six semaines après l'arrêt de l'exposition, il n'y avait pas de dégénérescence accrue mais plutôt des indications de tentatives de réparation des lésions nasales chez les animaux exposés. On rapporte une dose sans effet observable (« No Observed Effect Level » = NOEL) de 20 mg/m³ pour la dégénérescence nasale chez le rat mâle. Par comparaison avec la toxicité nasale d'autres esters, les auteurs suggèrent l'implication des carboxylestérases, présentes dans la muqueuse nasale, qui causeraient l'hydrolyse des esters en leurs acides correspondants. Ces derniers pourraient être les métabolites toxiques ultimes, responsables des effets décrits plus haut (60).

Dans une recherche dont le but principal était l'étude de l'effet des DBE inhalés sur la reproduction chez le rat, Kelly et coll. ont exposé des groupes de 20 rats mâles et de 20 rats femelles à des concentrations aériennes de 0 (témoins), 160, 400 (vapeur maximale atteignable) et 1 000 mg/m³ (aérosol) d'un mélange de DBE à raison de 6 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 14 semaines durant la période avant l'accouplement et 7 jours par semaine pendant 8 semaines durant l'accouplement, la gestation et la lactation. Ces concentrations correspondent approximativement et respectivement à des doses de 0, 33, 83 et 207 mg de DBE par kg de poids corporel par jour. Cette étude est décrite plus longuement dans la section 6.5. Les auteurs rapportent une métaplasie squameuse caractérisée par l'aplatissement des cellules épithéliales, chez tous les animaux exposés aux DBE, au niveau de l'épithélium olfactif, surtout sur le méat dorsal et le long de la partie dorsale du septum nasal. On rapporte également une inflammation suppurative de minimale à légère, particulièrement chez les rats exposés à 400 et 1 000 mg/m³. Le processus métaplasique a également été observé sur l'épithélium respiratoire de la cavité nasale des animaux exposés à la plus forte concentration (62).

Plusieurs études ont démontré le rôle de la libération des métabolites acides catalysée par les carboxylestérases dans la toxicité des DBE dans les fosses nasales chez le rat (15; 77; 101; 102). Trela et coll. ainsi que Olsen et coll. ont démontré que la cible impliquée dans la dégénérescence de l'épithélium olfactif chez le rat exposé aux DBE est la cellule sustentatrice riche en carboxylestérase (85; 103). La toxicité serait finalement causée par une diminution du pH intracellulaire (14).

Selon Bogdanffy et Frame, la capacité métabolique du tissu nasal humain serait beaucoup plus faible que celle du rat, suggérant ainsi que le risque de survenue de lésions nasales induites par les DBE est réduite chez l'homme (14).

En résumé, les données de Kelly et coll. indiquent que la plus faible dose observée produisant un effet délétère (LOAEL = « Lowest Observed Adverse Effect Level ») serait égale à 33 mg de DBE par kg de poids corporel (160 mg/m³) par jour chez le rat pour la dégénérescence de l'épithélium olfactif (61). Les données de Keenan et coll. indiquent que le rat femelle est plus sensible que le rat mâle : le NOEL serait de 4 mg de DBE par kg de poids corporel (20 mg/m³) par jour pour le rat mâle alors que cette dose correspond

au LOAEL pour la femelle (60). Un LOAEL équivalent à 33 mg/kg de poids corporel (160 mg/m³) peut être déduit de l'étude de Kelly et coll. quant à la survenue de la métaplasie squameuse de l'épithélium olfactif chez le rat (62).

6.4 Mutagenèse et génotoxicité

Andersen et Jensen ont étudié le potentiel mutagène du succinate diméthylique avec le test d'Ames sur quatre souches de *Salmonella typhimurium* avec microsomes à cinq concentrations variant de 32 à 20 000 µg/plaque. Le succinate diméthylique ne s'est pas avéré mutagène avec et sans activation métabolique par la fraction S9 du foie de rat induit au biphényl polychloré (Arochlor 1254) (8).

Vlachos et coll. ont étudié le potentiel mutagène et la génotoxicité d'un mélange de DBE (67 % glutarate diméthylique + 17 % succinate diméthylique + 16 % adipate diméthylique) dans une batterie de tests. Ce mélange s'est avéré non mutagène dans le test de mutation réverse sur six souches de *Salmonella typhimurium* avec ou sans activation métabolique. Des résultats négatifs ont également été rapportés dans un test de mutation sur une souche de *Salmonella typhimurium* avec activation métabolique par la fraction S9 du tissu olfactif du rat femelle. L'inhalation du mélange n'a pas induit de micronoyaux dans la moelle osseuse chez la souris. Aucune aberration chromosomique n'a été induite lors d'un traitement *in vitro*, d'une durée de trois heures, sur des lymphocytes issus du sang circulant de volontaires des deux sexes, sans activation métabolique, à des concentrations en deçà de 6,6 mg/ml. Cependant, il y avait une augmentation significative des aberrations chromosomiques à des concentrations du mélange au delà de 3,3 mg/ml, avec activation métabolique, dans les lymphocytes des sujets de sexe féminin. De la cytotoxicité ayant été rapportée lors des essais, les auteurs expliquent ce résultat par une sensibilité des cellules aux effets cytotoxiques des DBE, consécutive à la libération des acides correspondants aux fortes concentrations. Vlachos et coll. concluent à l'absence de danger génotoxique (113).

6.5 Toxicologie de la reproduction et du développement

Singh et coll. ont étudié le potentiel foetotoxique et tératogène de l'adipate diméthylique chez le rat. Les auteurs ont d'abord déterminé la DL₅₀ par injection intrapéritonéale chez ce rongeur (1 920 mg/kg). Des groupes de cinq rates en gestation ont reçu des doses équivalentes à un trentième (64 mg/kg), un dixième (192 mg/kg), un cinquième (383 mg/kg) et un tiers (639 mg/kg) de cette DL₅₀ par voie intrapéritonéale au 5^e, 10^e et 15^e jour de gestation. Les rates ont été sacrifiées au 20^e jour de gestation. Les paramètres suivants ont été étudiés : le nombre de résorptions et de mort-nés, les malformations grossières des fœtus, les malformations squelettiques, les anomalies viscérales et le poids fœtal. Il n'y a eu aucun fœtus mort-né. Seule la dose correspondant à un dixième de la DL₅₀ a entraîné une augmentation significative des résorptions. Dans le groupe ayant reçu la plus forte dose (un tiers de la DL₅₀), un des fœtus avait des hémangiomes sur le cou, un autre en avait sur l'épaule, un autre en avait sur la patte de devant et un autre en avait sur la cuisse droite. L'examen squelettique de ce groupe a révélé que 5 des 26 fœtus avaient les vertèbres frontales allongées et soudées au sternum. Ce même groupe avait également

deux anomalies viscérales : un fœtus n'avait pas de rein gauche et un autre fœtus avait l'orifice anal anguleux. Dans le deuxième groupe le plus fortement exposé (un cinquième de la DL_{50}), un fœtus n'avait pas de queue, 2 des 29 fœtus avaient quelques vertèbres postérieures allongées et soudées entre elles et deux fœtus avaient des vertèbres antérieures allongées et soudées au sternum. La dose correspondant au dixième de la DL_{50} n'a produit qu'un fœtus avec des hémangiomes sur l'arrière-train droit alors que 2 des 27 fœtus avaient des vertèbres antérieures allongées et soudées au sternum. La dose la plus faible (un trentième de la DL_{50}) n'a produit aucune anomalie grossière, squelettique ou viscérale. Seules les deux doses les plus élevées ont provoqué une augmentation significative des anomalies grossières et des malformations squelettiques. Les auteurs concluent que le NOEL pour l'ensemble des effets délétères étudiés est supérieur à un trentième de la DL_{50} (64 mg/kg) et inférieur à un dixième de la DL_{50} (192 mg/kg) (97). Notons par ailleurs que les auteurs n'ont pas rapporté de données sur la toxicité maternelle, ce qui rend problématique l'interprétation de leurs résultats.

Alvarez et coll. ont étudié le potentiel foetotoxique et tératogène d'un mélange de DBE (65 % glutarate diméthylque + 18 % succinate diméthylque + 17 % adipate diméthylque) administré par inhalation chez le rat. Des groupes de 20 à 24 rates gravides ont été exposées à des concentrations de 0, 160, 400 et 1 000 mg/m³ du mélange de DBE à raison de 6 heures par jour du 7^e au 16^e jour de gestation. Ces concentrations d'exposition correspondent approximativement et respectivement à des doses de 0, 33, 83 et 207 mg de DBE par kg de poids corporel par jour. Les animaux ont été euthanasiés au 21^e jour de gestation. La proportion relative des esters individuels dans l'air des chambres d'inhalation était la même que dans le liquide. Soixante-treize pour cent des particules d'aérosol de DBE dans la chambre d'inhalation de la concentration la plus élevée avaient un diamètre aérodynamique en deçà de 10 µm. La proportion vapeur/aérosol à cette même concentration variait de 41-44 à 56-59 %. Le corps entier des animaux était exposé aux solvants. Les paramètres étudiés pour la toxicité maternelle comprenaient le poids corporel, la quantité de nourriture ingérée, un examen pathologique grossier et le poids du foie. Les paramètres étudiés pour évaluer le potentiel foetotoxique et tératogène comprenaient le nombre de corps jaunes, d'implants, de fœtus, de fœtus résorbés, le poids des fœtus ainsi que les altérations viscérales et squelettiques. Les auteurs rapportent une diminution de la prise de poids chez les mères exposées à 400 et 1 000 mg/m³ ainsi qu'une diminution de l'alimentation durant les six premiers jours d'exposition chez ces deux mêmes groupes. Des taches sont apparues dans la région nasale et sur le poil des animaux exposés surtout à la plus forte concentration. Une baisse non significative du poids hépatique est rapportée chez les mères exposées aux deux plus fortes concentrations de DBE. Les auteurs n'ont rapporté aucune différence significative chez les fœtus des mères exposées comparativement aux fœtus témoins quant à la toxicité sur la reproduction et le développement (7).

Des chercheurs du fabricant étasunien DuPont ont étudié l'effet des DBE sur la reproduction chez le rat. Quatre groupes de 20 rats mâles et quatre groupes de 20 rats femelles ont été exposés à des concentrations aériennes de 0 (témoins), 160, 400 (vapeur maximale atteignable) et 1 000 mg/m³ (aérosol) d'un mélange de DBE à raison de 6 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 14 semaines durant la période avant

l'accouplement et 7 jours par semaine pendant 8 semaines durant l'accouplement, la gestation et la lactation. Ces concentrations d'exposition correspondent approximativement et respectivement à des doses de 0, 33, 83 et 207 mg de DBE par kg de poids corporel par jour. Le diamètre moyen des gouttelettes de DBE à la concentration de 1 000 mg/m³ avoisinait 6 µm alors que 69 % de celles-ci étaient plus petites que 10 µm. Le rapport massique moyen vapeur/aérosol était de 41/59 %. La proportion des congénères de DBE dans le mélange liquide et dans l'atmosphère des chambres d'exposition était la suivante : 65 % glutarate diméthylque, 18 % succinate diméthylque, 17 % adipate diméthylque. Le corps entier des animaux était exposé aux DBE. L'exposition a été interrompue du 19^e jour de gestation au 3^e jour post-partum afin de prévenir l'accouchement pendant l'exposition et pour assurer l'alimentation maternelle continue des nouveau-nés lors des premiers jours suivant la naissance. L'exposition s'est terminée à la fin de la période de lactation. La durée totale de l'exposition était donc d'environ 22 semaines. Les auteurs rapportent une baisse de poids chez les rates exposées à 400 mg/m³ lors de la dernière semaine de l'étude et une baisse de poids chez les deux sexes à la concentration de 1 000 mg/m³ à partir de la 7^e semaine. On a observé aucune différence entre les animaux des deux sexes exposés et les témoins concernant la fertilité, la durée de gestation, la grosseur des portées, la viabilité et la performance de lactation. Les auteurs rapportent cependant une légère baisse statistiquement significative de l'indice de fertilité (nombre de nouveau-nés vivants / nombre total des nouveau-nés) pour le groupe exposé à 160 mg/m³. Kelly et coll. ne considèrent pas que cette observation soit liée à l'exposition aux DBE en raison de l'absence du phénomène aux deux concentrations les plus élevées. Le poids à la naissance des nouveau-nés et des rejetons après 21 jours de sevrage était plus faible chez les animaux exposés à 1 000 mg/m³. Les auteurs rapportent que le taux de fertilité dans le groupe témoin était plus faible que celui des groupes exposés (60 % versus 75 à 90 % respectivement). Même si la cause de ce phénomène demeure incertaine, les auteurs affirment que cela n'a pas affecté l'évaluation de la toxicité parce que la fertilité dans les groupes de rats exposés se situait à l'intérieur des taux historiques de fertilité observés dans leur laboratoire. Le rapport massique foie/corps était légèrement plus faible chez les géniteurs exposés aux deux concentrations les plus élevées comparativement aux témoins. On a aussi observé une légère baisse du poids du cœur et des reins des rats femelles exposés aux deux concentrations les plus élevées. Une légère baisse du poids absolu de la rate et une légère augmentation du poids relatif du cerveau ont été observées chez les femelles exposées à 1 000 mg/m³. Les auteurs considèrent ces trois dernières observations d'une portée biologique négligeable à défaut d'une relation dose-réponse. Enfin, on rapporte une légère baisse du poids relatif des reins chez les nouveau-nés femelles dont les parents étaient exposés à 400 mg/m³ en notant toutefois l'absence d'une relation dose-réponse. Kelly et coll. concluent que les DBE inhalés n'interfèrent pas de façon significative avec le processus de reproduction du rat en dépit d'effets toxiques faibles à modérés chez les géniteurs. En outre, l'absence de changements structuraux grossiers chez les nouveau-nés indiquerait également que ces substances ne sont pas toxiques pour le fœtus ou l'embryon en l'absence de toxicité maternelle dans cette espèce (62).

En résumé, l'étude de Singh et coll. rapporte un NOEL équivalant à 64 mg/kg chez le rat pour la toxicité fœtale et le développement (97). Alvarez et coll. rapportent un NOEL

pour les altérations viscérales et squelettiques étudiées chez le rat équivalent à 207 mg/kg (1 000 mg/m³). Le NOEL pour la toxicité maternelle dans cette dernière étude était de 33 mg/kg (160 mg/m³) (7). Kelly et coll. rapportent un NOEL pour les paramètres de reproduction chez le rat équivalent à 207 mg/kg (1 000 mg/m³) (62).

6.6 Cancérogénicité

Aucune étude de cancérogénicité n'a été identifiée dans la littérature scientifique. Cependant, dans leur étude de la toxicité sur la reproduction (section 6.5), Kelly et coll. rapportent un sarcome méningé entourant la région olfactive du cerveau d'un rat mâle dont le corps entier était exposé à 1 000 mg/m³ d'un mélange de DBE pendant 22 semaines (62).

6.7 Autres études

Le USEPA a rapporté le cas d'une personne qui a souffert d'une vision brouillée (« blurred vision ») lors de l'utilisation d'un décapant à base de DBE dans un endroit peu ventilé. Le mélange de DBE contenait un pourcentage élevé de glutarate diméthylque et de succinate diméthylque et moins de 20 % d'adipate diméthylque (110).

Le fabricant E.I. du Pont de Nemours a reconnu le fait que les DBE peuvent entraîner une vision brouillée chez ceux qui les manipulent mais seulement s'ils sont utilisés de façon inadéquate, c'est-à-dire dans des conditions telles que la valeur limite admissible proposée par l'entreprise est dépassée (> 1,5 ppm de DBE totaux pondéré sur 8 heures). Il n'y aurait eu aucun cas de vision brouillée associé à l'utilisation des deux esters les moins volatils, c'est-à-dire en éliminant le succinate diméthylque (56).

Pour satisfaire aux exigences du USEPA en vertu du Toxic Substances Control Act (TSCA), un consortium de fabricants et d'importateurs étasuniens de DBE a conclu récemment une entente avec l'agence étasunienne relative à un programme d'études toxicologiques comprenant :

- des tests de toxicité génétique sur les trois esters;
- une étude de toxicité subchronique par inhalation chez le rat pour chacun des esters afin d'apprécier leur neurotoxicité et les effets potentiels sur la spermatogenèse et la prolifération cellulaire;
- une étude de toxicité sur le développement chez le lapin avec un des esters;
- des études de toxicité cutanée d'une durée de deux semaines sur un mélange de DBE et sur chacun des esters (J. C. Olguin, DuPont, Wilmington, DE; courriel adressé le 7 mai 1998 à G. Roberts, DuPont Canada, Mississauga, ON).

Les résultats de ces études n'ont pas encore été publiés.

7.0 Environnement

7.1 Devenir environnemental

À notre connaissance aucune donnée de mesurage n'a été publiée quant au devenir environnemental des trois esters constituant les DBE. Les quantités émises dans l'air atmosphérique sont probablement petites en raison de leur faible tension de vapeur. Toutefois leur utilisation dans la composition de peintures industrielles appliquées par pulvérisation pourrait entraîner des émissions si ces dernières ne sont pas maîtrisées à la source. Le chauffage potentiel des DBE pour accroître leur pouvoir de décapage ou de nettoyage pourrait également entraîner l'émission des solvants dans l'air extérieur. Enfin l'absence de traitement des eaux usées générées lors du rinçage, en aval du nettoyage aux DBE, pourrait être la source d'une contamination des cours d'eau.

Le United States National Library of Medicine (USNLM) rapporte que l'adipate diméthylque libéré dans le sol n'aurait pas tendance à s'évaporer mais plutôt à être lessivé dans la nappe phréatique à défaut d'hydrolyse complète. Ce même ester libéré dans l'eau n'aurait pas tendance à s'évaporer ou à s'adsorber fortement aux sédiments. Par analogie avec d'autres esters le USNLM affirme que l'on pourrait s'attendre à une lente hydrolyse dans l'eau avec une demi-vie ($t_{1/2}$) se calculant en années. Le USNLM rapporte une $t_{1/2}$ estimée à 2,7 jours pour l'adipate diméthylque libéré dans l'air atmosphérique (106).

En ce qui concerne maintenant le succinate diméthylque, le USNLM rapporte des données issues d'études où l'on a estimé divers paramètres de son devenir environnemental à partir de modélisations. Ainsi la demi-vie atmosphérique de la vapeur de succinate diméthylque serait de 14 jours. Le succinate diméthylque rejeté dans le sol aurait une très grande mobilité en vertu de son coefficient de partage carbone organique / eau (K_{oc}) estimé à 37. On ne s'attendrait pas à ce que le succinate diméthylque se volatilise à partir de la surface d'un sol sec ou humide en raison de sa tension de vapeur estimée à 0,46 mm Hg @ 25 °C et de son coefficient de Henry estimé à $6,4 \times 10^{-8}$ atm.m³/mole @ 25 °C. Rappelons que le coefficient de Henry est une mesure de la tendance d'une substance à s'échapper d'une solution diluée. Le succinate diméthylque rejeté dans l'eau n'aurait pas tendance à s'adsorber sur les solides en suspension ni dans les sédiments en vertu de son K_{oc} égal à 37. Le phénomène de bioaccumulation du succinate diméthylque dans les organismes aquatiques est jugé faible si l'on se fie à son facteur de bioconcentration (BCF) estimé à 1,1 et que l'on définit comme la concentration d'une substance dans de tels organismes par rapport à sa concentration dans l'eau. L'évaporation du succinate diméthylque à partir de la surface des eaux n'est pas jugée importante d'après son coefficient de Henry. Le succinate diméthylque se dégrade facilement dans l'environnement en l'espace de quelques semaines. La demi-vie pour l'hydrolyse du succinate diméthylque est estimée à 85 jours et 2,3 ans aux pH de 8 et 7 respectivement, ce qui indiquerait que ce phénomène est négligeable (107).

La société Chemoxy rapporte, pour son mélange de base (voir tableau I), un pourcentage de biodégradation égal à 75 après 28 jours d'essai selon la méthode OCDE 301C, un test

de consommation d'oxygène (respirométrie). Cette valeur exprime le rapport de la demande biochimique en oxygène à la demande théorique en oxygène. Le fabricant en conclut que ses DBE sont « aisément biodégradables » (21). En effet une substance peut être considérée facilement biodégradable si le niveau de seuil de 60 % de la demande théorique en oxygène a été atteint en deçà de 28 jours (84).

Price rapporte que des eaux usées municipales qui ont subi un processus d'acclimatation, peuvent dégrader jusqu'à 1 000 ppm de DBE. Ces mêmes eaux sans acclimatation peuvent dégrader jusqu'à 300 ppm de DBE (91).

La société Monsanto a testé ses DBE d'après la méthode OCDE 302A (« Biodégradabilité dite intrinsèque : Méthode SCAS Modifiée ») et les qualifie d'« intrinsèquement biodégradables » (75). Cette méthode fait appel à des boues activées provenant d'une station de traitement d'eaux d'égout qui sont déposées dans une unité d'aération (SCAS = « semi-continuous activated sludge ») et par lesquelles la substance à étudier est dégradée (84).

7.2 Effets environnementaux

Les DBE ne sont pas considérés comme des substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO) (94).

La banque de données SOLV-DB[®] du National Center for Manufacturing Sciences donne un potentiel de formation d'ozone urbain (PFO) pour les DBE (mélange de base, voir tableau I) égal à 0,05. Le PFO est défini par cet organisme comme le potentiel de la vapeur d'un solvant organique à former de l'ozone troposphérique dans un environnement urbain relativement à celui de l'éthylène ($\text{g O}_3/\text{g solvant} \div \text{g O}_3/\text{g éthylène}$) (79).

Carter et coll. ont également étudié le PFO des DBE. Les auteurs rapportent des vitesses de réaction avec les radicaux hydroxyles atmosphériques de $1,5$, $3,5$ et $8,8 \times 10^{-12} \text{ cm}^3 \cdot \text{moléc}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ pour le succinate diméthylque, le glutarate diméthylque et l'adipate diméthylque respectivement. L'élément de référence pour ces données est la vitesse de réaction du cyclohexane avec les radicaux OH qui est de $7,49 \times 10^{-12} \text{ cm}^3 \cdot \text{moléc}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ mesuré à 298°K . Les auteurs ont estimé les PFO, relatifs à une masse égale d'éthane, à $\sim 0,65$ à $0,8$ pour le succinate diméthylque, ~ 1 à $1,25$ pour le glutarate diméthylque et ~ 3 à $4,5$ pour l'adipate diméthylque (18).

La société Rhône-Poulenc rapporte une CL_{50} égale à 180 ppm chez la daphnie pour son mélange de base de DBE (voir tableau I) (93). Le fabricant Monsanto rapporte une CL_{50} de 18 à 24 mg/L (96 heures) pour le vairon (« Fathead Minnow ») et une concentration effective 50 (CE_{50}) de 136 mg/L (48 heures) pour la puce d'eau (« Daphnia Magna ») pour son mélange de base de DBE (voir tableau I) (75). Du Pont Canada Inc. rapporte, pour son mélange de base (voir tableau I), une CL_{50} de 112 à 150 mg/L (48 heures) pour la puce d'eau et la même valeur de CL_{50} pour le vairon que son concurrent Monsanto (35).

Les DBE sont considérés comme des COV par le USEPA mais leur faible tension de vapeur devrait restreindre leur présence en concentrations importantes dans l'atmosphère (94).

8.0 Réglementation et recommandation

8.1 Milieu de travail

À notre connaissance, il n'existe aucune norme légale d'exposition professionnelle pour les DBE. Le fabricant DuPont propose une valeur limite d'exposition en milieu de travail de 1,5 ppm ou 10 mg/m³ de DBE totaux, pondérée sur une période de 8 heures (35). Cette recommandation aurait été fixée pour prévenir la survenue des problèmes de vision brouillée chez les travailleurs [T. D. Krizan, DuPont, Wilmington, DE; communication personnelle, le 11 mars 1998].

Les DBE sont des produits contrôlés en vertu du Règlement sur les produits contrôlés (48). En conséquence, la fiche signalétique d'un solvant industriel contenant des DBE doit révéler la présence de ces derniers dans la section sur les ingrédients dangereux, en indiquant la plage de concentration applicable.

Les DBE sont classés D2B (irritation de la peau ou des yeux) dans la classification du Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT) (35). Les DBE ne sont ni « inflammables » ni « combustibles » en vertu des critères du SIMDUT. En effet, le point d'éclair de la fraction la plus volatile des mélanges de DBE, soit le succinate diméthylque, est de 94 °C (36) alors que les liquides combustibles sont classés comme tels dans le SIMDUT si leur point d'éclair se situe entre 37,8 °C et 93,3 °C (48).

8.2 Environnement

8.2.1 Canada

8.2.1.1 Liste intérieure des substances (LIS)

Les DBE (succinate diméthylque, glutarate diméthylque, adipate diméthylque) font partie de la LIS (44). La LIS a été créée pour répondre à l'une des exigences de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Les substances qui font partie de la LIS comprennent celles qui, entre le 1^{er} janvier 1984 et le 31 décembre 1986, ont été fabriquées ou importées au Canada à raison d'au moins 100 kg par année ou qui servaient à des fins de fabrication commerciale au Canada. Les substances qui n'apparaissent pas sur la LIS sont considérées « nouvelles » au Canada et doivent en conséquence être déclarées en vertu de la LCPE (Règlement concernant la déclaration des substances nouvelles ; Règlement sur les renseignements concernant les substances nouvelles).

8.2.1.2 Règlement sur le transport des matières dangereuses (TMD)

Les DBE ne sont pas spécifiquement réglementés en vertu du TMD (17). Le TMD ne réglemente pas les liquides dont le point d'éclair est supérieur à 61°C, tout comme en Europe.

8.2.1.3 Liste des substances d'intérêt prioritaire

La LCPE exige que les ministres fédéraux de l'Environnement et de la Santé établissent une liste de substances dont la toxicité doit être évaluée prioritairement conformément à la Loi. Les DBE ne figurent pas sur la première ni la deuxième liste des substances d'intérêt prioritaire qui comprennent au total 69 substances ou familles de substances (22). Seul le succinate diméthylrique apparaissait sur une première liste de dépistage de plus de 600 substances toxiques considérées par Santé Canada et Environnement Canada pour choisir les substances de la deuxième liste des substances d'intérêt prioritaire. Or le succinate diméthylrique a finalement été rejeté parce qu'il ne satisfaisait pas aux critères techniques de sélection des substances (63).

8.2.2 Québec

8.2.2.1 Règlement sur la qualité de l'atmosphère

Les DBE ne sont pas des « solvants organiques photochimiquement réactifs » en vertu de la définition restrictive qu'en donne le Règlement sur la qualité de l'atmosphère. En conséquence l'article 12c de ce règlement concernant les émissions de composés organiques s'applique à savoir qu'il est légalement possible d'émettre plus de 1 400 kilogrammes par jour ou 200 kilogrammes par heure de chacun des DBE dans le cas où ces solvants ne sont pas soumis à un procédé de cuisson ou n'entrent pas en contact avec une flamme (49).

8.2.2.2 Règlement sur les matières dangereuses

Le nouveau Règlement (québécois) sur les matières dangereuses indique qu'une substance est considérée comme « matière toxique » si elle est toxique en vertu du Règlement (canadien) sur les produits contrôlés (SIMDUT) (48; 51). Notons que le Ministère de l'environnement et de la faune (MEF) se réfère au Service du répertoire toxicologique de la CSST (RepTox) pour la classification SIMDUT (S. St-Laurent, MEF, conversation téléphonique, le 19 juin 1997). Le RepTox ne possède pas actuellement de fiches signalétiques pour les DBE. Les DBE sont toutefois classés dans la catégorie D2B (irritation de la peau ou des yeux) par les fabricants (35). En conséquence ils devraient être considérés comme « matières toxiques » en vertu de l'article 3 du Règlement sur les matières dangereuses.

8.2.3 Communauté urbaine de Montréal (CUM)

8.2.3.1 Règlement relatif à l'assainissement de l'air (Règlement 90)

Les DBE utilisés dans certaines activités commerciales et industrielles telles que l'application de substances organiques au pistolet et le dégraissage de surfaces métalliques, sont assujettis à l'article 6 du Règlement 90 (24). Cette disposition du règlement impose une réduction de l'émission à l'atmosphère de 90% ou une émission maximale de 5 kg/heure par usine.

8.2.3.2 Règlement relatif aux rejets des eaux usées dans les réseaux d'égout et les cours d'eau (Règlement 87)

L'article 7, alinéa 1 du Règlement 87 ne donne pas de définition pour « liquide inflammable » (25). Il semble toutefois que le Service de l'environnement de la CUM considérerait que les DBE soient couverts par cet article « dans l'esprit du règlement » (Y. Bourassa, CUM, conversation téléphonique, le 16 juin 1997). En conséquence, il serait interdit de rejeter des DBE dans un réseau d'égout ou dans un cours d'eau sur le territoire de la CUM.

9.0 Prévention

Des données de prévention spécifiques aux DBE sont inexistantes dans la littérature scientifique et dans toutes les banques de données en santé et sécurité du travail consultées. En conséquence, les indications qui suivent ont été adaptées à partir des recommandations des fabricants et d'ouvrages généraux sur le traitement des intoxications (19; 35).

9.1 Premiers secours

Le traitement pour une intoxication aiguë aux DBE est de nature générale. En effet, ni la base de données POISINDEX (Micromedex Inc., Denver, CO) ni la base INTOX (CCHST/IPCS, Hamilton, ON) utilisées par le Centre antipoison du Québec ne donne d'indications spécifiques pour le traitement d'intoxications à ces solvants (L. Lefebvre, Centre de toxicologie du Québec, Sainte-Foy; courriel adressé à D. Bégin, le 16 septembre 1998). On ne dispose donc pas de protocole spécifique pour le traitement d'intoxications par les DBE. L'urgentiste peut toutefois se référer au protocole d'intervention lors d'intoxications aiguës aux solvants organiques élaboré par l'Unité de toxicologie clinique et Centre antipoison du Centre hospitalier universitaire de Grenoble dans sa base de connaissances « Paracelse », disponible dans Internet à l'adresse suivante : <http://www-sante.ujf-grenoble.fr/SANTE/paracelse/paracelse.html>

9.1.1 Projection cutanée

Toute projection cutanée exige le déshabillage et l'enlèvement rapide des DBE à l'aide d'un absorbant par essuyage. Un lavage léger et complet de la partie contaminée avec de

l'eau et un savon non abrasif est indiqué. La consultation médicale sera nécessaire si l'irritation persiste (19; 35).

9.1.2 Projection oculaire

La projection oculaire de DBE exige l'irrigation immédiate de l'œil contaminé uniquement avec de l'eau tiède en abondance pendant au moins quinze minutes en maintenant la paupière ouverte. Il faut prendre soin de ne pas faire ruisseler l'eau contaminée dans l'œil non touché. Il faut consulter un médecin immédiatement (35).

9.1.3 Inhalation

Lors d'une intoxication par inhalation de vapeurs ou de brouillards de DBE, il faut d'abord enlever la source de contamination et amener la victime à l'air frais. La consultation médicale immédiate est indiquée (35).

9.1.4 Ingestion

Lorsqu'une personne a ingéré des DBE en quantité importante, on suggère d'abord de rincer complètement la bouche de la victime avec de l'eau. Il ne faut pas provoquer le vomissement. La victime devrait boire deux verres d'eau sauf si elle est inconsciente. S'il y a vomissement spontané, il faut rincer la bouche et recommencer la prise d'eau. La consultation médicale immédiate est recommandée. L'utilisation de charbon actif peut être indiquée : l'urgentiste peut employer une suspension de 50 g de charbon actif dans 400 ml d'eau à raison de 5 ml/kg de poids corporel (35).

9.2 Classification et moyens de lutte contre les incendies

Le point d'éclair élevé des DBE en font des liquides qui sont classés comme combustibles Classe IIIB (point d'éclair > 93 °C) selon la National Fire Protection Association (NFPA) (80) même s'ils ne sont pas classés comme combustibles selon le SIMDUT. Il ne s'agit donc pas de solvants qui s'enflamment facilement. La NFPA ne donne pas de renseignement spécifique concernant les DBE quant aux moyens de lutte contre l'incendie ou l'identification des dangers pour la santé, le feu et leur réactivité (81). Par ailleurs la National Paint and Coatings Association aux États-Unis utilise un autre système de classification nommé « Hazardous Material Information System » (HMIS).

La classification HMIS des DBE est la suivante (35) :

Health = 1 (faible)

Flammability = 1 (faible)

Reactivity = 0 (minimal)

Personal Protection = à déterminer en fonction de l'utilisation

Pour une explication plus détaillée des systèmes de classification NFPA et HMIS, le lecteur est référé au site Internet de l'Université du Kentucky à l'adresse W3 suivante : <http://www.chem.uky.edu/resources/nfpa.html>

Lorsque les DBE brûlent, il y a production de monoxyde de carbone. La société Dupont Canada recommande l'utilisation des agents de suppression du feu suivants pour lutter contre un incendie de DBE : jet d'eau, mousse, poudre chimique, CO₂ (35).

9.3 Fuites accidentelles

En cas d'une fuite accidentelle de DBE, il faut d'abord éliminer toute source d'ignition. Le personnel affecté au nettoyage doit porter des équipements de protection personnelle (voir plus loin). Il faut également ventiler les locaux et restreindre l'accès aux lieux concernés jusqu'à ce que le nettoyage soit complété. On recommande d'endiguer un épandage important pour contenir l'écoulement. Colmater ou réduire la fuite s'il est possible de le faire de façon sécuritaire. Contenir le déversement à l'aide de terre, sable ou autre matériau absorbant non combustible et ne réagissant pas avec le liquide. L'absorbant imbibé de liquide récupéré doit être placé dans des contenants couverts et proprement étiquetés. Le sol doit être lavé à grande eau suite au nettoyage (35; 75; 93).

9.4 Manipulation et stockage

Il est conseillé de respecter les consignes de manipulation et de stockage de tout liquide combustible énoncées dans la norme NFPA 30 (« Flammable and Combustible Liquids Code ») (80).

Le fabricant Rhône-Poulenc recommande de conserver les DBE uniquement dans l'emballage d'origine. Les matériaux d'emballage recommandés sont les matières plastiques telles que le polyéthylène et le polypropylène ainsi que les aciers revêtus. Comme pour tout solvant organique, il faut stocker les DBE dans un endroit frais et bien ventilé et éviter le contact avec les oxydants puissants (93). Le fabricant Dupont affirme que ses DBE peuvent être stockés dans des contenants et manipulés avec de l'équipement en acier doux (30).

9.5 Équipement de protection personnelle

Comme pour la manipulation de tout solvant organique, les fabricants recommandent le port de lunettes protectrices pour manipuler des DBE. L'utilisation d'une visière peut s'avérer nécessaire pour effectuer des travaux où il y a risque d'éclaboussure.

Le fabricant Dupont Canada recommande l'utilisation de respirateurs approuvés par NIOSH lorsque le travail est effectué dans des conditions telles que les niveaux d'exposition puissent excéder la valeur limite recommandée. La liste informatisée des respirateurs approuvés par NIOSH peut être téléchargée gratuitement à partir du site Internet suivant :

<http://chppm-www.apgea.army.mil/Armyih/Docs/cel298.htm>

Les gants et tabliers doivent être fabriqués en caoutchouc butyle (copolymère de l'isobutylène et d'isoprène) (35). Les gants en alcool polyvinylique (PVA) et en caoutchouc nitrile (copolymère du butadiène et de l'acrylonitrile) sont également acceptables mais seulement pour une période de contact de moins de 45 minutes dans ce dernier cas. Il faut éviter les gants en latex (33).

9.6 Élimination des déchets

Il est possible d'utiliser les DBE usés comme combustible. La société Dupont rapporte à cet effet une chaleur de combustion d'environ 9 000 BTU/lb (21 kJ/g) (30).

9.7 Recyclage

Les DBE peuvent être recyclés commercialement par distillation sous vide à 660 mm Hg et à une température de 124 °C (28).

9.8 Échantillonnage et analyse

Il est possible d'échantillonner les DBE dans l'air par adsorption sur charbon actif. Les DBE sont désorbés avec un mélange de disulfure de carbone et d'acétone et analysés par chromatographie en phase gazeuse (colonne Carbowax C et détecteur à ionisation de flamme). Le débit recommandé pour les pompes d'échantillonnage est de 100-200 ml/min. La méthode d'échantillonnage et d'analyse peut être obtenue de Monsieur T. D. Krizan, Research Associate, DuPont Nylon, Wilmington, DE (31).

9.9 Surveillance médicale

À notre connaissance, il n'existe pas de document traitant de la surveillance médicale qui soit spécifique aux DBE. Le médecin du travail devrait toutefois se référer au protocole général de surveillance médicale pour les solvants industriels élaboré pour les équipes du réseau public de santé au travail québécois (23).

10.0 Discussion

10.1 Aspects techniques et environnementaux

Les DBE constituent des solvants stables, peu volatils et dont le pouvoir de solubilisation ($K_b = 51$) est supérieur aux mélanges d'hydrocarbures classiques tels que les essences minérales (42). Leur présence sur le marché est favorisée notamment par le Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone en raison de l'interdiction de l'usage de certains solvants halogénés (90), par la réduction draconienne du niveau d'exposition professionnelle admissible au dichlorométhane aux États-Unis (87) et par la mention « effet cancérogène soupçonné chez l'humain » dans le Règlement sur la qualité du milieu de travail pour le chlorure de méthylène (50).

Les DBE peuvent remplacer avantageusement le dichlorométhane dans les décapants à peinture et les nettoyants d'équipement dans la fabrication du polyuréthane (20). Ils peuvent se substituer à l'acétone pour le nettoyage des équipements dans l'industrie du plastique renforcé à la fibre de verre et à certaines substances appauvrissant la couche d'ozone en électronique (67; 108). Les DBE sont donc surtout utilisés pour dissoudre des résines ou polymères pour ce qui est de leur emploi dans le décapage et le nettoyage. On les retrouve également dans certaines peintures industrielles notamment à la place des éthers de glycol (54).

La substitution des solvants par les DBE exige souvent un changement de procédé ou un changement des méthodes de travail et même un changement d'attitude de la part des utilisateurs. En effet, dans le domaine du décapage, aucun solvant de remplacement ne décape aussi rapidement que le dichlorométhane. En conséquence il faut prévoir plus de temps pour effectuer le même travail avec des décapants à base de DBE. Par contre les DBE étant très peu volatils, il est possible de les laisser agir plus longuement sur les surfaces à décaper sans crainte de pertes excessives par évaporation, limitant ainsi les quantités utilisées. Ceci peut également contrebalancer leur coût légèrement plus élevé par rapport au dichlorométhane. Les DBE sont généralement plus efficaces pour le décapage lorsqu'ils sont utilisés en mélange avec d'autres solvants, notamment la NMP (56).

Les DBE sont considérés comme des COV mais leur faible tension de vapeur minimise leur présence dans l'atmosphère. Ils sont de plus facilement biodégradables (21; 107) et peuvent être recyclés par distillation ou employés comme combustible (28; 30).

10.2 Hygiène et toxicologie industrielles

La toxicité aiguë chez l'animal est généralement estimée à l'aide des doses létales. Des valeurs précises de DL_{50} et CL_{50} pour les DBE individuels ainsi que pour les mélanges de DBE n'ont généralement pas été déterminées par les fabricants. Il est toutefois possible d'affirmer que le succinate diméthylque et l'adipate diméthylque sont des substances *pratiquement non toxiques* en raison de DL_{50} par voie orale chez le rat excédant respectivement 5 000 et 7 500 mg/kg de poids corporel. Par ailleurs la société E. I. du Pont de Nemours rapporte une DL_{50} par voie orale chez le rat excédant 50 mg/kg pour le glutarate diméthylque (37). Une seule dose de 50 mg de glutarate diméthylque par kg aurait été administrée pour évaluer cette DL_{50} (Olguin, J. C., DuPont, Wilmington, DE; courriel adressé à G. E. Roberts, DuPont Canada, le 29 octobre 1998). On pourrait donc s'inquiéter en supposant que la valeur réelle de la DL_{50} pour le glutarate diméthylque soit proche de 50 mg/kg, ce qui en ferait une substance *modérément toxique*. Or, DuPont Canada rapporte une DL_{50} par voie orale chez le rat de 8 191 mg/kg pour son mélange de base de DBE, incluant près de 60 % de glutarate diméthylque (35). Il est donc raisonnable d'estimer que le glutarate diméthylque est, comme ses congénères, une substance *pratiquement non toxique*.

Le même argumentaire pourrait s'appliquer à la DL_{50} par voie cutanée chez le lapin. En effet, Opdyke rapporte une DL_{50} excédant 5 000 mg/kg pour le succinate diméthylque

(86) alors que les DL_{50} rapportées par le fabricant E. I. du Pont de Nemours pour le glutarate diméthylrique et l'adipate diméthylrique n'excèdent que 200 mg/kg (37; 38). Ces deux derniers DBE pourraient ainsi être classés comme *modérément toxiques* si les valeurs réelles de DL_{50} se situaient près de 200 mg/kg. Or la société E. I. du Pont de Nemours rapporte une DL_{50} excédant 2 250 mg/kg pour son mélange de base de DBE, incluant environ 60 % de glutarate diméthylrique et 20 % d'adipate diméthylrique. De plus, le fabricant Monsanto rapporte une DL_{50} excédant 5 000 mg/kg pour son mélange de base de DBE, contenant des proportions semblables de congénères au mélange de son concurrent. On peut donc conclure que les DBE sont probablement *pratiquement non toxiques* par voie cutanée chez le lapin. De plus il faut noter le manque d'informations disponibles sur le potentiel irritant ou sensibilisant de ces substances (peau, muqueuses).

Aucune donnée publiée sur le passage transcutané des DBE n'a été identifiée dans la littérature scientifique. Les esters aliphatiques ne sont toutefois pas reconnus comme une famille de substances particulièrement aptes à traverser la barrière cutanée comme en fait foi l'absence de notation « peau » pour ce type de molécules exogènes dans les recommandations de valeurs limites de l'ACGIH (2). Les coefficients de partage octanol/eau, dérivés à partir des valeurs Log P de l'annexe I pour les DBE, sont respectivement égaux à 2,2, 4,5 et 10,7 pour le succinate diméthylrique, le glutarate diméthylrique et l'adipate diméthylrique. Ces valeurs sont, en théorie, compatibles avec une certaine absorption par la peau.

Les chercheurs étasuniens de la société E. I. du Pont de Nemours ont attiré l'attention sur la toxicité nasale des DBE. De faibles quantités de DBE ($LOAEL = 4$ mg/kg/jour chez la rate) produisent une dégénérescence de l'épithélium olfactif (60). La signification toxicologique de ces données pour l'humain n'est pas claire. Il est certain qu'un travailleur souffrant d'anosmie est plus à risque lorsqu'il manipule des substances toxiques puisqu'il peut difficilement déceler leur présence dans l'air. La capacité métabolique du tissu nasal humain est cependant plus faible que celle du rat en regard des carboxylestérases impliquées dans la transformation des DBE en leurs acides correspondants. Cela pourrait contribuer à réduire le risque de survenue de lésions nasales induites par les DBE chez l'homme (14). On sait de plus que le rat ne respire que par le nez alors que l'humain respire également par la bouche, ce qui diminuerait la quantité de DBE déposée dans les fosses nasales des travailleurs (74).

Les données disponibles sur le pouvoir mutagène des DBE sont peu nombreuses. Une seule étude a démontré l'absence de pouvoir mutagène du succinate diméthylrique dans le test d'Ames (8). Des chercheurs du fabricant E. I. du Pont de Nemours ont effectué quelques tests de génotoxicité sur un mélange de DBE mais le fait que leurs résultats n'aient été publiés que sous la forme d'un court résumé ne permet pas de se prononcer sur la validité de leur étude (113).

Deux groupes de chercheurs ont étudié le potentiel foetotoxique et tératogène des DBE chez le rat. L'étude de Singh et coll. ne traite que de l'adipate diméthylrique administré en doses très élevées par voie intrapéritonéale (97). La critique principale que l'on peut adresser à Singh et ses collaborateurs est de ne pas avoir rapporté d'observations sur la

toxicité maternelle. Cette étude ne peut donc être considérée comme valable, car il se peut que les effets tératogènes observés chez les fœtus soient une conséquence d'un effet toxique chez les rates gravides (73).

L'autre étude portant sur le potentiel foetotoxique et tératogène des DBE, suite à l'inhalation chez le rat, a été effectuée par des chercheurs du fabricant E. I. du Pont de Nemours. Ils rapportent un NOEL, pour les altérations viscérales et squelettiques chez les fœtus, équivalent à 207 mg/kg, ce qui correspond à la plus forte dose administrée. Les auteurs rapportent un NOEL de 33 mg/kg et un LOEL de 83 mg/kg pour la toxicité maternelle sous la forme d'une perte de poids (7). Aucun effet foetotoxique ou tératogène n'a donc été identifié par ces auteurs malgré une certaine toxicité maternelle.

Étant donné qu'une seule étude valable chez une seule espèce animale est actuellement disponible, il n'est pas possible de conclure en toute confiance à l'absence d'effets délétères chez les fœtus d'animaux exposés aux DBE.

Une seule étude de reprotoxicité des DBE a été identifiée dans la littérature scientifique (62). Malgré le fait que les auteurs de cette recherche concluent à l'absence d'effets délétères des DBE inhalés sur la reproduction des rats, il serait prudent, à l'instar du peu d'études sur la toxicité pour le développement indiqué plus haut, de ne pas conclure définitivement à l'innocuité de ces substances pour la reproduction chez l'animal.

À l'occasion de leur étude de reprotoxicité, Kelly et coll. ont rapporté la présence d'un sarcome méningé chez un rat sur vingt exposé à 1 000 mg/m³ de DBE pendant quatre mois. Les auteurs rejettent cependant l'hypothèse d'un lien entre l'apparition de cette tumeur et l'exposition aux DBE par inhalation par le fait que le sarcome ne communique pas avec la cavité nasale (62). En l'absence de données sur la toxicocinétique des produits cet argument n'a cependant pas de base biologique solide. Bien que cette seule expérience ne permette certainement pas de se prononcer sur le potentiel cancérigène des DBE, il n'en reste pas moins souhaitable que cet aspect de la toxicité de ces substances soit l'objet d'études plus approfondies.

Les chercheurs du fabricant E.I. du Pont de Nemours ont étudié de façon exhaustive la toxicité nasale des DBE chez le rat (15; 60; 101; 102). Cependant, le même fabricant n'a publié aucune étude concernant le problème de vision brouillée vécu par des humains exposés aux DBE. La raison évoquée pour cela tiendrait au fait qu'aucun modèle animal n'a pu être identifié pour reproduire cet effet (J. C. Olguin, DuPont, Wilmington, DE; courriel adressé le 7 mai 1998 à G. Roberts, Dupont Canada, Mississauga, ON). Les toxicologues considèrent généralement que la toxicité des esters se rapproche de celle de leurs produits d'hydrolyse (72). L'hydrolyse des esters méthyliques comme les DBE libère du méthanol dans l'organisme (88). Il s'agit donc d'une activation métabolique plutôt que d'une détoxification. Or, il est bien connu que l'un des symptômes de l'intoxication au méthanol chez l'humain est justement la vision brouillée (41). Il pourrait donc être justifié, à l'instar de Lauwerys (68) en regard de l'acétate de méthyle, de considérer les DBE aussi toxiques que le méthanol. Notons également qu'il n'a pas été possible à ce jour d'expliquer le mécanisme de toxicité ophtalmique du méthanol chez

l'humain ni d'identifier de modèle animal pour étudier ce phénomène (41). Vyskocil et Viau rapportent que les symptômes de vision brouillée apparaissent lors d'expositions supérieures à 260 mg/m^3 de méthanol chez l'humain (114). Ces effets apparaîtraient à des niveaux plus faibles pour les DBE, au dessus de 40 à 50 mg/m^3 de DBE (J. C. Olguin, DuPont, Wilmington, DE; courriel adressé le 7 mai 1998 à G. Roberts, Dupont Canada, Mississauga, ON).

Parce que les DBE sont souvent utilisés en mélanges avec d'autres solvants, il est impératif d'apprécier également la toxicité de ces adjuvants. On a vu que la NMP est ajoutée aux DBE pour augmenter son pouvoir décapant. Le diméthylsulfoxyde peut aussi être employé aux mêmes fins. Du point de vue de l'hygiène industrielle, il est important de noter que la NMP et le diméthylsulfoxyde pénètrent facilement la barrière cutanée de sorte qu'ils peuvent accélérer l'absorption percutanée de substances dissoutes dans ces solvants (13; 69). En conséquence le port de gants et autres moyens de protection personnelle est particulièrement indiqué.

En dépit du fait que les DBE semblent moins toxiques et moins dangereux que plusieurs solvants traditionnels, les règles de l'art de l'hygiène industrielle doivent être respectées lors de leur manipulation. En effet, les données toxicologiques peu abondantes concernant ces substances militent en faveur d'une approche préventive stricte malgré le fait que la plupart des esters aliphatiques utilisés en industrie soient peu toxiques (69). Le risque d'exposition des travailleurs aux DBE par voie pulmonaire est nettement moins élevé que pour plusieurs solvants traditionnels. Ainsi, l'on rapporte que les DBE s'évaporent plus de 500 fois moins rapidement que l'acétone. On recommande toutefois de couvrir les récipients de DBE en entreprise car l'évaporation, si minime soit elle, peut générer à la longue des concentrations qui dépassent les recommandations de valeur limite d'exposition. Les travailleurs doivent aussi récupérer promptement les DBE lors de déversements accidentels. Les chiffons imbibés de DBE ne doivent pas être laissés à découvert car les DBE peuvent s'évaporer (33).

La formation des travailleurs est cruciale, les DBE n'étant pas des solvants que l'on utilise comme les solvants traditionnels. La substitution des DBE à la place de solvants volatils comme l'acétone pour le nettoyage ou comme le dichlorométhane pour le décapage exige des façons de faire différentes. Le nettoyage exige plus d'essuyage ou une étape de rinçage alors que le décapage requiert souvent plus de temps.

La seule recommandation de valeur limite d'exposition professionnelle pour les DBE est celle de la société DuPont ($1,5 \text{ ppm}$ ou 10 mg/m^3). Cette valeur viserait à prévenir l'apparition des problèmes de vision brouillée observés chez certains utilisateurs. Il n'existe toutefois aucune documentation publiée pour justifier cette donnée. Aucun organisme public ne s'est prononcé sur le bien-fondé de cette recommandation.

11.0 Axes potentiels de recherche

Les DBE constituent peut-être les solvants de substitution pour lesquels il existe le moins de données sanitaires. En conséquence les études supplémentaires commandées

récemment aux fabricants par le USEPA (voir la section 6.7) ne représentent qu'un minimum. Du point de vue de l'hygiène industrielle, il est d'abord impératif de documenter les niveaux d'exposition en milieu de travail. Ceci pourrait être fait concurremment à la collecte de données sur les symptômes et effets toxiques observés chez les travailleurs.

De nouvelles études de létalité chez l'animal devraient être entreprises car les DL₅₀ publiées par les fabricants sont imprécises.

Un effort particulier devrait être axé sur la compréhension du mécanisme à l'origine du phénomène de vision brouillée observé chez ceux qui ont manipulé les DBE dans des situations de faible ventilation. Un des fabricants de DBE affirme que ce problème est inexistant si l'on élimine l'utilisation du succinate diméthylque (56). Il faudrait vérifier cette affirmation.

L'étude de Nair et coll. suggère qu'il y aurait une synergie entre les DBE quant à leur potentiel d'irritation sensorielle (78). Cette piste suggère d'approfondir cette recherche par l'étude d'autres mélanges ternaires et binaires de DBE afin d'arriver d'une part à une meilleure compréhension du phénomène et d'autre part à déterminer quelle combinaison de DBE est la plus bénigne.

Sans préjuger des résultats à venir concernant les tests de toxicité génétique commandés par le USEPA, il serait souhaitable qu'une étude de toxicité chronique soit initiée pour évaluer notamment le potentiel cancérogène des DBE.

12.0 Remerciement

Les auteurs remercient le D^r Robert Tardif, professeur au Département de médecine du travail et d'hygiène du milieu de l'Université de Montréal pour sa relecture critique de la partie toxicologique de cette monographie.

13.0 Bibliographie

- [1] 3M Canada Inc. (1991) **Fiche technique sur la sécurité des substances : Safest Stripper Paint and Varnish Remover**. Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (Disque CCINFO no. A1 (92-4)), Hamilton, Ontario
- [2] ACGIH (1998) **1998 TLVs® and BEIs®**. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., Cincinnati, OH
- [3] Acros (1996) **Material Safety Data Sheet: Dimethyl Succinate, 99 %**. Acros Organics N.V., Fairlawn, NJ
- [4] Acros (1997) **Material Safety Data Sheet: Dimethyl adipate, 99+%**. Acros Organics N.V., Fairlawn, NJ
- [5] Acros (1997) **Material Safety Data Sheet: Dimethyl glutarate, 98%**. Acros Organics N.V., Fairlawn, NJ
- [6] Aldrich (1994) **Sigma-Aldrich-Fluka MSDS on CD-ROM**. Aldrich chemical company, inc., Milwaukee, WI

- [7] Alvarez, L.; Driscoll, C.; Kelly, D.P.; Staples, R.E.; Chromey, N.C.; Kennedy, G.L. (1995) Developmental Toxicity of Dibasic Esters by Inhalation in the Rat. **Drug and Chemical Toxicology** 18(4):295-314
- [8] Andersen, P.H.; Jensen, N.J. (1984) Mutagenic investigation of flavourings: dimethyl succinate, ethyl pyruvate and aconitic acid are negative in the Salmonella/mammalian-microsome test. **Food Additives and Contaminants** 1(3):283-288
- [9] Anonymous (1992) High-Boiling, Oxygenated Dibasic Ester Solvent Can Reduce VOCs. **Waste Management Technology News** 7(7):4-5
- [10] Archer, W.L. (1996) **Industrial Solvents Handbook**. Marcel Dekker, Inc., New York, NY
- [11] BASF (1990) **Formulating Paint Strippers with N-Methylpyrrolidone**. BASF Corporation, Mount Olive, NJ
- [12] Bégin, D. (1995) Utilisation des solvants et exposition professionnelle au Québec. **Travail et Santé** 11(2):13-15
- [13] Bégin, D.; Gérin, M. (1998) **La substitution des solvants par la N-Méthyl-2-pyrrolidone. Rapport de recherche soumis à l'IRSST dans le cadre de la subvention No. 94-719**. Université de Montréal, Faculté de médecine, Département de médecine du travail et d'hygiène du milieu, Montréal
- [14] Bogdanffy, M.S.; Frame, S.R. (1994) Olfactory Mucosal Toxicity, Integration of Morphological and Biochemical Data in Mechanistic Studies: Dibasic Esters as an Example. **Inhalation Toxicology** 6(Supplement S):205-219
- [15] Bogdanffy, M.S.; Kee, C.R.; Hinchman, C.A.; Trela, B.A. (1991) Metabolism of Dibasic Esters by Rat Nasal Mucosal Carboxylesterase. **Drug Metabolism and Disposition** 19(1):124-129
- [16] Camsoft (1998) **ChemFinder WebServer**. CambridgeSoft Corporation (<http://chemfinder.camsoft.com>), Cambridge, MA
- [17] CANUTEC (1996) **Guide Nord-Américain des mesures d'urgence**. Transport Canada (http://www.tc.gc.ca/canutec/french/guide/toc/toc_f.htm), Ottawa
- [18] Carter, W.P.L.; Luo, D.; Malkina, I.L.; Aschmann, S.M.; Atkinson, R. (1997) **Investigation of the Atmospheric Ozone Formation Potential of Selected Dibasic Esters - Report to the Dibasic Esters Group SOCMA**. Statewide Air Pollution Research Center and College of Engineering, Center for Environmental Research and Technology, University of California, Riverside, CA
- [19] Centre antipoison de l'Hôpital Sainte-Justine (1985) **Le traitement d'urgence des intoxications**. Santé et Bien-être social Canada, 3^e édition (N^o de cat. H49-14/1985F), Ottawa
- [20] CHEMinfo Services Inc. (1997) **Dichloromethane (DCM) Uses in Canada: Review of Control Options and Regulatory Requirements**. Environment Canada, Environmental Protection Branch, Commercial Chemicals Division, North Vancouver, BC
- [21] Chemoxy (1996) **What is Estasol ?** Chemoxy International plc (<http://www.chemoxy.co.uk/estasol.htm>), Middlesbrough, North Yorkshire, UK
- [22] Conover, S.A.M.; présidente (1995) **Rapport de la Commission consultative sur la deuxième liste des substances d'intérêt prioritaire dans le cadre de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE)**. Environnement Canada, Hull

- [23] CSST/CPST (1985) **Guide intérimaire de surveillance médico-environnementale des travailleurs exposés à des solvants industriels**. Commission de la santé et de la sécurité du travail et Comité provincial en santé au travail de l'Association des directeurs de département de santé communautaire, Montréal
- [24] 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
- [25] 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
- [26] Derelanko, M.J. (1995) *Risk Assessment*. In: **CRC Handbook of Toxicology**, pp. 591-676. M.J. Derelanko; M.A. Hollinger, Ed. CRC Press, Boca Raton, FL
- [27] Dumond (1997) **Material Safety Data Sheet : Peel Away 6**. Dumond Chemicals, Inc., New York, NY
- [28] DuPont (19??) **DBE Solvent Product Bulletin**. DuPont Canada Inc., Mississauga
- [29] DuPont (19??) **Du Pont Dibasic Esters for Coatings Applications and Formulations**. Du Pont Nylon (Brochure No. H-38009-2), Wilmington, DE
- [30] DuPont (19??) **Dupont Dibasic Esters - Solvents and Intermediates for Industry**. Du Pont Company (Brochure no. E-96958-01), Wilmington, DE
- [31] DuPont (19??) **Personal or Area Monitoring for Dibasic Esters and Styrene in Air**. E. I. du Pont de Nemours & Company, Wilmington, DE
- [32] DuPont (19??) **Summary of DBE Toxicity Testing**. DuPont Canada Inc., Mississauga, ON
- [33] Dupont (1990) **Dupont DBE: A Technical Manual for FRP**. Dupont Canada Inc., Mississauga, Ontario
- [34] DuPont (1994) **Dibasic Esters (DBE)**. DuPont Nylon (Technical Information E-99106-4), Wilmington, DE
- [35] Dupont (1994) **Material Safety Data Sheet : DBE**. Dupont Canada Inc., Fibres and Intermediates (MSDS No. FE000011), Mississauga, ON
- [36] Dupont (1996) **DBE-4 MSDS**. Dupont Chemicals, Engineering & Product Safety, Wilmington, DE
- [37] Dupont (1996) **DBE-5 MSDS**. Dupont Chemicals, Engineering & Product Safety, Wilmington, DE
- [38] Dupont (1996) **DBE-6 MSDS**. Dupont Chemicals, Engineering & Product Safety, Wilmington, DE
- [39] DuPont (1997) **DBE Microemulsion**. DuPont Nylon Intermediates and Specialties, Wilmington, DE
- [40] ECDIN (1997) **Environmental Chemicals Data and Information Network**. Commission of European Communities, Joint Research Centre, Environmental Research Programme, Ispra Establishment (<http://ulisse.etoit.eudra.org/Ecdin/Ecdin.html>), Ispra, Italia
- [41] Eells, J.T. (1992) *Methanol*. In: **Ethel Browning's Toxicity and Metabolism of Industrial Solvents - Volume III: Alcohols and Esters**, pp. 3-20. R.G. Thurman; F.C. Kauffman, Ed. Elsevier, Amsterdam
- [42] Ellis, W.E. (1986) **Solvents**. Ed. D. Brezinski; T.J. Miranda, Federation of Societies for Coatings Technology, Philadelphia

- [43] Emsley, J. (1996) **Guide des produits chimiques à l'usage du particulier**. Odile Jacob, Paris
- [44] Environnement Canada (1992) **Liste intérieure des substances**. Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (Disque optique compact A2 (92-4)), Hamilton
- [45] Environnement Canada / Santé Canada (1993) **Dichlorométhane**. Environnement Canada et Santé Canada. Liste des substances d'intérêt prioritaire. Rapport d'évaluation no. 29, Ottawa
- [46] Furia, T.E.; Bellanca, N. (1975) **Fenarili's Handbook of Flavor Ingredients**. CRC Press, Cleveland, OH.
- [47] Gérin, M.; Bégin, D.; Goupil, J.; Garneau, R.; Sacks, S. (1995) **Substitution des solvants en milieu de travail : élaboration d'un outil pour l'intervention**. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (rapport no. R-098), Montréal
- [48] Gouvernement du Canada (1988) Règlement sur les produits contrôlés (DORS/88-66). **Gazette du Canada Partie II 122(2):551-589**
- [49] Gouvernement du Québec (1993) **Règlement sur la qualité de l'atmosphère (c. Q-2, r.20)**. Éditeur officiel, Québec
- [50] Gouvernement du Québec (1994) Règlement modifiant le Règlement sur la qualité du milieu de travail (R.R.Q., c. S-2.1, r. 15). **Gazette officielle du Québec 126(37):5453-5491**
- [51] Gouvernement du Québec (1997) Règlement sur les matières dangereuses et modifiant diverses dispositions réglementaires. **Gazette officielle du Québec 129(45):6681-6714**
- [52] Henkel (1997) **Poly Safe-T-Strippa (Fiche signalétique no. 00000172)**. Lepage Division of Henkel Canada, Brampton, Ontario
- [53] Huntsman (1995) **JEFFSOL™ Carbonates Comparative Solvents Data**. Huntsman Corporation, Houston, TX
- [54] Jackson, H.L. (1984) Solvent Formulations for Industrial Finishes. **Industrial Finishing 60(4):27-29**
- [55] Jackson, H.L. (1986) Solvent Evaporation at Baking Temperatures. **Journal of Coatings Technology 58(741):87-89**
- [56] Jackson, H.L. (1991) *DBE-based Stripper Formulations*. In: **Reducing Risk in Paint Stripping**, Washington, DC, 12-13 February 1991, pp. 173-176. Economics and Technology Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency,
- [57] Jackson, H.L.; Emanuel, A.G. (1986) Solvent formulation for safety in coatings. **American Paint & Coatings Journal 71(10):45-48**
- [58] Jackson, H.L.; Gallagher, R.J. (1990) DBE purges polyurethane equipment without methylene chloride risk. **Elastomerics 122(10):56-60**
- [59] Kayser, J. (19??) **Comparative Exposure to DBE and Methylene Chloride**. E. I. Du Pont de Nemours & Company, Inc., Petrochemicals Department, Wilmington, DE
- [60] Keenan, C.M.; Kelly, D.P.; Bogdanffy, M.S. (1990) Degeneration and Recovery of Rat Olfactory Epithelium following Inhalation of Dibasic Esters. **Fundamental and Applied Toxicology 15(2):381-393**
- [61] Kelly, D.P.; Keenan, C.M.; Alvarez, L. (1986) Ninety-Day Inhalation Toxicity, Reproduction, and Teratology Studies with Dibasic Esters. **The Toxicologist 6(1):136**

- [62] Kelly, D.P.; Kennedy, G.L.; Keenan, C.M. (1998) Reproductive Study with Dibasic Esters Following Inhalation in the Rat. **Drug and Chemical Toxicology** 21(3):253-267
- [63] Koniecki, D.; Newhook, R.; Long, G.; Conilh de Beyssac, B.; Socha, A. (1997) Screening Candidate Substances for the Second Priority Substances List Under the Canadian Environmental Protection Act. **Environmental Carcinogenesis & Ecotoxicology Reviews Part C of Journal of Environmental Science and Health** C15(1):41-59
- [64] Krier, B. (1992) Getting under the surface of today's finish removers. **Wood Magazine** (53):54-59
- [65] Krizan, T. (1996) **DBE Technology and Applications**. Du Pont Nylon, Wilmington, DE
- [66] Krizan, T.D.; Jackson, H.L.; Petrovick, B.P. (19??) **Replacement of Methylene Chloride in Paint Stripping Formulations By Dibasic Ester Solvent**. DuPont Nylon Intermediates, Wilmington, DE
- [67] Kucera, M.W. (1994) *A Case Study of the Replacement of Ozone Depleting Chemicals in an Electronics Cleaning Process*. In: **15th AESF Conference on Environmental Control for the Surface Finishing Industry**, pp. 391-398. American Electroplaters and Surface Finishers Society, Orlando, FL
- [68] Lauwerys, R.R. (1982) **Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles**. Masson, Paris
- [69] Lauwerys, R.R. (1990) **Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles**. Masson, Paris
- [70] Lavallée, C. (1996) Les décapants - En choisir un traditionnel ou un "écologique" ? **Protégez-Vous** 24(9):36-39
- [71] Lide, D.R. (1996) **Properties of Organic Solvents Version 2.0**. CRC Press, Inc. (Banque de données sur disque optique compact), Boca Raton, FL
- [72] Manahan, S.E. (1992) **Toxicological Chemistry**. Lewis Publishers, Boca Raton, FL
- [73] Manson, J.M.; Kang, Y.J. (1994) *Test Methods for Assessing Female Reproductive and Development Toxicology*. In: **Principles and Methods of Toxicology**, pp. 989-1037. A.W. Hayes, Ed. Raven Press, New York, NY
- [74] Menzel, D.B.; Amdur, M.O. (1986) *Toxic Responses of the Respiratory System*. In: **Casarett and Doull's Toxicology - The Basic Science of Poisons**, pp. 330-358. C.D. Klaassen; M.O. Amdur; J. Doull, Ed. Macmillan Publishing Company, New York, NY
- [75] Monsanto (1995) **Material Safety Data Sheet No. M00016968 : Santosol DME Dimethyl Ester**. Monsanto Company, St-Louis, MO
- [76] Monsanto (1998) **Santosol Dimethyl Esters**. Solutia Inc. (<http://www.monsanto-coatings.com/docs/Santosol.htm>), St-Louis, MO
- [77] Morris, J.B.; Clay, R.J.; Trela, B.A.; Bogdanffy, M.S. (1991) Deposition of Dibasic Esters in the Upper Respiratory Tract of the Male and Female Sprague-Dawley Rat. **Toxicology and Applied Pharmacology** 108(3):538-546
- [78] Nair, R.S.; Dudek, B.R.; Grothe, D.R.; Johannsen, F.R.; Lamb, I.C.; Martens, M.A.; Sherman, J.H.; Stevens, M.W. (1996) Mixture Risk Assessment: A Case Study of Monsanto Experiences. **Food and Chemical Toxicology** 34(11-12):1139-1145
- [79] NCMS (1997) **SOLV-DB**. National Center for Manufacturing Sciences (<http://solvdb.ncms.org/index.html>), Ann Arbor

- [80] NFPA (1996) **Flammable and Combustible Liquids Code - NFPA 30**. National Fire Protection Association, Quincy, MA
- [81] NFPA (1997) **Fire Protection Guide to Hazardous Materials**. National Fire Protection Association, Quincy, MA
- [82] NIOSH (1997) **Registry of Toxic Effects of Chemical Substances**. Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (Disque optique compact numéro C2 (97-3)), Hamilton
- [83] NIST (1997) **NIST Chemistry WebBook**. United States National Institute of Standards and Technology (<http://webbook.nist.gov/chemistry/>), Gaithersburg, MD
- [84] OCDE (1993) **Lignes directrices de l'OCDE pour les essais de produits chimiques**. Organisation de coopération et de développement économiques, Paris
- [85] Olson, M.J.; Martin, J.L.; LaRosa, A.C.; Brady, A.N.; Pohl, L.R. (1993) Immunohistochemical Localization of Carboxylesterase in the Nasal Mucosa of Rats. **The Journal of Histochemistry and Cytochemistry** 41(2):307-311
- [86] Opdyke, D.J.L. (1980) Monographs on Fragrance Raw Materials. **Food and Cosmetics Toxicology** 18(6):649-681
- [87] OSHA (1998) **Code of Federal Regulations, Title 29, Standard Number 1910.1052, Methylene Chloride**. United States Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, Washington, DC
- [88] Parkinson, A. (1996) *Biotransformation of Xenobiotics*. In: **Casarett and Doull's Toxicology The Basic Science of Poisons**, pp. 113-186. C.D. Klaassen, Ed. McGraw Hill, New York
- [89] PCU (1995) **Fiche signalétique : Magic Strip**. Produits chimiques Universel, Laval
- [90] 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
- [91] Price, R.S. (1988) **DBE Biodegradability Summary**. DuPont Canada Inc., Mississauga, ON
- [92] Rhône-Poulenc (1993) **Rhodiasolv RPDE**. Rhodia Chimie (Fiche produit 800 FP.0171), Courbevoie, France
- [93] Rhône-Poulenc (1996) **Fiche de Données de Sécurité - Rhodiasolv RPDE - Version 3**. Rhodia Chimie, Courbevoie, France
- [94] RTI (1998) **Solvent Alternatives Guide (SAGE)**. Research Triangle Institute, Surface Cleaning Program and United States Environmental Protection Agency, Air Pollution Prevention and Control Division (<http://clean.rti.org>), Research Triangle Park, NC
- [95] Russell, G. (1998) **Industrial Hygiene on the World Wide Web - The Only Place to be for Industrial Hygiene**. <http://www.industrialhygiene.com/>
- [96] Shell (1996) **Shell BlendPro™ Computer Blend Program**. Shell Chemical Company (Pour obtenir ce document d'information par télécopieur, utiliser le système "Shell Chemical FaxBack" en signalant le 1-800-990-7658 et demander le document no. 2344), Houston, TX
- [97] Singh, A.R.; Lawrence, W.H.; Autian, J. (1973) Embryonic-Fetal Toxicity and Teratogenic Effects of Adipic Acid Esters in Rats. **Journal of Pharmaceutical Sciences** 62(10):1596-1600

- [98] SRC (1997) **Experimental Log P (Octanol-Water) Database**. Syracuse Research Corporation, Environmental Science Center (<http://esc.syrres.com/~ESC/kowexpdb.htm>), Syracuse, NY
- [99] Stoye, D. (1993) *Solvents*. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry - Volume A24**, pp. 437-505. B. Elvers; S. Hawkins; W. Russey; G. Schulz, Ed. VCH, New York, NY
- [100] Tarpine, H.A. (1994) **ETC Electrical Properties Testing : DBE Dibasic Ester**. E. I. du Pont de Nemours and Company (unpublished internal memorandum), Wilmington, DE
- [101] Trela, B.A.; Bogdanffy, M.S. (1991) Carboxylesterase-Dependent Cytotoxicity of Dibasic Esters (DBE) in Rat Nasal Explants. **Toxicology and Applied Pharmacology** 107(2):285-301
- [102] Trela, B.A.; Bogdanffy, M.S. (1991) Cytotoxicity of Dibasic Esters (DBE) Metabolites in Rat Nasal Explants. **Toxicology and Applied Pharmacology** 110(2):259-267
- [103] Trela, B.A.; Frame, S.R.; Bogdanffy, M.S. (1992) A Microscopic and Ultrastructural Evaluation of Dibasic Esters (DBE) Toxicity in Rat Nasal Explants. **Experimental and Molecular Pathology** 56(3):208-218
- [104] Turner, S.L. (1996) **Nonprocess Solvent Use in the Furniture Refinishing and Repair Industry: Evaluation of Alternative Chemical Strippers**. Prepared by Center for Environmental Analysis, Pollution Prevention Program, Research Triangle Institute and USEPA National Risk Management Research Laboratory for United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development (EPA-600/R-96-015), Research Triangle Park, NC
- [105] US Coast Guard (1998) **Chemical Hazards Response Information System**. Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (Disque optique compact no. A2 (98-3)), Hamilton
- [106] US National Library of Medicine (1998) **Hazardous Substances Data Bank : Hexanedioic Acid, Dimethyl Ester**. Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCINFODisk No. D2-98-1), Hamilton, ON
- [107] US National Library of Medicine (1998) **Hazardous Substances Data Bank: Dimethyl Succinate**. Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CD-ROM No. A2 (98-3)), Hamilton
- [108] USEPA (1991) **Guides to Pollution Prevention: The Fiberglass-Reinforced and Composite Plastics Industry**. U.S. Environmental Protection Agency; Risk Reduction Engineering Laboratory and Center for Environmental Research Information; Office Research and Development, Cincinnati
- [109] USEPA (1994) **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
- [110] USEPA (1995) Certain Paint Stripping Chemicals; Solicitation of Testing Proposals for Negotiation of TSCA Section 4 Enforceable Consent Agreements. **Federal Register** 60(55):15143-15145
- [111] USEPA (1996) **Designing Solutions for Screen Printers - An Evaluation of Screen Reclamation Systems**. United States Environmental Protection Agency; Prevention, Pesticides, And Toxic Substances (EPA 744-F-96-010), Washington, DC

- [112] Uusi-Penttilä, M.; Richards, R.J.; Blowers, P.; Torgerson, B.A.; Berglund, K.A. (1996) Liquid-Liquid Equilibria of Selected Dibasic Ester + Water + Solvent Ternary Systems. **Journal of Chemical and Engineering Data** 41(2):235-238
- [113] Vlachos, D.A.; Arce, G.T.; Rickard, L.B.; Covell, D.L.; Sarraf, A.M. (1988) Evaluation of Dibasic Esters (DBE), A New Class of Industrial Solvents, in a Genotoxicity Test Battery. **Environmental and Molecular Mutagenesis. Supplement** 11:109
- [114] Vyskocil, A.; Viau, C. (1998) *La mise à jour des données sur la toxicité du méthanol semble confirmer la VEMP existante*. In: **20e Congrès de l'AQHSST**, Laval, QC, 13-15 mai 1998, pp. 223-234. Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail, Ville d'Anjou, QC
- [115] 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
- [116] Weast, R.C.; Astle, M.J. (1982) **CRC Handbook of Chemistry and Physics. 63rd Edition**. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- [117] Windholz, M. (1976) **The Merck Index**. Merck & Co., Inc., Rahway, NJ.
- [118] Winfield, G. (1995) Dimethyl esters: Advanced applications. **American Paint & Coatings Journal** 80(2):43-47

Note : Les publications sans dates sont indiquées par la mention suivante : (19??)

Annexe I

Propriétés physico-chimiques du succinate diméthylque (DMS),
glutarate diméthylque (DMG) et adipate diméthylque (DMA)

Propriétés	DMS	DMG	DMA	Références
Synonyme	Succinate de diméthyle Succinate de méthyle; Ester diméthylque de l'acide succinique; Ester diméthylque de l'acide butanedioïque; Butanedioate de diméthyle	Glutarate de diméthyle Glutarate de méthyle; Ester diméthylque de l'acide glutarique; Ester diméthylque de l'acide pentanedioïque; Pentanedioate de diméthyle	Adipate de diméthyle Adipate de méthyle; Ester diméthylque de l'acide adipique; Ester diméthylque de l'acide hexanedioïque; Hexanedioate de diméthyle	(16; 71; 86)
Numéro CAS	106-65-0	1119-40-0	627-93-0	(71; 86)
Numéro RTECS	WM7675000	Non listé	AV1645000	(82)
Numéro EINECS	203-419-9	214-277-2	211-020-6	(40)
Formule moléculaire	C ₆ H ₁₀ O ₄	C ₇ H ₁₂ O ₄	C ₈ H ₁₄ O ₄	(71)
Masse moléculaire	146,14	160,17	174,20	(71)
État physique	Liquide	Liquide	Liquide	(117)
Apparence	Transparent	Transparent	Transparent	(4; 5)
Couleur	Incolore	Incolore	Incolore	(4; 5; 117)
Odeur	Éthérée et vinaigre	Légère et agréable	Agréable	(38; 46; 117)
Densité	1,1198 g/cm ³ @ 20 °C	1,0876 g/cm ³ @ 20 °C	1,0600 g/cm ³ @ 20 °C	(71)
Poids spécifique	1,121 @ 20/20 °C	1,091 @ 20/20 °C	1,064 @ 20/20 °C	(34)
Point de fusion	19 °C	- 42,5 °C - 37 °C	10,3 °C 10 °C 8 °C	(4; 5; 34; 71)
Point d'ébullition	196,4 °C	214 °C @ 760 mm Hg 213,5 - 214 °C @ 752 mm Hg 93,5 - 94,5 °C @ 13 mm Hg	227-230 °C 109-110 °C @ 14 mm Hg	(4; 34; 71; 117)

Propriétés	DMS	DMG	DMA	Références
Tension de vapeur	0,3 mm Hg @ 20 °C	0,1 mm Hg @ 20 °C 0,514 kPa @ 75 °C 1,83 kPa @ 100 °C 5,53 kPa @ 125 °C 14,7 kPa @ 150 °C 35 kPa @ 175 °C 76 kPa @ 200 °C	0,06 mm Hg @ 20 °C < 0,05 mm Hg @ 20 °C 4,32 kPa @ 135 °C 23,5 kPa @ 180 °C 93,9 kPa @ 225 °C	(3; 4; 5; 34; 71)
Taux d'évaporation (acétate de butyle = 1,0)	0,026 @ 25 °C	0,009 @ 25 °C	0,004 @ 25 °C	(53)
Concentration de vapeur saturante dans l'air sec	2 399 mg/m ³ @ 20 °C	877 mg/m ³ @ 20 °C	572 mg/m ³ @ 20 °C	Calculées à partir de l'équation des gaz parfaits
Point d'éclair	94 °C (coupelle fermée) 85 °C (méthode non spécifiée)	103 °C (coupelle fermée) 107 °C (coupelle fermée)	107 °C (coupelle fermée) 113 °C (coupelle fermée)	(4; 5; 16; 34)
Limite inférieure d'inflammabilité	1,0 %	0,9 %	0,80 %	(3; 4; 37)
Limite supérieure d'inflammabilité	8,5 %	7,9 %	8,10 %	(3; 4; 37)
Température d'auto-ignition	365 °C	365 °C	360 °C	(3; 4; 5)
Coefficient de partage octanol/eau (Log P)	0,35	0,62	1,03	(98)
Solubilité dans l'eau	Soluble dans 120 parties d'eau; 8,5 g/L @ 20 °C	4,3 % en poids @ 20 °C	2,4 % en poids @ 20 °C	(3; 5; 34; 117)
Solubilité dans les autres liquides	Soluble dans 35 parties d'éthanol; soluble dans l'éther et l'acétone	Très soluble dans l'éthanol et l'éther	Soluble dans le tétrachlorure de carbone, l'éther et l'acide acétique	(71; 116; 117)
Paramètres de solubilité de Hansen	$\delta_d = 17$ (J/cm ³) ^{1/2} ou 8,3 (cal/cm ³) ^{1/2} $\delta_p = 5,1$ (J/cm ³) ^{1/2} ou 2,5 (cal/cm ³) ^{1/2} $\delta_h = 10,2$ (J/cm ³) ^{1/2} ou 5,0 (cal/cm ³) ^{1/2}	$\delta_d = 17$ (J/cm ³) ^{1/2} ou 8,3 (cal/cm ³) ^{1/2} $\delta_p = 4,7$ (J/cm ³) ^{1/2} ou 2,3 (cal/cm ³) ^{1/2} $\delta_h = 9,8$ (J/cm ³) ^{1/2} ou 4,8 (cal/cm ³) ^{1/2}	$\delta_d = 17$ (J/cm ³) ^{1/2} ou 8,3 (cal/cm ³) ^{1/2} $\delta_p = 4,3$ (J/cm ³) ^{1/2} ou 2,1 (cal/cm ³) ^{1/2} $\delta_h = 9,2$ (J/cm ³) ^{1/2} ou 4,5 (cal/cm ³) ^{1/2}	(10; 34)
Stabilité	Stable @ TPN	Stable @ TPN	Stable @ TPN	(3; 4; 5)

Propriétés	DMS	DMG	DMA	Références
Incompatibilité	Acides, bases, agents oxydants, agents réducteurs	Acides, bases, agents oxydants, agents réducteurs	Acides, bases, agents oxydants, agents réducteurs	(4; 5; 6)
Réactivité	Hydrolysable	Hydrolysable	Hydrolysable	Condition : H ⁺ ou OH ⁻ et chaleur
Polymérisation	Non	Non	Non	(3; 4; 5)
Constante diélectrique	7,19 @ 20 °C	7,87 @ 20 °C	6,84 @ 20 °C	(71)
Chaleur latente de vaporisation	85 cal/g	81 cal/g	79 cal/g	(34)
Chaleur de combustion	2959 kJ/mol @ 15 °C	3612 kJ/mol @ 15 °C	4266 kJ/mol @ 15 °C (phase solide) 4286 kJ/mol (phase liquide)	(83)
Tension superficielle	34,6 dyne/cm	35,6 dyne/cm	35,1 dyne/cm	(76)
Résistance électrique	1,3 mégohm	2,3 mégohms	5,0 mégohms	(76)
Viscosité	2,5 cSt @ 25 °C	2,5 cSt @ 25 °C	2,5 cSt @ 25 °C	(5; 34)
Indice de réfraction	1,4197 @ 20 °C	1,4242 @ 20 °C	1,4283 @ 20 °C	(71)
Facteurs de conversion @ 20 °C et 760 mmHg	1 ppm = 6,07 mg/m ³ 1 mg/m ³ = 0,16 ppm	1 ppm = 6,65 mg/m ³ 1 mg/m ³ = 0,15 ppm	1 ppm = 7,24 mg/m ³ 1 mg/m ³ = 0,14 ppm	(95)

Annexe II

Fabricants de DBE*

Dupont Canada Inc.
7070 Mississauga Road
Box 2200, Streetsville
Mississauga, Ontario L5N 2H3

Téléphone : 905-821-5485
Télécopie : 905-821-5177

Solutia Inc. (Monsanto)
10300 Olive Boulevard
P.O. Box 66760
St-Louis, MO 63166-6760

Téléphone : 413-730-2775
Télécopie : 413-730-3394

Chemoxy International plc
All Saints Refinery
Cargo Fleet Road
Middlesbrough
North Yorkshire TS3 6AF
United Kingdom

Téléphone : +44 (0) 1642 248555

Rhodia Chimie (Rhône-Poulenc)
25, Quai Paul-Doumer
F-92408 Courbevoie Cedex
France

Téléphone : +33 1 47 68 12 34
Télécopie : +33 1 47 68 19 11

* Liste non exhaustive