

Substances chimiques et agents biologiques

Bilans de connaissances

RAPPORT B-069



La substitution des solvants par le lactate d'éthyle

*Denis Bégin
Sinarith Heng
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 *travaillent pour vous !*

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
2005
ISBN : 2-551-22776-3
ISSN : 0846-3069

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,
Juillet 2005



Substances chimiques et agents biologiques

Bilans de connaissances

■ RAPPORT B-069

La substitution des solvants par le lactate d'éthyle

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, Sinarith Heng et Michel Gérin

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

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

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

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST
Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

Résumé

Le lactate d'éthyle (n° CAS : 97-64-3) est un ester hydroxylé liquide, peu volatil, combustible, soluble dans l'eau et les solvants organiques, que l'on retrouve naturellement dans plusieurs aliments et boissons. Il est fabriqué principalement sous la forme chirale S à partir de l'acide lactique, lui-même obtenu de sources naturelles comme l'amidon de maïs. En plus d'une utilisation comme additif alimentaire, le lactate d'éthyle trouve un usage accru, souvent sous forme de mélange avec d'autres solvants, dans le décapage de pièces peintes, le nettoyage de presses d'imprimerie, la fabrication de semi-conducteurs, ainsi que le dégraissage de pièces métalliques. Il existe peu de données sur l'exposition professionnelle ou les effets toxiques chez l'humain. Diverses données chez l'animal, notamment la biotransformation du lactate d'éthyle en acide lactique et en éthanol, permettent cependant de classer la substance comme ayant une faible toxicité systémique. Sur la base d'effets locaux sur l'épithélium nasal de rats par inhalation les Pays-Bas ont dérivé une valeur limite d'exposition professionnelle (VLE) de 20 mg/m³ sur 8h, proche des valeurs adoptées en Suède et en Finlande (25 mg/m³ sur 8h et 50 mg/m³ sur 15 min), tandis que les organismes nord-américains ne proposent pas de VLE. Aisément dégradable, peu toxique pour les organismes aquatiques, avec un potentiel de formation d'ozone troposphérique faible et un potentiel de déplétion de la couche d'ozone nul, le lactate d'éthyle peut être jugé comme ayant des effets peu prononcés sur l'environnement. Au total le lactate d'éthyle semble constituer un produit de remplacement acceptable pour plusieurs solvants toxiques ou inflammables. Son odeur, détectable à de faibles concentrations ambiantes, pourrait cependant constituer un frein dans certaines utilisations.

Table des matières

RÉSUMÉ.....	1
TABLE DES MATIÈRES	2
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	4
1.0 INTRODUCTION.....	6
2.0 MÉTHODOLOGIE.....	6
3.0 PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES.....	7
4.0 PRODUCTION ET UTILISATION	8
4.1 PROCÉDÉ DE FABRICATION, IMPURETÉS ET ADJUVANTS.....	8
4.2 FABRICANTS	9
4.3 UTILISATIONS	9
4.4 ASPECTS TECHNIQUES DE LA MISE EN ŒUVRE	9
4.4.1 <i>Décapage de peinture</i>	9
4.4.2 <i>Nettoyage et dégraissage</i>	10
4.4.3 <i>Composants électroniques</i>	12
4.4.3 <i>Autre</i>	13
4.5 COÛTS.....	13
5.0 EXPOSITION PROFESSIONNELLE.....	13
6.0 TOXICOLOGIE.....	14
6.1 DOSES LÉTALES	14
6.2 ABSORPTION	15
6.3 DISTRIBUTION.....	15
6.4 BIOTRANSFORMATION	15
6.5 ÉLIMINATION	16
6.6 EFFETS LOCAUX.....	16
6.6.1 <i>Peau</i>	16
6.6.2 <i>Yeux</i>	17
6.6.3 <i>Nez</i>	17
6.7 EFFETS SYSTÉMIQUES	17
6.8 CANCÉROGENÈSE.....	18
6.9 MUTAGENÈSE	18
6.10 TOXICITÉ SUR LE DÉVELOPPEMENT	18
7.0 ENVIRONNEMENT	19
7.1 DEVENIR ENVIRONNEMENTAL.....	19
7.2 EFFETS ENVIRONNEMENTAUX.....	19
8.0 RÉGLEMENTATION ET RECOMMANDATIONS	20
8.1 MILIEU DE TRAVAIL	20
8.2 ENVIRONNEMENT.....	20
8.2.1 <i>Canada</i>	20

8.2.2 Québec.....	21
8.2.3 Ville de Montréal.....	22
9.0 PRÉVENTION.....	22
9.1 PREMIERS SECOURS.....	22
9.1.1 Projection cutanée.....	22
9.1.2 Projection oculaire.....	23
9.1.3 Inhalation.....	23
9.1.4 Ingestion.....	23
9.2 FUITES ACCIDENTELLES.....	23
9.3 MANIPULATION ET STOCKAGE.....	23
9.4 ÉQUIPEMENT DE PROTECTION PERSONNELLE.....	24
9.5 ÉLIMINATION DES DÉCHETS.....	24
9.6 RECYCLAGE.....	24
9.7 ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSE.....	24
9.8 SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DE L'EXPOSITION.....	25
9.9 SURVEILLANCE MÉDICALE.....	25
10.0 DISCUSSION.....	25
10.1 ASPECTS TECHNIQUES ET PÉCUNIAIRES.....	25
10.2 HYGIÈNE ET TOXICOLOGIE INDUSTRIELLES.....	26
10.3 ENVIRONNEMENT.....	29
11.0 AXES POTENTIELS DE RECHERCHE.....	29
12.0 CONCLUSION.....	29
13.0 RÉFÉRENCES.....	29
ANNEXE I.....	37
ANNEXE II.....	40

Liste des sigles et acronymes

ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ASTM : American Society for Testing and Materials
CAS : Chemical Abstracts Service
CCHST : Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail
CL₅₀ : Concentration létale 50 : Concentration qui provoque le décès de 50 % des animaux
CSST : Commission de la santé et de la sécurité du travail
CMM : Communauté métropolitaine de Montréal
CO₂ : Dioxyde de carbone = anhydride carbonique
DBE : Dibasic Esters = Esters d'acides dicarboxyliques
DBO₅ : Demande biochimique en oxygène cinq jours
DCM : Dichlorométhane = chlorure de méthylène
DECOS : Dutch Expert Committee on Occupational Standards
DMSO : Diméthylsulfoxyde
DL₅₀ : Dose létale 50 = dose qui provoque le décès de 50 % des animaux
EINECS : European Inventory of New and Existing Chemical Substances
FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
HSDB : Hazardous Substances Data Bank
HSELINE : Health and Safety On Line
INRS : Institut national de recherche et de sécurité (France)
IRSST : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail
ISST : Information en santé et en sécurité du travail
LCPE : Loi canadienne sur la protection de l'environnement
LE : Lactate d'éthyle
LIS : Liste intérieure des substances
NOAEL : No Observed Adverse Effect Level = dose sans effet nocif observable
MEK : Méthyléthylcétone
MDDEP : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
NFPA : National Fire Protection Association
NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health (USA)
NIOSHTIC : National Institute for Occupational Safety and Health Technical Information Center
NMP : N-méthyl-2-pyrrolidone
OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques
OMS : Organisation mondiale de la santé
ppm : Parties par million
RD₅₀ : Respiratory decrease fifty = concentration nécessaire pour réduire de 50 % la fréquence respiratoire des animaux exposés à une substance donnée par voie respiratoire
RepTox : Service du répertoire toxicologique de la CSST
RSA : Relation structure-activité
RSST : Règlement sur la santé et la sécurité du travail
RTECS : Registry of Toxic Effects of Chemical Substances
SGH : Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques
SIMDUT : Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail
SM : Soyate de méthyle (n^o CAS : 67784-80-9)

SRC : Syracuse Research Corporation

SST : Santé et sécurité du travail

THF : Tétrahydrofurane

TMD : Règlement sur le transport des marchandises dangereuses

TNO : Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek = Netherlands Organisation for Applied Scientific Research

UICPA : Union internationale de chimie pure et appliquée

USEPA : United States Environmental Protection Agency

USNLM : United States National Library of Medicine

VLE : Valeur limite d'exposition professionnelle

1.0 Introduction

On a estimé en 2003 qu'environ 14 millions de tonnes de solvants organiques sont utilisées annuellement dans le monde. Les États-Unis en consomment 3,8 millions de tonnes (1). Environ 200 000 travailleurs québécois sont exposés régulièrement aux solvants organiques (2). Les dangers pour les travailleurs, le public et l'environnement qui y sont associés amènent les entreprises à travailler au remplacement de nombre d'entre eux. Des bilans de connaissance ont été produits en 1995 et en 2002 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 (3, 4). De « nouveaux » solvants ont fait leur apparition dans les milieux de travail. 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. Des monographies ont été publiées en 1999 sur trois « nouveaux » solvants, le d-limonène, les esters d'acides dicarboxyliques (DBE) et la N-méthyl-2-pyrrolidone (NMP) (5, 6, 7), en 2002 sur deux autres solvants, le diméthylsulfoxyde et le 1-bromopropane et sur les nettoyeurs aqueux (8, 9, 10) et récemment sur l'alcool benzylique et le carbonate de propylène (11, 12). La présente monographie traite du lactate d'éthyle (LE, n^o CAS : 97-64-3). Elle présente de façon synthétique et critique les connaissances sur les aspects santé et sécurité du travail (SST), environnementaux et techniques de ce solvant, de manière à guider les spécialistes de l'hygiène du travail et de l'environnement dans leurs choix et décisions par rapport à cette substance. Ce bilan de connaissance permet également aux intervenants de la santé publique, particulièrement ceux de la santé au travail, de juger de sa toxicité.

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 certains rapports de recherche de la littérature dite « grise »¹ : CISILO², Current Contents³, Health and Safety Online⁴ (HSELINE), Information en santé et en sécurité du travail⁵ (ISST), Medical Literature Online⁶ (MEDLINE), National Institute for Occupational Safety and Health Technical Information Center⁷ (NIOSH TIC), SciFinder Scholar⁸, Toxicology Online⁹ (TOXLINE). Divers sites Web comme celui du United States Environmental Protection Agency¹⁰ (USEPA) ont également été compulsés. Les banques de données factuelles suivantes ont servi à recueillir certaines données

¹ Document produit à l'intention d'un public restreint ou spécialisé, en dehors des circuits commerciaux de l'édition et de la diffusion.

² Centre international d'informations de sécurité et d'hygiène du travail – International Labour Office. Voir :

<http://www.ilocis.org/fr/abcisilo1.html>

³ <http://www.isinet.com/products/c/>

⁴ <http://www.hse.gov.uk/infoserv/hseline.htm>

⁵ <http://centredoc.csst.qc.ca/>

⁶ <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez>

⁷ <http://www.ccohs.ca/products/web/bibcollection.html>

⁸ <http://www.cas.org/SCIFINDER/SCHOLAR/>

⁹ <http://toxnet.nlm.nih.gov/>

¹⁰ <http://www.epa.gov>

physico-chimiques et autres paramètres : ChemInfo¹¹, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances¹² (RTECS), Hazardous Substances Data Bank¹³ (HSDB), Syracuse Research Corporation¹⁴ (SRC). L'utilisation d'Internet a permis notamment d'identifier des fournisseurs de LE.

3.0 Propriétés physico-chimiques

Le LE est un ester hydroxylé que l'on retrouve naturellement dans les pommes, agrumes, ananas et le cacao ainsi que dans le pain et plusieurs boissons alcoolisées (13). Le LE est soluble dans l'eau et de nombreux solvants organiques. C'est une substance chirale : il existe deux isomères optiques (énantiomères) représentés par des molécules qui sont les images non superposables l'une sur l'autre dans un miroir. De plus, chaque énantiomère possède la propriété de dévier le plan de polarisation de la lumière vers la droite (dextrogyre) ou vers la gauche (lévogyre). Dans le commerce, les esters fabriqués à partir de l'acide L(+)-lactique (naturel) sont généralement lévogyres (14).

Les formules développées des énantiomères du LE sont présentées dans la figure 1¹⁵.

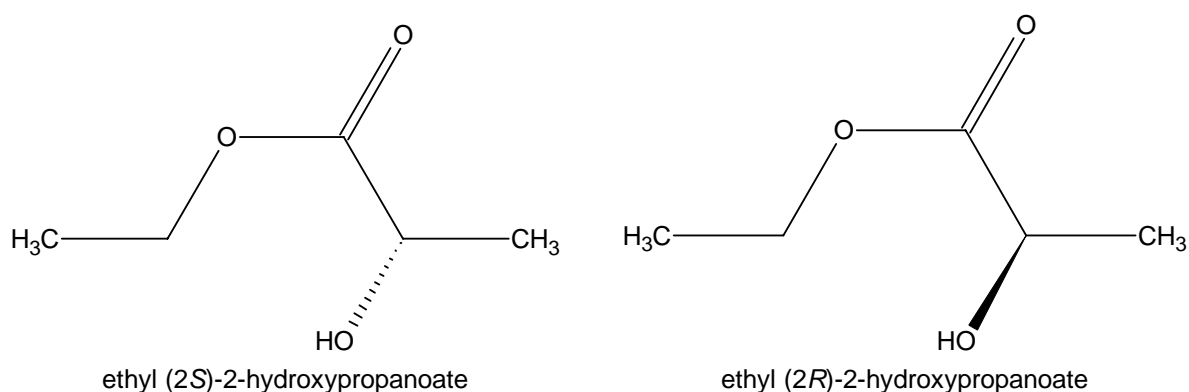


Figure 1
Formules développées des isomères optiques du LE

L'annexe I présente les principales propriétés physico-chimiques et de SST du LE. Il est à noter que les données présentées portent sur une large gamme de propriétés, y compris divers paramètres liés aux aspects techniques spécialisés de la mise en œuvre des produits (p. ex. tension superficielle, viscosité, paramètres de solubilité de Hansen), à leur devenir environnemental (p. ex. coefficients de partage octanol-eau) ou aux aspects santé-sécurité (p. ex. tension de vapeur,

¹¹ <http://www.ccohs.ca/products/databases/cheminfo.html>

¹² <http://www.ccohs.ca/products/databases/rtecs.html>

¹³ <http://toxnet.nlm.nih.gov/>

¹⁴ <http://www.syrres.com/esc/>

¹⁵ Les noms des isomères indiqués sous les figures sont les dénominations officielles anglo-saxonnes de l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC). Les noms français correspondants seraient les suivants : (2S)-2-hydroxypropanoate d'éthyle et (2R)-2-hydroxypropanoate d'éthyle (on dit également « ...propionate... »). Les préfixes S et R sont des stéréodescripteurs différenciant les énantiomères alors que le chiffre 2 indique l'atome de carbone asymétrique, le même sur lequel est fixé le groupe hydroxyle.

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.

4.0 Production et utilisation

4.1 Procédé de fabrication, impuretés et adjuvants

Le LE est fabriqué industriellement à partir de l'acide lactique, le plus simple des acides hydroxycarboxyliques. L'acide lactique peut être obtenu par synthèse chimique ou par fermentation de certains glucides. La première voie tend cependant à être remplacée par la deuxième qui est devenue plus rentable. Ainsi la société en coparticipation Cargill Dow¹⁶ procède par fermentation du dextrose (D-glucose), lui-même obtenu par hydrolyse enzymatique de l'amidon de maïs, une ressource renouvelable (15). L'acide lactique ainsi obtenu est transformé en lactide (N^o CAS = 95-96-5), un dimère cyclique, par condensation. Le lactide est surtout utilisé par fabriquer le polylactide ou acide polylactique, un plastique biodégradable destiné à l'industrie des emballages mais il peut aussi être transformé en lactate d'éthyle. La fabrication de l'acide lactique est également possible par fermentation d'autres sources de sucres naturels mais la source la plus économique aux États-Unis serait les usines de mouture humide du maïs (amidonneries) (16). L'acide lactique est transformé en LE par estérification avec de l'éthanol, lequel peut également être obtenu de ressources renouvelables. La fabrication du lactate d'éthyle à partir d'un acide lactique obtenu par synthèse chimique produit un mélange racémique de lactate d'éthyle. Sa fabrication à partir de lactate d'éthyle obtenu par fermentation produit la forme S du lactate d'éthyle, celle qui est la plus répandue actuellement dans le commerce¹⁷. L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) en France affirmait toutefois en 2001 que le mélange racémique du LE était commercialement le plus utilisé (17).

La société Argonne National Laboratory a développé un procédé de fabrication de LE par membrane de pervaporation¹⁸ à partir du maïs, qui réduit considérablement les déchets générés comparativement aux méthodes traditionnelles de fabrication. Cette nouvelle technologie permet aussi d'obtenir du LE à un coût semblable à ceux des solvants traditionnels dérivés du pétrole (19, 20).

La littérature technique ne mentionne pas la présence d'adjuvant dans le LE commercial. Il peut cependant y avoir des traces d'acide lactique puisque les fabricants de LE de qualité alimentaire mentionnent sur leur fiche technique un indice d'acide¹⁹ maximal, p. ex. 1,0 pour la classe alimentaire FCC du fabricant ADM (21), tel que requis par le « Food Chemical Codex » étasunien (22).

¹⁶ <http://www.cargilldow.com>

¹⁷ Courriel adressé le 2004-09-02 à D. Bégin de la part de M. Menno Lammers, chef de marché, Purac America inc., Lincolnshire, IL.

¹⁸ Pervaporation = « Technique d'extraction par membrane qui consiste à vaporiser partiellement un mélange liquide à travers un film dense semi-perméable » (18)

¹⁹ Nombre de milligramme d'hydroxyde de potassium nécessaire pour neutraliser l'acidité libre d'un gramme de substance en question.

4.2 Fabricants

L'annexe 2 donne une liste partielle de quatre fabricants de LE de qualité industrielle. Sauf pour la société japonaise qui utiliserait la synthèse chimique (14), les trois autres fabricants listés produisent leur LE à partir de l'acide lactique obtenu par fermentation de sucres naturels.

4.3 Utilisations

Le LE était jadis utilisé dans l'industrie des laques (23) comme solvant à évaporation lente où sa présence dans les vernis nitrocellulosiques augmentait leur fluidité et leur brillant (24). Il ne serait pas actuellement utilisé dans l'industrie de la peinture québécoise²⁰. Il dissout bien l'acétobutyrate de cellulose et les polymères polaires comme le poly(acétate de vinyle) et les polyacrylates. Il tolère de fortes quantités de diluants (25). On emploie le LE comme aromatisant dans l'industrie alimentaire (22, 26). Particulièrement depuis les années 1990, le LE est utilisé dans les décapants à peinture (27), les dégraissants industriels (28) et pour le nettoyage de précision (29).

4.4 Aspects techniques de la mise en œuvre

Seront traités dans cette section les aspects techniques de la mise en œuvre du LE dans certaines utilisations industrielles. La couverture des secteurs d'utilisation n'est pas exhaustive, car seuls seront abordés les procédés ou secteurs exposant au LE, de l'avis des auteurs, le plus grand nombre de travailleurs. Seront ainsi examinés successivement les secteurs du décapage de revêtements organiques, du nettoyage et du dégraissage industriels de diverses surfaces ainsi que quelques autres applications.

4.4.1 Décapage de peinture

La société Batelle a testé quatorze solvants et décapants dont le LE pour décapier des adhésifs à base d'époxy sur des pièces électromécaniques utilisées dans les systèmes de navigation et de guidage de l'aviation et du ministère de la Défense américains (30, 31). Les décapants à remplacer comprenaient un mélange d'acide nitrique et de diméthylsulfoxyde (DMSO), le dichlorométhane (DCM), l'acétone et un fluorocarbure non spécifié. Les substrats impliqués comprenaient l'aluminium, le béryllium, les alliages au nickel, le fer, l'acier inoxydable, le cuivre, le laiton et certains plastiques. Il a été déterminé que la N-méthyl-2-pyrrolidone²¹ (NMP) était le meilleur solvant quant à l'efficacité et la durée du décapage. Le décapage se faisait par immersion pendant plusieurs heures à des températures élevées (75 et 90 °C). Même si le LE n'a pas été aussi performant que la NMP, cette étude a néanmoins permis d'identifier les adjuvants nécessaires à l'utilisation optimale du LE, soit 15 % d'eau, 1 % d'agent tensioactif non ionique et 0,5 % d'un agent anticorrosion. L'eau semble augmenter l'efficacité de décapage du LE (31) tout en diminuant le risque d'inflammabilité.

²⁰ André Choinard, Approvisionnement, Sico, Longueuil, QC, 2004-09-03; Isabelle Pleau, responsable du laboratoire, Chemcraft, Warwick, QC, 2004-09-07; Roberto Gagnon, Directeur technique, CanLak, Daveluyville, QC, 2004-09-08.

²¹ Pour plus de détails sur ce solvant, voir la monographie de Bégin et Gérin (7)

La société Vertec BioSolvents propose diverses formulations pour le décapage de peinture, notamment un mélange de LE avec du DMSO et une coupe pétrolière aromatique lourde ainsi qu'un mélange de LE, de DMSO²² et d'esters d'acides dicarboxyliques²³ (DBE). Pour décaper les vernis, elle propose un mélange de LE et de d-limonène²⁴. Pour l'enlèvement des graffitis, Vertec propose notamment un mélange de LE, de soyate de méthyle (SM) (n° CAS : 67784-80-9) et de d-limonène (32).

4.4.2 Nettoyage et dégraissage

Carstensen suggère l'utilisation du LE dans la formulation de nettoyeurs pour presse à imprimer (33). Le LE étant à la fois soluble dans l'eau et les solvants organiques, il semble particulièrement adapté pour le nettoyage des presses offset où l'on retrouve à la fois des encres à base d'hydrocarbures et des solutions de mouillage aqueuses. Il peut ainsi remplacer les solvants chlorés et les hydrocarbures aromatiques légers. Du point de vue technique, le LE semble également tout indiqué pour remplacer les éthers de glycol basés sur l'éthylène glycol, comme l'acétate de 2-éthoxyéthyle, en raison de son taux d'évaporation très proche de ce dernier, comparativement à celui d'autres éthers de glycol basés sur le propylène glycol²⁵. La société Vertec BioSolvents propose notamment un mélange de LE, de d-limonène et d'un émulsifiant pour le nettoyage des presses offset (32). La société Soysolv (Tiffin, OH) propose son « Ink Zapper²⁶ », contenant du LE et du SM, pour le nettoyage des presses lithographiques. Le USEPA a aussi considéré l'utilisation du LE pour la régénération des écrans ou « dégravage » en sérigraphie (35).

Dans une étude commanditée par le fabricant Purac, Hill et Carter ont procédé à divers essais avec le LE afin de remplacer les solvants chlorés dans le nettoyage de diverses salissures (sébum humain, huile de coupe, fluide de refroidissement aqueux, plastifiant, lubrifiants minéral et végétal, agent de démoulage au silicone, graisse au lithium, encre de traçage) (36). Ce type de salissures se retrouve souvent sur des pièces métalliques durant les opérations d'usinage et d'assemblage. Le substrat utilisé pour les tests était de l'acier inoxydable. Les salissures ont été appliquées sur le subjectile dans des conditions normalisées. Le nettoyage a été réalisé à la température de la pièce, par immersion dans un bain de LE, avec ultrasons à 40 kHz, pendant 5 minutes suivi d'une immersion de 30 secondes dans un bain de LE propre. La contamination résiduelle a été évaluée par différence de pesée. Les auteurs rapportent une efficacité de nettoyage de plus de 99,9 %. Ils ont également utilisé différentes façons de faire durcir ou vieillir les contaminants sur le substrat afin de rendre les essais encore plus exigeants. Les résultats des nettoyages ont également été excellents. Hill et Carter ont aussi procédé à des essais de compatibilité du LE avec certains substrats (alliages d'aluminium n° 6061, d'acier n° 1018 et de magnésium n° AZ91A) en raison de la présence d'acide lactique issu de l'hydrolyse du LE. Les auteurs avaient en effet remarqué une acidité accrue dans un échantillon de LE dont le contenant avait été ouvert puis refermé six mois auparavant (0,01 % d'acide lactique avec du LE neuf et 0,1 % d'acide après six mois). Les tests ont été réalisés par immersion dans du LE neuf et vieux,

²² Pour plus de détails sur ce solvant, voir la monographie de Bégin et coll. (8).

²³ Pour plus de détails sur ces solvants, voir la monographie de Bégin et Gérin (5)

²⁴ Pour plus de détails sur ce solvant, voir la monographie de Bégin et Gérin (6)

²⁵ Taux d'évaporation par rapport à celui de l'acétate de butyle normal = 1,00 : 1) acétate de 2-éthoxyéthyle = 0,19; 2) LE = 0,21; 3) acétate de l'éther méthylique du propylène glycol (n° CAS : 108-65-6) = 0,37 (34)

²⁶ <http://www.soysolv.com/zapper/>

pendant 1, 8 et 24 heures. L'inspection au microscope a permis de déceler une certaine attaque de l'alliage au magnésium sauf pour l'immersion pendant une heure. En conséquence les auteurs ne recommandent pas l'utilisation du LE avec ce type d'alliage pour des périodes de temps prolongées. De petites taches se sont également développées sur certaines plaques d'acier. L'immersion pendant une heure a cependant eu peu d'effet et le solvant neuf a eu moins d'effet que le vieux solvant. Hill et Carter concluent que le LE est un solvant de rechange acceptable pour remplacer les solvants chlorés (36). Ces auteurs ont rapporté les mêmes résultats dans une autre publication concernant le nettoyage de précision (29).

Trychta et coll. ont procédé à une étude du LE pur comparativement au solvant traditionnel utilisé pour le dégraissage métallique dans un atelier d'usinage et d'entretien mécanique employant 65 personnes. Le LE a été utilisé de façon routinière pendant six semaines par les machinistes pour nettoyer diverses pièces (parties de machines-outils dont certaines très souillées et à géométrie complexe) dans un bac de dégraissage Safety-Kleen²⁷. Le solvant normalement utilisé dans cet appareil est le « Safety-Kleen Premium Gold », une coupe pétrolière hydrotraitée en C₉-C₁₆ (n^o CAS : 64742-47-8). Une enquête par questionnaire auprès des utilisateurs du LE a révélé que la grande majorité des machinistes ont jugé que le LE nettoyait plus rapidement, avait une efficacité de nettoyage supérieure et requérait moins de temps de séchage avant la manipulation des pièces que le solvant traditionnel (37). Trychta et coll. ont également fait une étude semblable s'échelonnant sur dix semaines dans le même atelier d'usinage mais en utilisant un mélange 50/50 en volume de LE et de SM. La satisfaction des utilisateurs était également très grande en tout point sauf pour le temps de séchage plus long (28).

Grendahl et coll. ont comparé la performance de la méthyléthylcétone (MEK), le solvant à remplacer, avec celle des trois solvants suivants pour nettoyer des surfaces métalliques : 1) 1-bromopropane²⁸; 2) mélange LE/SM; 3) mélange de 1,2-trans-dichloroéthylène (n^o CAS : 156-60-5) avec quatre éthers fluorés. Le nettoyage au solvant est l'étape préliminaire nécessaire au collage de pièces métalliques à l'aide d'un adhésif à base d'époxy dans certaines bases militaires de l'armée américaine. Les substrats métalliques utilisés étaient les suivants : acier inoxydable, acier recouvert de nickel, aluminium, titane. Les auteurs ont utilisé la salissure normalisée suivante pour les essais, appliquée à l'aide d'un pinceau et cuite au four pendant deux heures à 55 °C : un mélange de deux parties en poids de fluide hydraulique, une partie de graisse lubrifiante et un dixième de partie de noir de carbone. Le nettoyage des surfaces était réalisé manuellement au chiffon. Le jugement final a été fait sur la base de tests d'adhérence normalisés. Les auteurs concluent notamment que le mélange LE/SM avait une capacité de nettoyage supérieure à la moyenne mais que l'évaporation du solvant était beaucoup plus longue que celle des autres candidats, nécessitant un séchage à l'air chaud (38).

Marshall et Wilcox²⁹ rapportent les résultats de vingt-deux essais de nettoyage de diverses salissures (adhésifs, cires, fluides de coupe, flux de brasage tendre, graisses, huile de trempe, lubrifiant, pâtes à polir, peintures, résines) sur de l'acier inoxydable et de l'aluminium, réalisés avec une vingtaine de nettoyeurs commerciaux contenant trois types de solvants à base végétale

²⁷ <http://www.safety-kleen.com>

²⁸ Pour plus de détails concernant ce solvant, voir la publication de Bégin et Gérin (9).

²⁹ <http://www.cleansolutions.org>

incluant le SM, le LE³⁰, et le d-limonène, seuls ou en combinaison. Les tests ont été réalisés en laboratoire dans des conditions normalisées. Les auteurs ont procédé par immersion de plaquettes métalliques souillées pendant 5 minutes dans un bécher de 600 ml de nettoyeur placé sur une plaque chauffante à 49 °C et munie d'un agitateur magnétique. La contamination résiduelle a été évaluée par différence de pesée. Un ester lactique a particulièrement bien réussi à enlever un lubrifiant (96 % de la contamination éliminée). Un mélange d'ester lactique et de d-limonène a enlevé 100 % d'un fluide de coupe et 100 % d'une huile de trempe. Un mélange d'ester lactique et de d-limonène a également enlevé plus de 98 % d'un flux et d'une peinture (39).

Weltman et Phillips ont développé trois mélanges de solvants pour remplacer le solvant habituellement utilisé pour le nettoyage au chiffon à l'avionnerie de General Dynamics à Fort Worth, TX. Le solvant à remplacer étaient composés de 1,1,2-trichlorotrifluoroéthane (CFC-113) et de MEK et servait à dégraisser des pièces métalliques avant l'application de peinture, de scellant ou d'adhésif. Le développement des mélanges devait prendre en compte divers facteurs comme l'inflammabilité (point d'éclair > 38 °C), l'odeur, la compatibilité avec les substrats métalliques et polymériques, l'efficacité de nettoyage, le temps de séchage et les résidus sur la surface suite au nettoyage. Deux des mélanges développés contiennent du LE (40). L'un des solvants est disponible commercialement³¹ (41).

4.4.3 Composants électroniques

Le LE est employé dans la fabrication des semi-conducteurs : il est utilisé comme solvant de la résine positive photosensible employée dans le procédé de photolithographie où il a remplacé les éthers de glycol tels que l'acétate de 2-éthoxyéthyle (n° CAS : 111-15-9) (42). Cummins indique que la société Intel utilise quelque 100 tonnes de LE par année dans son usine en Irlande sans toutefois décrire le procédé où le solvant est employé (43). Afin de remplacer l'acétate de 2-éthoxyéthyle comme solvant dans les résines positives, Boogs a procédé à une étude comparative des données toxicologiques disponibles concernant les quatre solvants de rechange suivants : acétate de l'éther monométhyle du propylène glycol (n° CAS : 108-65-6), 3-éthoxypropionate d'éthyle (n° CAS : 763-69-9), LE, 4-butyrolactone (n° CAS : 96-48-0). Ces solvants sont techniquement performants et utilisés dans l'industrie électronique. L'auteur recommande l'emploi du 3-éthoxypropionate d'éthyle et de la 4-butyrolactone. Le LE n'est pas recommandé en raison du peu de données toxicologiques disponibles au moment de l'étude (fin des années 1980) (44). L'association professionnelle IPC³² (Association Connecting Electronics Industries) liste le LE comme solvant pouvant être utilisé dans le nettoyage des résidus de flux de brasage tendre lors de la fabrication de plaquettes de circuits imprimés (45). Cette industrie a été à l'avant-garde dans le remplacement du CFC-113 à cause de son potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique. Hill et Carter proposent l'utilisation du LE pour le nettoyage de précision en soutenant que le niveau de résidus ioniques est jugé acceptable pour la plupart des applications de l'industrie électronique (29).

³⁰ Les auteurs mentionnent le LE au début de l'article mais parlent plutôt d'ester lactique dans le reste de leur compte-rendu.

³¹ <http://www.dynamold.com>

³² <http://www.ipc.org/>

4.4.3 Autre

L'utilisation du DCM pour le soudage des plastiques est une technique courante en industrie (46). Quoique le LE n'aurait pas été à la hauteur des attentes dans le soudage du plastique acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS) et du polystyrène choc (« high-impact polystyrene ») (46), les auteurs de la présente monographie sont d'avis qu'il pourrait possiblement remplacer le solvant chloré pour coller des pièces en plexiglass. Le LE est en effet un bon solvant pour le polyméthacrylate (25).

Nikles et coll. ont étudié le remplacement des trois premiers solvants suivants par le LE dans la formulation d'une suspension magnétique appliquée sur un substrat en polyester dans la fabrication de ruban magnétique : MEK, méthylisobutylcétone (MIBK), toluène, tétrahydrofurane (THF). Le mélange 50/50 LE/THF, quoique techniquement acceptable, est cependant plus dispendieux que le produit traditionnel (47).

4.5 Coûts

Deux distributeurs locaux de produits chimiques nous ont fourni des prix pour le LE. La société Ashland Canada (Montréal-Est, QC) offre son LE à 3,75 \$ CA/kg (Jean Carrère, Ashland, 2004-09-03). La société L.V. Lomas (Dorval, QC) vend son LE à 3,72 \$ CA/kg (Carole Patry, L.V. Lomas, 2004-09-08). Le fabricant Vertec BioSolvents (Downers Grove, IL) offre son LE au prix de 3,70 \$ CA/kg (FAB³³ Downers Grove; Jerry Vasek, Vertec BioSolvents, 2004-09-03). Les prix obtenus se rapportent à l'achat de fûts de 250 kg de LE de qualité technique. L.V. Lomas exige cependant l'achat d'un minimum de quatre fûts de 250 kg pour respecter le prix mentionné.

5.0 Exposition professionnelle

Le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) a mené de 1981 à 1983 une vaste enquête sur les expositions chimiques (NOES³⁴, National Occupational Exposure Survey) dans 4 490 lieux de travail étasuniens (48). Une matrice emploi-exposition a été élaborée à partir de cette étude. Le nombre de travailleurs potentiellement exposés au LE a été extrait de cette matrice. Il y avait ainsi un total 7 298 travailleurs potentiellement exposés à cette substance dans les cinq secteurs d'activité économique suivants : fabrication de produits alimentaires (2 809), fabrication de produits chimiques (2 245), caoutchouc et matières plastiques (1 735), services de santé (495), fabrication de composants électriques et électroniques (14). Les professions exposant plus de 500 employés étaient les suivantes par ordre décroissant d'importance : conducteurs de machine à refouler le caoutchouc et les matières plastiques (1 735), opérateurs de concasseur et de machine à broyer (1 170), autres opérateurs non spécifiés (967), emballeurs et ensacheurs (525).

³³ FAB = Franco à bord (en anglais : FOB = Free on board). Cette précision signifie qu'en plus du prix du solvant, l'acheteur doit assumer tous les coûts reliés au transport de la marchandise de l'endroit indiqué (Downers Grove, IL) jusqu'à la destination finale (p.ex. Montréal).

³⁴ <http://www.cdc.gov/noes/>

Peu de données concernant les niveaux d'exposition professionnelle au LE ont été publiées. Dans une usine suédoise, un niveau moyen ambiant de 0,6 ppm de LE a été rapporté autour d'un endroit où l'on effectue du dégraissage métallique. Des pics de concentration de 10 ppm ont été mesurés près d'un système automatisé de nettoyage en continu alors que la concentration moyenne 8h calculée était égale à 4,2 ppm (49).

Lors de l'utilisation de LE pur pour le dégraissage métallique dans un atelier d'usinage, Trychta et coll. rapportent des niveaux de LE ambiants variant de 20 à 70 ppm dans un endroit dont le plafond est très élevé mais où il n'y a pas de ventilation et de 10 à 30 ppm dans un endroit situé près d'un système d'aspiration à la source. Les niveaux de LE les plus élevés se rapportent au dégraissage manuel à la brosse de pièces métalliques. Les concentrations de LE ont été mesurées à l'aide d'un appareil à lecture directe fonctionnant par détection à ionisation de flamme (37). Dans une autre publication, Trychta et coll. rapportent une concentration moyenne pondérée sur 50 minutes de 6 ppm de LE lors du dégraissage métallique manuel avec un mélange 50/50 en volume de LE et de SM (28).

Sans être une donnée d'exposition professionnelle, il est intéressant de noter qu'un comité conjoint d'experts de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a estimé récemment à 1900 µg/jour en Europe et 760 µg/jour aux États-Unis la consommation quotidienne de LE par habitant via l'alimentation (50).

6.0 Toxicologie

Dans une revue récente de la toxicologie de 31 additifs alimentaires incluant le LE, un comité FAO/OMS a jugé le LE assez peu toxique pour le placer dans sa catégories des substances dont la dose journalière acceptable (DJA) est « non spécifiée », laissant aux fabricants le soin de l'utiliser selon les règles de l'art de l'industrie alimentaire (50).

Très peu de données toxicologiques chez l'humain ont été rapportées dans la littérature concernant le LE. En conséquence les données animales sont prépondérantes dans les sections suivantes.

6.1 Doses létales

Le tableau 1 présente quelques doses létales chez l'animal de laboratoire pour le LE, issues de sources secondaires.

Tableau 1
Doses létales du lactate d'éthyle

Paramètre*	Voie d'administration	Espèce	Dose	Référence
DL ₅₀	Orale	Rat	> 5000 mg/kg	(51)
DL ₅₀	Orale	Rat	> 2000 mg/kg	(52)
DL ₅₀	Orale	Souris	2500 mg/kg	(51)
DL ₅₀	Cutanée	Lapin	> 5000 mg/kg	(51)

Paramètre*	Voie d'administration	Espèce	Dose	Référence
DL ₅₀	Sous-cutanée	Souris	2,5 ml/kg	(51)
DL ₅₀	Intraveineuse	Souris	0,6 ml/kg	(51)
CL ₅₀	Inhalation	Rat	> 5400 mg/m ³	(52)

* DL₅₀ : Dose létale 50 = dose qui provoque le décès de 50 % des animaux; CL₅₀ : Concentration létale 50 = concentration qui provoque le décès de 50 % des animaux

D'après la classification de toxicité aiguë proposée par Lauwerys (53) en fonction de la DL₅₀ par voie orale chez le rat, le LE serait ainsi tout au plus « légèrement toxique ». Selon le système harmonisé de classification intégrée des produits chimiques de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), le LE pourrait être placé dans la catégorie 5 pour les voies orale, cutanée et respiratoire (54). Il en va de même pour le Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH) des Nations unies qui possède les mêmes catégories que celui de l'OCDE (55).

Gosselin et coll. rapportent une dose létale probable se situant entre 0,5 et 5 g/kg de LE chez l'humain (56).

6.2 Absorption

Aucune donnée n'a été publiée concernant l'absorption du LE. Prottey et coll. rapportent les données d'une étude concernant l'utilisation du LE dans le traitement de l'acné. Le LE s'hydrolyse dans la peau en éthanol et en acide lactique, ce dernier réduirait le pH de la peau, contribuant ainsi à empêcher la survenue de l'acné. Cent µL d'une solution de 10 % de LE marqué au radiocarbone (¹⁴C) dans une solution aqueuse d'éthanol à 44 % a été appliquée sur la peau rasée de rats pendant des périodes allant jusqu'à 24h. La radioactivité mesurée par autoradiographie d'échantillons de peau s'était accumulée principalement dans les glandes sébacées et les follicules pileux mais également dans l'épiderme et le derme (57). Après une injection intragastrique chez le rat, du LE est décelé dans la circulation portale, indiquant une certaine absorption avant l'hydrolyse (52).

6.3 Distribution

Aucune étude concernant la distribution du LE n'a été identifiée dans la littérature.

6.4 Biotransformation

Sur la base d'études toxicologiques réalisées *in vivo* chez le rat et *in vitro* dans les laboratoires de l'organisation néerlandaise pour la recherche en sciences appliquées TNO³⁵, Clary et coll. rapportent que le LE s'hydrolyse rapidement par voie enzymatique dans l'épithélium nasal. Le plasma de rat hydrolyserait 80 % du LE en 60 minutes (52). Les produits de l'hydrolyse du LE dans l'organisme sont l'acide lactique et l'éthanol (58). L'acide lactique est produit chez l'humain à l'occasion de la glycolyse anaérobie, p.ex. lors d'un travail musculaire intensif (59).

³⁵ <http://www.tno.nl/homepage.html>

Le sang humain contient normalement de 8 à 17 mg d'acide lactique par 100 ml de plasma. La concentration de lactate dans la peau humaine normale est trois fois plus élevée (51).

6.5 Élimination

Étant donné que le LE s'hydrolyse en acide lactique et en éthanol, l'élimination du LE de l'organisme se rapporte à ces deux substances.

L'acide lactique est oxydé en acide pyruvique par la déshydrogénase lactique (51). Rappelons que l'acide pyruvique est lui-même normalement issu, chez les mammifères, de la glycolyse, une série de dix réactions chimiques dégradant le glucose avec production d'énergie sous forme d'adénosine triphosphate (ATP). L'acide pyruvique est ensuite transformé, avec formation concomitante de dioxyde de carbone (CO₂), en acétylcoenzyme A, point de départ de plusieurs voies métaboliques telles que le cycle de Krebs, également producteur de CO₂ et d'eau. Le CO₂ est finalement évacué à l'extérieur de l'organisme par les poumons via la circulation sanguine (59).

L'éthanol est métabolisé principalement par l'alcool déshydrogénase (ADH) qui l'oxyde en acétaldéhyde, surtout dans le foie. L'acétaldéhyde est oxydé à son tour en acétate par l'acétaldéhyde déshydrogénase (ALDH) avec formation subséquente d'acétylcoenzyme A. Ce dernier entre dans le cycle de Krebs avec formation de CO₂ et d'eau (60).

6.6 Effets locaux

6.6.1 Peau

Fiume rapporte les résultats d'une étude non publiée de la société Avon Products (New York, NY) où un correcteur de vernis à ongle contenant 50 % de LE a été testé pendant 24h chez le lapin quant à son potentiel irritant dans un test épicutané recouvert. Aucune irritation n'a été constatée. Lundberg rapporte un résultat similaire dans une étude plus ancienne avec du LE pur (61). Les auteurs de cette étude ont cependant noté une sévère irritation cutanée suite à une injection sous-cutanée de 0,1 ml de LE sur l'abdomen rasé de cobayes (61). Clary et coll. considèrent le LE comme non irritant pour la peau sur la base d'études de toxicité aiguë menées au TNO chez le lapin (52).

Un seul cas de dermatite de contact allergique a été rapporté dans la littérature concernant le LE. Il s'agit d'une patiente atteinte d'acné faciale, traitée à l'aide d'une préparation médicamenteuse contenant 10 % de LE. Le cas a été confirmé par test épicutané. Marot et Grosshans soupçonnent que la patiente a été sensibilisée antérieurement au LE parce que sa réaction allergique est apparue 48h après la première application du savon anti-acnéique (62). Sans donner de détails et citant une monographie concernant le LE publiée par BIBRA³⁶ en 1989, Clary et coll. affirment que ce solvant n'était pas un sensibilisant cutané lors d'un test épicutané effectué sur vingt-cinq volontaires (52).

³⁶ British Industrial Biological Research Association, <http://www.bibra.co.uk>

6.6.2 Yeux

Latven et Molitor rapportent une importante réaction œdémateuse et de l'hyperémie dans l'œil des lapins suite à l'application de 0,5 ml de LE (63). Sur la base de tests *in vitro* sur l'œil de poulet (« chicken enucleated eye test » ou CEET), Clary et coll. considèrent que le LE peut causer des lésions oculaires graves. Cette toxicité serait due à l'acide lactique, produit de l'hydrolyse du LE (52).

6.6.3 Nez

Deux études de toxicité subchronique par inhalation ont été menées au TNO chez le rat en exposant les animaux à 0, 150, 600 et 2500 mg/m³ et à 0, 25, 75 et 200 mg/m³ de LE pendant 4 semaines à raison de 6h par jour et 5j par semaine. Clary et coll. ont résumé brièvement ces études. Ils rapportent une dégénérescence de l'épithélium de la région olfactive et une hyperplasie de l'épithélium respiratoire nasal incluant les cellules en gobelet aux doses les plus élevées (600 et 2500 mg/m³). Le NOAEL³⁷ pour ces effets locaux est de 200 mg/m³ (52).

6.7 Effets systémiques

Dans les études par inhalation résumées au § 6.6.3, aucun changement concernant les signes cliniques reliés au traitement, le poids, la prise d'aliment, l'hématologie, la biochimie ou le poids des organes n'a été observé jusqu'à la dose de 600 mg/m³. Une baisse de la prise de poids corporel, de la consommation alimentaire, des niveaux d'urée et du poids absolu du foie ainsi qu'une augmentation du glucose sanguin chez les rats mâles, du poids des glandes surrénales et des testicules ont été rapportées à la dose la plus élevée (2500 mg/m³) (52).

Clary et coll. résument les données d'une étude réalisée au TNO concernant l'irritation sensorielle par voie respiratoire par la détermination de la RD₅₀³⁸ du LE (52). Modèle développé à l'origine par Alarie, la RD₅₀ correspond à la concentration nécessaire pour réduire de 50 % la fréquence respiratoire des animaux exposés à une substance donnée par voie respiratoire. Elle est calculée à partir d'un graphique du pourcentage de diminution de la fréquence respiratoire en fonction du logarithme de la concentration (64). Clary et coll. rapportent une RD₅₀ pour le LE se situant entre 750 et 800 mg/m³ chez le rat et la souris tout en indiquant que les valeurs limites d'exposition professionnelle pour les irritants sensoriels sont généralement bien corrélées avec le 1/10 de leur RD₅₀ (52).

En l'absence de données toxicologiques sur une molécule à l'étude, des comparaisons peuvent être établies entre celle-ci et d'autres substances dont les propriétés toxicologiques sont connues, de façon à obtenir par analogie de structure moléculaire, des informations sur le danger de la molécule en question. On appelle cette approche « relation structure-activité³⁹ » (RSA). Graham et coll. concluent à l'absence de potentiel de sensibilisation respiratoire du LE sur la base d'un

³⁷ No Observed Adverse Effect Level = dose sans effet nocif observable

³⁸ Respiratory Decrease fifty

³⁹ en anglais "structure-activity relationship" (SAR)

modèle de RSA. Leur modèle est basé sur des données humaines et l'utilisation d'un logiciel d'intelligence artificielle pour l'étude comparative des molécules sensibilisantes (65).

Aucune étude concernant la neurotoxicité du LE n'est rapportée dans la littérature. En révisant les études de toxicité aiguë et subchronique par voie orale et par inhalation chez le rat, Clary et coll. ne rapportent aucun signe clinique de neurotoxicité. Ces auteurs ont également effectué une recension des quelques études de neurotoxicité de l'éthanol, cet alcool étant un des produits de l'hydrolyse du LE dans l'organisme. Ils concluent à l'absence de neurotoxicité aux concentrations d'éthanol auxquelles des travailleurs seraient soumis s'ils étaient exposés à 75 mg/m³ de LE, la valeur limite qu'ils recommandent, basée sur un NOAEL de 200 mg/m³ pour la dégénérescence de l'épithélium nasal chez le rat. Clary et coll. mentionnent également que l'acide lactique, l'autre produit de l'hydrolyse du LE, n'est pas neurotoxique (66).

6.8 Cancérogenèse

Aucune étude n'a été identifiée. Le lactate de calcium (n^o CAS : 814-80-2) s'est avéré non cancérogène dans une étude chronique par voie orale chez le rat (67).

6.9 Mutagenèse

Citant une étude non publiée de la société Microbiological Associates (maintenant BioReliance⁴⁰, Rockville, MD), Clary et coll. rapportent l'absence de caractère mutagène du LE dans le test d'Ames, avec ou sans activation métabolique (52).

6.10 Toxicité sur le développement

Citant une étude non publiée de la société Argus (Horsham, PA), une filiale de Charles River Laboratories⁴¹, Clary et coll. résument une étude concernant la toxicité du LE sur le développement, menée par voie cutanée sur des groupes de 25 rates gravides aux doses suivantes, du 6^e au 15^e jour de gestation : 0, 517, 1551 et 3619 mg/kg de poids corporel. Les auteurs ne rapportent aucun effet toxique sur le développement et considèrent la dose la plus élevée comme un NOAEL (52).

Steele et coll. ont mené une étude de toxicité sur le développement en exposant *in vitro* des embryons de poulets à une résine photosensible utilisée dans l'industrie de la fabrication des semi-conducteurs qui contenait entre 50 et 70 % de LE mais également entre 20 et 30 % de 3-éthoxypropionate d'éthyle, entre 15 et 25 % d'une résine styrénique non identifiée et de 0,1 à 1 % d'un sel d'iodonium⁴² également non identifié (68, 69 2000). Les auteurs ont utilisé les trois doses suivantes : 20 µL de résine dans 10 mL de solution saline, 20 µL de résine dans 20 mL de solution saline et 10 µL dans 20 mL de solution saline. Les trois doses ont provoqué l'arrêt du développement dans la majorité des embryons ainsi que diverses malformations (68).

⁴⁰ <http://www.bioreliance.com>

⁴¹ <http://www.criver.com>

⁴² Radical bivalent = I-OH

7.0 Environnement

7.1 Devenir environnemental

Les spécialistes en écotoxicologie de la bibliothèque nationale de médecine des États-Unis (« United States National Library of Medicine » (USNLM)) ont résumé ainsi, dans leur base de données HSDB, le devenir environnemental du LE : Le LE émis dans l'air atmosphérique devrait exister uniquement sous forme de vapeur en raison de sa tension de vapeur égale à 3,75 mmHg à 25 °C. Sa demi-vie atmosphérique est estimée à 3,7 jours. Émis dans le sol, le LE devrait avoir une grande mobilité. Sa volatilisation à partir du sol humide ne devrait pas être importante en raison de son coefficient de Henry égal à $5,8 \times 10^{-7}$ atm·m³/mole mais il pourrait se volatiliser à partir du sol sec. Émis dans l'eau, le LE ne devrait pas s'adsorber sur les matières en suspension ou les sédiments en raison de son coefficient de partage carbone organique/eau (K_{oc}) égal à 1. Sa volatilisation à partir de l'eau ne devrait pas être importante en raison de la valeur de son coefficient de Henry, mentionnée plus haut. Le potentiel de bioconcentration du LE est faible en raison d'un facteur de bioconcentration égal à 3. L'hydrolyse du LE dans l'eau est probablement une voie de dégradation importante en raison des demi-vies d'hydrolyse de 72 et 7 jours à pH de 7 et 8 respectivement (70).

Bowmer et coll. ont effectué des tests de « biodégradabilité facile » selon les procédures recommandées par l'OCDE avec des méthodes respirométriques (OCDE 301) (71). Ils rapportent 75 % de dégradation en fonction de la demande théorique en oxygène après 28 jour (72). Cette valeur dépassant le seuil de 60 % de l'OCDE, le LE peut être classé comme « aisément biodégradable » (71).

7.2 Effets environnementaux

Bowmer et coll. ont testé le LE selon les procédures recommandées par l'OCDE pour la toxicité sur les organismes aquatiques (71). Ils rapportent une CL_{50} – 96h chez le dard-perche de 320 mg/L, des concentrations efficaces 50 (CE_{50}) – 48h chez la daphnie de 560 et 683 mg/L ainsi qu'une C_bE_{50} ⁴³ de 2300 mg/L et une C_rE_{50} ⁴⁴ de 3500 mg/L sur l'algue *Selenastrum capricornutum* entre 72 et 96h (72). Parce que ces données excèdent les valeurs les plus élevées (p.ex. : classe aiguë III : CL_{50} – 96h chez le poisson > 10 et ≤ 100 mg/L) du système harmonisé de classification intégrée des produits chimiques de l'OCDE pour l'environnement aquatique (54), le LE peut être considéré peu toxique pour ce compartiment environnemental.

Le potentiel de formation d'ozone troposphérique (PFO)⁴⁵ du LE est faible puisqu'il est égal à 0,03 en référence à celui de l'éthylène, considéré par définition égal à 1 (73). Le potentiel de déplétion de l'ozone stratosphérique (PDO) est nul puisque la molécule de LE ne comporte aucun halogène (73).

⁴³ C_bE_{50} = concentration efficace 50 selon la méthode de la comparaison des surfaces sous les courbes de croissance (« b » pour « biomass »).

⁴⁴ C_rE_{50} = concentration efficace 50 selon la méthode de la comparaison des taux de croissance (« r » pour « rate »)

⁴⁵ <http://solvdb.ncms.org/index.html> page Web visitée le 2004-09-23

8.0 Réglementation et recommandations

8.1 Milieu de travail

Le LE ne fait pas partie de la Liste de divulgation du Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT) (74). Le service du répertoire toxicologique (RepTox) de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) place le LE dans la catégorie B3 (liquide combustible) du SIMDUT (75).

Le LE ne possède pas de VLE en Amérique du Nord. Depuis 1996, la Suède possède une VLE égale à 25 mg/m³ (8h) et 50 mg/m³ (15 min) (76). La Finlande possède une VLE de 25 mg/m³ (8h) et 49 mg/m³ (15 min) (77). Les Pays-Bas ont une VLE égale à 20 mg/m³ (8h) (78). Cette valeur a été dérivée en appliquant un facteur de sécurité de 10 sur le NOAEL de 200 mg/m³ concernant la dégénérescence de l'épithélium de la région olfactive par inhalation chez le rat dans une étude subchronique. Le DECOS⁴⁶ justifie ainsi ce facteur de sécurité : un facteur de 3 pour prendre en compte les variations individuelles chez l'humain, un autre facteur de 3 en raison de l'utilisation d'une étude subchronique⁴⁷ et un facteur unitaire pour l'extrapolation du rat à l'humain (79).

Clary et coll. recommandent une VLE de 75 mg/m³ (8h). Ils justifient en deux temps leur proposition, soit en utilisant un seul facteur de sécurité de 3 appliqué sur le NOAEL de 200 mg/m³ (épithélium nasal) ou en prenant le dixième de la RD₅₀, ce qui donne environ la même valeur (52).

8.2 Environnement

8.2.1 Canada

8.2.1.1 Règlement sur la persistance et la bioaccumulation

Le Règlement sur la persistance et la bioaccumulation spécifie qu'une substance est bioaccumulable si son facteur de bioconcentration est égal ou supérieur à 5 000 (80). Le LE n'est donc pas bioaccumulable en vertu de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE) en raison de son facteur de bioconcentration égal à 3 selon le USNLM (70). Le LE est cependant considéré comme une substance « persistante » selon le même règlement si l'on considère que sa demi-vie dans l'atmosphère est égale à 3,7 jours (70), le seuil maximal du règlement étant fixé à 2 jours (80).

8.2.1.2 Liste intérieure des substances (LIS)

Le LE fait partie de la LIS⁴⁸ si l'on utilise le n^o CAS 97-64-3, c'est-à-dire celui correspondant au mélange racémique du LE. Par contre, si l'on utilise le n^o CAS 687-47-8, c'est-à-dire celui

⁴⁶ Dutch Expert Committee on Occupational Standards

⁴⁷ traduction du texte suivant : « ...a factor of 3 due to variability in the exposure duration ».

⁴⁸ http://www.ec.gc.ca/substances/nsb/fra/cas_f.htm mise à jour du 2004-09-13

correspondant à l'énantiomère que l'on retrouve dans le commerce, la LIS n'en fait pas mention. La LIS a été créée pour répondre à l'une des exigences de la LCPE. 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 sur les renseignements concernant les substances nouvelles⁴⁹).

8.2.1.3 Règlement sur le transport des marchandises dangereuses (TMD)

Le LE fait partie de la classe 3 (liquides inflammables et combustibles) et du groupe d'emballage III (niveau de danger faible) en vertu du TMD (81).

8.2.1.4 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. Le LE ne figure pas sur les listes actuelles des substances d'intérêt prioritaire⁵⁰, comprenant au total 69 substances ou familles de substances.

8.2.2 Québec

8.2.2.1 Règlement sur la qualité de l'atmosphère

Le LE n'est pas un « solvant organique photochimiquement réactif » 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 dans l'atmosphère plus de 1 400 kg par jour ou 200 kg par heure de LE dans le cas où ce solvant n'est pas soumis à un procédé de cuisson ou n'entre pas en contact avec une flamme (82).

8.2.2.2 Règlement sur les matières dangereuses

Le 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 (83, 84). Notons que le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) se réfère au RepTox pour la classification SIMDUT⁵¹. Tel qu'indiqué au § 8.1, la fiche toxicologique du RepTox pour le LE indique que cette substance doit être classée dans les catégories B3 du SIMDUT. En conséquence le LE doit être considéré comme « matière toxique » en vertu de l'article 3 du Règlement sur les matières dangereuses.

⁴⁹ <http://lois.justice.gc.ca/fr/C-15.31/DORS-94-260/>

⁵⁰ <http://www.ec.gc.ca/substances/ese/fre/pesip/psap.cfm> page Web visitée le 2004-10-07

⁵¹ S. St-Laurent, MDDEP, conversation téléphonique, 1997/06/19

8.2.3 Ville de Montréal

La Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) a adopté le 14 novembre 2001 les règlements 87 et 90 de l'ancienne Communauté urbaine de Montréal (CUM). Ces règlements s'appliquent désormais sur l'ensemble de l'île de Montréal. Dans la CMM à l'extérieur de Montréal, ce sont les règlements existants des villes (eaux usées) et du MDDEP (air) qui s'appliquent encore et qui sont contrôlés par ces autorités. Ces règlements deviendront caducs lorsque la CMM adoptera ses propres règlements sur l'assainissement des eaux usées et de l'air⁵².

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

Le LE utilisé dans certaines activités industrielles telles que l'application de peinture au pistolet et le dégraissage de pièces métalliques, est assujéti à l'article 6 du Règlement 90⁵³ (85). Cette disposition du règlement impose une réduction de l'émission 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)

La demande biochimique en oxygène cinq jours (DBO₅) du LE est égale à 0,60 mg d'O₂/mg de LE (72). Le seuil maximal du Règlement 87 étant une DBO₅ de 30 mg/L d'effluent, l'alinéa 5 de l'article 11 du règlement 87 s'applique à cette substance pure⁵⁴ (86). Il est donc interdit de rejeter ce solvant dans un réseau d'égout pluvial de la Ville de Montréal.

9.0 Prévention

9.1 Premiers secours

Les consignes présentées dans cette section ont été élaborées en référence au document de Callaghan et Cooper (87) et à l'aide de la base de données ChemInfo⁵⁵ du Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST) (88).

9.1.1 Projection cutanée

La projection cutanée de LE exige l'enlèvement des vêtements contaminés et le lavage minutieux de la peau exposée à l'eau pendant cinq minutes. Une expertise médicale peut être nécessaire si l'irritation ou la douleur persistent.

⁵² <http://www.cmm.qc.ca> (voir « Publications » puis « Documents institutionnels »)

⁵³ http://www.cmm.qc.ca/publications/documentsinsti/reglements/09_1.pdf

⁵⁴ http://www.cmm.qc.ca/publications/documentsinsti/reglements/08_1.pdf

⁵⁵ <http://ccinfoweb.ccohs.ca> page Web visitée le 2004-09-24

9.1.2 Projection oculaire

La projection oculaire de LE exige l'irrigation immédiate de l'œil contaminé avec de l'eau tiède pour une période minimale de vingt minutes. Le patient doit être amené dans une clinique médicale si l'irritation, la douleur, l'enflure ou le larmolement persistent.

9.1.3 Inhalation

Aucun effet important n'est envisagé à part l'irritation des voies respiratoire. Si le travailleur est incommodé par les vapeurs de LE, il convient de le retirer de la source d'exposition et de l'amener à l'extérieur. Si les symptômes d'intoxication persistent, une expertise médicale est recommandée.

9.1.4 Ingestion

S'il y a irritation ou inconfort, une expertise médicale immédiate est recommandée.

9.2 Fuites accidentelles

En cas de fuites accidentelles de LE, les fabricants Purac (89) et ADM (90) suggèrent des procédures générales concernant les solvants organiques telles que l'élimination des sources d'ignition, le colmatage des fuites s'il est sécuritaire de le faire, le ramassage du LE à l'aide d'un absorbant non combustible comme du sable et sa mise en fût et subséquemment au rebut. Le nettoyage des résidus de LE sur le sol est effectué à grande eau. Le port d'équipement de protection individuelle telles que des lunettes à coques étanches est également suggéré. Le CCHST ajoute d'autres consignes comme celles d'empêcher le liquide de ruisseler vers les égouts ou les cours d'eau et de ventiler les lieux si nécessaire (88).

9.3 Manipulation et stockage

La société Purac utilise des contenants en polyéthylène haute densité pour son LE. Elle les purge avec de l'azote ou à l'argon afin de prévenir l'oxydation et recommande à ses clients de faire de même avec les contenants de LE partiellement utilisés (89). L'INRS (France) soutient que le LE peut être stocké dans des récipients en fer, acier doux ou aluminium alors que le cuivre n'est pas recommandé car ce métal serait sensible à la corrosion due à la présence éventuelle de traces d'acide lactique (17).

Comme pour tout solvant organique inflammable ou combustible, la manipulation du LE exige le respect des règles de l'art de la sécurité industrielle telles que la liaison électrique et la mise à la terre des contenants lors du transvasement (91). Le lecteur est prié de se référer au Code des liquides inflammables et combustibles (92) pour la gestion du LE, tel qu'exigé par l'article 82 (matières inflammables et combustibles à l'état liquide) du Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) (93).

9.4 Équipement de protection personnelle

Pour éviter le contact cutané avec le LE, le fabricant Purac recommande l'utilisation de gants en poly(alcool vinylique)⁵⁶ (PVA) ou des gants 4H⁵⁷, possédant cinq épaisseurs d'un revêtement de polyéthylène (PE) et de copolymère de l'éthylène et d'alcool vinylique (EVOH) (89). La ganterie Best (Coaticook, QC) fait la même recommandation que celle de Purac⁵⁸. Le logiciel ezGuideTM de la ganterie North Safety Products (Cranston, RI) propose un gant en latex pour travailler avec le LE (temps de claquage = 1,3 heure; taux de perméation = 1,07 mg/cm²/sec) (94).

Le logiciel de prédiction de la résistance des gants élaboré par Perron et coll. (95) a été utilisé pour évaluer la performance des polymères suivants vis-à-vis le LE : caoutchouc butyle⁵⁹, latex, néoprène⁶⁰, Viton^{®61}. Ils se sont tous avérés théoriquement résistants au solvant en question⁶². Bien que cette méthode n'exclut pas les autres types de gants, elle indique ceux à mettre sur banc d'essai en entreprise.

9.5 Élimination des déchets

Le fabricant Purac soutient que le LE peut être éliminé par incinération lorsque la réglementation locale le permet (96). Le logiciel en ligne « Solvent Alternatives Guide »⁶³ (SAGE) propose également l'incinération.

9.6 Recyclage

Suite à des essais à petite échelle avec du LE usé ayant servi au dégraissage de pièces métalliques, Trychta et coll. soutiennent que ce solvant peut être recyclé économiquement par distillation sous vide (20 à 25 torr), à une température se situant entre 80 et 85 °C. La quantité d'acide lactique produite par hydrolyse serait très faible (28). Le logiciel SAGE propose la distillation mais également la filtration pour le recyclage du LE.

9.7 Échantillonnage et analyse

L'Occupational Safety & Health Administration (OSHA) possède une méthode d'échantillonnage et d'analyse pour le LE. Le prélèvement se fait sur tube de charbon actif avec analyse par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme (97).

⁵⁶ Voir p. ex. <http://www.ansellpro.com>

⁵⁷ Silver Shield 4H, voir : <http://www.northsafety.com>

⁵⁸ Gilles Fullum, Ganterie Best, communication personnelle, 2004-09-03

⁵⁹ Copolymère de l'isobutylène et de l'isoprène

⁶⁰ Polychloroprène élaboré originalement par DuPont, Wilmington, DE

⁶¹ Copolymère de fluorure de vinylidène et d'hexafluoropropylène, fabriqué par DuPont, Wilmington, DE

⁶² J. Lara, IRSST, communication personnelle avec Charles Beaudry, UdeM/DSEST, 2004-09-23

⁶³ <http://clean.rti.org/>

9.8 Surveillance biologique de l'exposition

Aucune méthode de surveillance biologique de l'exposition au LE n'a été identifiée dans la littérature.

9.9 Surveillance médicale

Aucun protocole de surveillance médicale spécifique au LE n'a été identifié dans la littérature. Cependant, en fonction de ce qui a été rapporté au § 6, on devrait porter une attention particulière à l'état des muqueuses. D'après Axelson et Hogstedt, les examens médicaux tels que les analyses sanguines ou de la fonction hépatique pour les effets autres que les atteintes du système nerveux seraient généralement peu utiles dans le cas des solvants organiques (98). White et Proctor ainsi que Spurgeon font une revue des tests psychométriques utiles dans le diagnostic des atteintes chroniques du système nerveux dues aux solvants (99, 100). Le médecin du travail peut également se référer au protocole général de surveillance médicale pour les solvants industriels élaboré par les équipes du réseau public québécois de santé au travail (101).

10.0 Discussion

10.1 Aspects techniques et péculiaires

La fabrication du LE à partir de ressources renouvelables est sans contredit un aspect important de sa réapparition comme solvant industriel dans les dernières années. De plus, son prix se rapproche de ceux des solvants oxygénés ou chlorés qu'il peut remplacer efficacement. Même si les coupes pétrolières demeurent toujours peu dispendieuses, le LE, en combinaison avec d'autres solvants issus de ressources renouvelables comme le SM, s'est avéré être un solvant techniquement supérieur pour le dégraissage métallique dans le contexte d'un atelier d'usinage (28). Comme la plupart des « nouveaux » solvants, le LE est presque toujours utilisé en combinaison avec d'autres solvants pour en améliorer les propriétés ou en réduire le coût. Son utilisation exige parfois des changements de procédure de travail en raison de son taux d'évaporation plus long comparativement à certains solvants qu'il vise à remplacer comme la MEK ou le DCM.

Malgré le manque d'étude à cet effet, nous sommes d'avis que l'emploi du mélange LE et SM pour le nettoyage des presses offset pourrait s'avérer aussi intéressant des points de vue technique et péculaire que les nettoyants à base végétale promus depuis plusieurs années en Europe (102). Ce mélange nécessiterait probablement moins de changement de méthode de travail de nettoyage que celui exigé par l'emploi de ces derniers.

L'étude de substitution de décapant de Battelle a été menée à 75 et 90 °C (31). Ces températures sont nettement trop élevées pour le LE en regard de son point d'éclair se situant entre 46 et 49 °C sur la fiche signalétique en annexe du document de Battelle.

10.2 Hygiène et toxicologie industrielles

Presque toutes les fiches signalétiques concernant le LE mentionnent le n° CAS 97-64-3, c'est-à-dire le mélange racémique du LE. Seule la société Purac donne le n° CAS 687-47-8, correspondant à l'énantiomère « S ». Étant donné que la grande majorité du LE produit actuellement est fabriqué par fermentation de glucides, le LE que l'on retrouve sur le marché est de la forme « S ». Il s'en suit que la plupart des fiches signalétiques sont erronées car les produits commerciaux ne contiennent pas d'énantiomère « R » dont le n° CAS est le suivant : 7699-00-5. Cette constatation peut sembler insignifiante car les propriétés physico-chimiques des deux énantiomères sont les mêmes, à l'exception des propriétés douées d'un caractère chiral. Elle devient toutefois importante si l'on pense au devenir métabolique du LE dans l'organisme humain. Sachant que le LE s'hydrolyse rapidement dans l'organisme, il s'en suit que le mélange racémique engendrerait les deux formes « S » et « R » de l'acide lactique alors que la forme « S » de LE ne générerait qu'un seul isomère. On sait que l'acide lactique naturel est de la forme « S », son métabolisme étant bien connu. Par contre, la forme « R » ne serait pas métabolisée dans l'organisme par la déshydrogénase L-lactique, celle-ci étant stéréospécifique⁶⁴. Sans préjuger de la toxicité de la forme « R » de l'acide lactique, il serait important pour les fournisseurs de LE de bien identifier leur solvant.

La littérature rapporte des seuils de détection olfactive variant de 0,89 mg/m³ à 67,62 mg/m³ (voir Annexe I). La valeur de 67,62 mg/m³ (322 ppm) proposée par Ruth (103) semble erronée au vu de l'expérience de Trychta et coll. réalisée en atelier d'usinage et d'entretien mécanique où les travailleurs ont décelé sa présence à des niveaux beaucoup plus faible (28). La valeur de 0,34 mg/m³ proposée par Rousselin et coll. (104), avoisinant celles des fabricants Purac et Vertec (0,89 mg/m³), est probablement plus proche de la réalité. Ces valeurs de seuil font du LE un solvant possédant une très bonne caractéristique de détection en milieu de travail en regard des valeurs limites d'exposition professionnelle établies en Europe (20 ou 25 mg/m³; voir § 8.1). Le corollaire de cette constatation est l'odeur plutôt forte du LE tel que mentionné par Kanegsberg⁶⁵, exigeant une bonne ventilation pour sa mise en œuvre. À l'opposé, Flick affirme que le LE pur est pratiquement inodore. L'odeur désagréable viendrait de la présence de lactides issus de la fabrication de l'acide lactique par fermentation (105). Une expérience limitée en milieu de travail, sans mesurage, effectuée par l'un des auteurs de la présente monographie, confirme l'odeur pénétrante du LE, source potentielle d'un problème d'acceptabilité après des utilisateurs.

Les points d'éclair rapportés dans la littérature varient de 46 à 61 °C (voir Annexe I). La valeur de 61 °C est rapportée par le fabricant Purac (106) qui spécifie la nature de la méthode utilisée pour sa détermination, soit la méthode ASTM D93⁶⁶. Or le point d'éclair du LE doit être mesuré selon la méthode ASTM D56⁶⁷, tel qu'exigé par le Règlement sur les produits contrôlés (SIMDUT) (83). La méthode ASTM D93 est plus adaptée aux liquides tels que les peintures alors que la méthode ASTM D56 est appropriée pour les solvants. La National Fire Protection

⁶⁴ Voir le site Web de l'Institut suisse de bioinformatique : <http://www.expasy.org/cgi-bin/nicezyme.pl?1.1.1.27> visité le 2004-10-07

⁶⁵ Barbara Kanegsberg (BFK Solutions), message posté le 1995-11-04 dans le groupe de nouvelles par Internet <news:sci.engr.manufacturing>

⁶⁶ Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester. Voir : <http://www.astm.org>

⁶⁷ Standard Test Method for Flash Point by Tag Closed Cup Tester. Voir : <http://www.astm.org>

Association (NFPA) rapporte un point d'éclair de 46 °C sans toutefois mentionner spécifiquement la méthode utilisée sauf pour la coupelle fermée (107). On en déduit cependant qu'il s'agit de la méthode ASTM D56 en lisant la norme NFPA 325⁶⁸ (alinéa 1-3.3 référant à NFPA 321⁶⁹) d'où provient cette valeur (107). Que le point d'éclair soit 46 ou 61 °C ne change rien quant à sa classification comme liquide combustible dans le SIMDUT mais il en va autrement pour le nouveau SGH⁷⁰ des Nations unies (55), dont la mise en œuvre intégrale au Canada est prévue au plus tard pour décembre 2008⁷¹. Un point d'éclair de 46 °C place le LE dans la catégorie 3 des liquides inflammables du SGH alors qu'un point d'éclair de 61 °C le placerait dans la catégorie 4 (55). De plus, sa gestion en vertu de l'article 82 du RSST serait également différente. En effet cet article exige l'application du Code des liquides inflammables et combustibles de la NFPA (92) qui place le LE dans sa catégorie II des liquides combustibles si son point d'éclair est de 46 °C alors qu'il serait classé dans sa catégorie IIIA si son point d'éclair est de 61 °C.

Trychta et coll. rapportent une concentration de 6 ppm de LE sur une période 50 minutes dans la zone respiratoire d'un travailleur effectuant du dégraissage de pièces métalliques avec un mélange de LE et de SM (28). On sait par ailleurs que la Suède possède une valeur limite de 5 ppm (8h) et 10 ppm (15 min) pour le LE. Si l'on applique à ces valeurs les consignes de l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (108) ou celles du RSST (Annexe I, 15^e note) (93) concernant les valeurs limites de courte durée, il s'en suit que le niveau de 6 ppm rapporté par Trychta et coll. ne respecterait pas les valeurs limites en question. Dans une publication antérieure, Trychta et coll. rapportent des niveaux dans la zone respiratoire variant de 20 à 70 ppm lors du dégraissage de pièces métalliques avec du LE pur dans un environnement non ventilé et de 10 à 35 ppm dans un environnement ventilé. La norme suédoise serait alors dépassée dans les deux cas.

La partie de l'étude de Prottey et coll. résumée au § 6.2 n'est pas vraiment une étude d'absorption car les auteurs n'ont pas mesuré la radioactivité ailleurs que dans la peau. De plus elle a été mesurée de façon indirecte par autoradiographie, ce qui donne des résultats semi-quantitatifs (57). Rappelons que l'absorption cutanée est définie comme le mouvement des substances de la surface extérieure de la peau vers la circulation systémique (109). Nous considérons donc que l'article de Prottey et coll. ne peut être invoqué comme preuve du passage percutané du LE.

Il faut souligner qu'il existe peu de données toxicologiques concernant le solvant à l'étude. La grande majorité des données toxicologiques sont tirées des deux articles de Clary et coll. qui résument des études non publiées (52, 66). Les documents-critères servant à proposer des valeurs limites d'exposition professionnelle pour le LE en Scandinavie et aux Pays-Bas sont basés en grande partie sur la plus ancienne des publications de Clary et coll. (49, 61, 79, 110). Le comité FAO/OMS jugeant le LE très peu toxique s'est aussi référé à cette étude de Clary et coll. (50). À la décharge de Clary et coll. il faut toutefois souligner qu'ils invitent le lecteur à les contacter pour obtenir copie des études non publiées en question (52).

⁶⁸ Guide to Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids. Voir : <http://www.nfpa.org>

⁶⁹ Standard on Basic Classification of Flammable and Combustible Liquids

⁷⁰ http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_f.html

⁷¹ <http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/sgh/>

L'étude résumée par Clary et coll. (52) concernant la toxicité du LE sur le développement par voie cutanée chez le rat (§ 6.10) souffre d'une lacune importante pour son interprétation à savoir que l'on ne connaît pas la cinétique d'absorption cutanée du LE.

Sans doute pour justifier leur recommandation de VLE de 75 mg/m³ pour le LE, Clary et coll. affirment que le 1/10 des RD₅₀ est généralement bien corrélé avec les valeurs limites dans le cas des irritants sensoriels (52). Après vérification dans la publication justifiant leurs dires (111), il y a deux points à préciser : 1) Kane et coll. présentent leur modèle pour proposer des valeurs limites temporaires, en attendant des études toxicologiques plus poussées et 2) le 1/10 de la RD₅₀ serait le plus haut niveau permis, c'est-à-dire une valeur plafond. Il n'est donc pas justifié de simplement diviser par dix la RD₅₀ (750 à 800 mg/m³) du LE et de présenter le résultat comme une concentration moyenne admissible sur 8h. Dans un article récent et en considérant une base de données toxicologiques plus imposante que celle de Kane et coll., Schaper a calculé une excellente corrélation des Threshold Limit Values (TLV) de l'ACGIH avec 0,03 x RD₅₀ (112), ce qui donnerait une VLE de 22,5 à 24 mg/m³ pour le LE.

L'étude *in vitro* de Steele et coll. (68) à partir d'embryons de poulet ne peut pas être considérée comme valide pour juger de la toxicité du LE sur le développement. D'abord les auteurs ont utilisé un mélange de LE avec d'autres substances et ensuite parce qu'il est désormais admis que « ce modèle conduit à trop de résultats faux-positifs en raison de l'absence de placenta et de sa sensibilité à des facteurs non-spécifiques » (113).

Afin de dériver sa valeur limite d'exposition professionnelle sur 8h pour le LE, le DECOS utilise un facteur d'incertitude de 10 appliqué à un NOAEL subchronique de 200 mg/m³ chez le rat, pour un effet local sur l'épithélium de la région olfactive. Ce facteur de 10 est décomposé en 3 x 3 x 1. Le fait d'attribuer un facteur de 3 pour prendre en compte les variations interindividuelles chez l'humain alors que le DECOS n'attribue qu'un facteur unitaire pour l'extrapolation du rat à l'humain semble illogique. Sans donner de détails, le DECOS semble justifier le facteur 1 par la nature même de l'effet critique considéré, à savoir la dégénérescence de l'épithélium de la région olfactive (79). Une autre justification possible aurait pu être le fait que l'hydrolyse de certains esters comme les DBE a été jugée moins importante dans le tissu nasal humain que dans celui des rats (114).

Bien que les gants en PVA soient recommandés par le fabricant Purac et par la ganterie Best pour leur résistance au LE, ce type de gants n'est certainement pas approprié dans le cas de la présence concomitante d'eau. Le PVA est en effet soluble dans l'eau (115). La société Ansell, fabricant de gants en PVA, met d'ailleurs en garde l'utilisateur dans une telle situation⁷². La ganterie North Safety Products suggère l'utilisation de gants en latex. Cette recommandation nous paraît discutable car les gants en caoutchouc naturel ne sont pas recommandés pour les esters et la plupart des autres solvants organiques (116).

⁷² <http://www.ansellpro.com/main/productSearch3.asp?pid=103>

10.3 Environnement

Étant fabriqué à partir de ressources renouvelables, facilement biodégradable et non bioaccumulable, le LE est incontestablement un solvant « vert ». Le Règlement sur la persistance et la bioaccumulation, pris en vertu de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement, le considère toutefois comme persistant dans l'air extérieur ($t_{1/2} = 3,7$ j) (80). Ce critère est cependant sévère comparativement à l'Union européenne où une substance est considérée non persistante si sa demi-vie est inférieure à 30 jours dans un compartiment environnemental donné (117).

11.0 Axes potentiels de recherche

Des études toxicologiques expérimentales devaient être entreprises pour documenter l'absorption, la distribution, le métabolisme et l'élimination du LE dans un modèle animal. L'exposition professionnelle au LE devrait faire l'objet de mesurage. Des essais en laboratoire devraient être réalisés pour préciser la nature des vêtements de protection personnelle à recommander. Le point d'éclair du LE selon la méthode ASTM D56 devrait être mesuré. Le seuil de détection olfactive du LE dans l'air devrait être déterminé dans une étude contrôlée chez des volontaires, en tenant compte de la présence d'impuretés.

12.0 Conclusion

Considérant la faible toxicité du LE chez l'humain et l'environnement, ce solvant constitue un produit de remplacement acceptable pour des solvants plus toxiques comme le DCM. Une ventilation adéquate est toutefois nécessaire. Le port de gants et de lunettes protectrices est également indiqué. Pour assurer son succès, tout projet de substitution de solvant doit être bien planifié. Bégin et Gérin ont d'ailleurs proposé une démarche en neuf étapes pour garantir la réussite de l'entreprise (118, 119).

13.0 Références

- [1] Bray, R.G. (August 2003) **Report No. 206A - Bio-Based Solvents**. SRI Consulting, Process Economics Program, Menlo Park, CA
 - [2] Bégin, D. (1995) Utilisation des solvants et exposition professionnelle au Québec. **Travail et santé** **11**(2):13-15
 - [3] 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
 - [4] Gérin, M., Ed. (2002) **Solvants industriels : Santé, sécurité, substitution**. Masson, Paris
 - [5] Bégin, D.; Gérin, M. (1999) **La substitution des solvants par les esters d'acides dicarboxyliques (DBE) : Adipate diméthylrique, glutarate diméthylrique, succinate diméthylrique**. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (Rapport B-056), Montréal
 - [6] Bégin, D.; Gérin, M. (1999) **La substitution des solvants par le d-limonène**. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (Rapport B-057), Montréal
-

- [7] Bégin, D.; Gérin, M. (1999) **La substitution des solvants par la N-méthyl-2-pyrrolidone**. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (Rapport B-058), Montréal
- [8] Bégin, D.; Lavoué, J.; Gérin, M. (2002) **La substitution des solvants par le diméthylsulfoxyde**. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (Rapport B-062), Montréal, QC
- [9] Bégin, D.; Gérin, M. (2002) **Le 1-bromopropane et la substitution des solvants**. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (Rapport B-063), Montréal, QC
- [10] Lavoué, J.; Bégin, D.; Gérin, M. (2002) **La substitution des solvants par les nettoyeurs aqueux - Le dégraissage des métaux**. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (Rapport B-064), Montréal, QC
- [11] Bégin, D.; Moumen, M.; Gérin, M. (B-068) **La substitution des solvants par l'alcool benzylique**. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal
- [12] Bégin, D.; Beaudry, C.; Gérin, M. (B-070) **La substitution des solvants par le carbonate de propylène**. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal
- [13] Opdyke, D.L.J.; Letizia, C. (1982) Fragrance raw materials monographs: Ethyl Lactate. **Food and Chemical Toxicology** **20**:677-678
- [14] Chahal, S.P. (2000) *Lactic Acid*. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (On-Line)**, Wiley-VCH, Weinheim
- [15] Alex, S.; Biasotto, F.; Lapointe, S. (2004) Les produits à base bio au secours de l'emballage. **Chimiste** **19**(2):6-7
- [16] Vink, E.T.H. (2003) *Building a Sustainable Business System for the Production of Polylactide (PLA) Polymer*. In: **Polymerix 2003 - Biopolymers: Health, Food & Cosmetics Applications**, Rennes, 21-22 May 2003, pp. 19. CBB Développement, Rennes
- [17] INRS (2001) Fiche toxicologique n° 240 : Lactate d'éthyle. **Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail N° 184**:117-120
- [18] Bureau de la traduction (2004) **Termium - La base de données terminologiques et linguistique du gouvernement du Canada**. Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, Gatineau, QC
- [19] USEPA (1998) **1998 Alternative Solvents/Reaction Conditions Award: Argonne National Laboratory - Novel Membrane-Based Process for Producing Lactate Esters, Nontoxic Replacements for Halogenated and Toxic Solvents**. United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics, Presidential Green Chemistry Challenge Awards Program, Washington, DC
- [20] Mouché, C. (1999) Army Tests Enviro-Friendly Solvent Alternative. **Pollution Engineering** **31**(9):35
- [21] ADM (2004) **Ethyl Lactate, FCC**. Archer Daniels Midland Company, Decatur, IL
- [22] NRC (1981) **Food Chemical Codex**. Committee on Codex Specifications, Food and Nutrition Board, Division of Biological Sciences, Assembly of Life Sciences, National Research Council. National Academy Press, Washington, DC
- [23] Doolittle, A.K. (1935) Lacquer Solvents in Commercial Use. **Industrial and Engineering Chemistry** **27**(10):1169-1179
- [24] Fabre, R. (1942) **Les solvants industriels**. Hermann & C^{ie}, Paris
- [25] Stoye, D. (2000) *Solvents*. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (On-Line)**, VCH, New York, NY
- [26] USFDA (2000) **Code of Federal Regulations Title 21 Food and Drugs, Chapter I, § 172.515 Synthetic flavoring substances and adjuvants**. United States Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Washington, DC

- [27] White, D.L.; Bardole, J.A. (4 December 2000) *Paint and Finish Removers*. In: **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (On-Line)**, John Wiley & Sons, New York, NY
- [28] Trychta, K.; Sandberg, D.A.; Henry, M. (2001) Evaluation of an Ethyl Lactate Solvent Blend for Machine Shop Parts Cleaning and Degreasing. **Pollution Prevention Review** 11(4):33-44
- [29] Hill, E.A.; Carter, K.D. (1993) Using Ethyl Lactate for Precision Cleaning of Metal Surfaces. **Microcontamination** 11(10):27-31
- [30] Collier, R.P.; Drotleff, E.; Mangaraj, D. (1993) **Summary Report - Contract No. F04606-89-D-0034/Q804 - Identification of Biodegradable/Environmentally Compatible Methods for Epoxy Removal - Phase I, to the Aerospace Guidance and Metrology Center, Newark Air Force Base**. Battelle, Columbus, OH
- [31] Battelle (1995) **Report - Identification of Biodegradable, Environmentally Compatible Methods of Epoxy Removal - Phase II, to Aerospace Guidance and Metrology Center (AGMC), Newark Air Force Base, Ohio**. Battelle, Columbus, OH
- [32] Vertec (2003) **The Green Formulary Guide**. Vertec Biosolvents, Inc., Downers Grove, IL
- [33] Carstensen, M. (1997) **Biochemicals for the Printing Industry**. Institute for Local Self-Reliance, Minneapolis, MN
- [34] Huntsman (1995) **JEFFSOL™ Carbonates Comparative Solvents Data**. Huntsman Corporation, Houston, TX
- [35] USEPA (1994) **Cleaner Technologies Substitutes Assessment: Screen Printing Screen Reclamation (Draft)**. United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics, Design for the Environment Program (EPA 744R-94-005), Washington, DC
- [36] Hill, E.A.; Carter, K.D., Jr. (1993) *An Alternative to Chlorinated Solvents for Cleaning Metal Parts*. In: **The 1993 International CFC and Halon Alternatives Conference - Stratospheric Ozone Protection for the 90's**, Washington, DC, 20-22 October 1993, pp. 465-471. The Alliance for Responsible CFC Policy, Frederick, MD
- [37] Trychta, K.; Sandberg, D.A.; Henry, M.; Datta, R. (1999) **Evaluation of Environmentally Benign "Green" Solvent Versol™ Ethyl Lactate for Machine Shop Parts Cleaning and Degreasing**. Argonne National Laboratory, Argonne, IL
- [38] Grendahl, S.M.; Chin, W.K.; Isaac, C. (2001) **Adhesive Bonding Performance of Aerospace Materials Prepared With Alternative Solvents**. United States Army Research Laboratory (Report No. ARL-TR-2614), Aberdeen Proving Ground, MD
- [39] Marshall, J.; Wilcox, H. (2003) Bio-Based Solvents... How Well Do They Work? **CleanTech** 3(10):17-23
- [40] Weltman, H.J.; Phillips, T.L. (1992) *Environmentally Compliant Wipe-Solvent Development*. In: **Aerotech'92**, Anaheim, CA, 5-8 October 1992, pp. 1-10. Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA
- [41] Chem-Tel (Tampa FL) (13 February 2003) **DS-108 Wipe Solvent**. Dynamold Solvents, Fort Worth, TX
- [42] Williams, M.E.; Baldwin, D.G.; Manz, P.C. (1995) **Semiconductor Industrial Hygiene Handbook - Monitoring, Ventilation, Equipment and Ergonomics**. Noyes Publications, Park Ridge, NJ
- [43] Cummins, M. (1999) *Substitution of Organic Solvents in Ireland*. In: **Substitution of Organic Solvents from the view of Occupational Safety and Health: Information-Needs in**
-

- EU Member States and Industries**, Hamburg, 11-12 October 1999, L. Lißner, Ed. Kooperationsstelle in cooperation with Hans-Böckler-Stiftung, Hamburg
- [44] Boggs, A. (1989) A Comparative Risk Assessment of Casting Solvents for Positive Photoresist. **Applied Industrial Hygiene** 4(4):81-87
- [45] IPC (1999) **Post Solder Solvent Cleaning Handbook**. IPC - Association Connecting Electronics Industries (IPC-SC-60A), Northbrook, IL
- [46] Desai, J.; Barry, C.M.F.; Mead, J.L.; Stacer, R.G. (2001) *Solvent Welding of ABS and HIPS - A Case Study in Methylene Chloride Substitution*. In: **59TH Annual Technical Conference - ANTEC 2001 Conference Proceedings Volume I - Processing**, Dallas, TX, 6-10 May 2001, pp. 1190-1194. M. Kozak, Ed. Society of Plastics Engineers, Brookfield, CT
- [47] Nikles, S.M.; Piao, M.; Alan, A.M.; Nikles, D.E. (2001) Ethyl lactate: a green solvent for magnetic tape coating. **Green Chemistry** 3(3):109-113
- [48] Seta, J.A.; Sundin, D.S.; Pedersen, D.H. (1988) **National Occupational Exposure Survey Field Guidelines**. National Institute for Occupational Safety and Health (DHHS (NIOSH) Publication No. 88-106), Cincinnati, OH
- [49] Holmberg, B., Chairman (1995) Scientific Basis for Swedish Occupational Standards XVI: Consensus Report for Lactates. **Arbete och Hälsa N° 19**:68-73
- [50] Abbott, P.J.; Renwick, A.G.; Sipes, I.G. (2002) **WHO Food Additives Series: 48 - Safety Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants - Aliphatic Acyclic Diols, Triols, and Related Substances**. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, International Programme on Chemical Safety, World Health Organization, Geneva
- [51] Fiume, M.Z. (1998) Final Report on the Safety Assessment of Glycolic Acid, Ammonium, Calcium, Potassium, and Sodium Glycolates, Methyl, Ethyl, Propyl, and Butyl Glycolates, and Lactic Acid, Ammonium, Calcium, Potassium, Sodium, and TEA-Lactates, Methyl, Ethyl, Isopropyl, and Butyl Lactates, and Lauryl, Myristyl, and Cetyl Lactates. **International Journal of Toxicology** 17(Supplement 1):1-241
- [52] Clary, J.J.; Feron, V.J.; van Velthuisen, J.A. (1998) Safety Assessment of Lactate Esters. **Regulatory Toxicology and Pharmacology** 27(2):88-97
- [53] Lauwerys, R.R. (1999) **Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles**. Masson, Paris
- [54] OECD (14 August 2001) **Harmonized Integrated Classification System for Human Health and Environmental Hazards of Chemical Substances and Mixtures**. Organisation for Economic Co-operation and Development (ENV/JM/MONO(2001)6), Paris
- [55] ONU (2003) **Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH)**. Organisation des Nations unies (ST/SG/AC.10/30), New York et Genève
- [56] Gosselin, R.E.; Smith, R.P.; Hodge, H.C.; Braddock, J.E. (1984) **Clinical Toxicology of Commercial Products**. Williams & Wilkins, Baltimore, MD
- [57] Prottey, C.; George, D.; Leech, R.W.; Black, J.G.; Howes, D.; Vickers, C.F.H. (1984) The mode of action of ethyl lactate as a treatment for acne. **British Journal of Dermatology** 110:475-485
- [58] Walker, Q.D. (1992) *Ethyl Lactate*. In: **Ethel Browning's Toxicity and Metabolism of Industrial Solvents, Volume III: Alcohols and Esters**, pp. 347-350. R.G. Thurman; F.C. Kauffman, Eds. Elsevier, Amsterdam
- [59] Guyton, A.C. (1982) **Human Physiology and Mechanisms of Disease**. W.B. Saunders, Philadelphia
- [60] Philippe, J.M. (2003) **Physiopathologie des états d'alcoolisation**. Société francophone de médecine d'urgence, Enseignement supérieur Médecins, Paris

- [61] Lundberg, P. (1999) DECOS and SCG Basis for an Occupational Standard: Lactate esters. **Arbete och Hälsa** (9):1-21
- [62] Marot, L.; Grosshans, E. (1987) Allergic contact dermatitis to ethyl lactate. **Contact Dermatitis** 17:45-46
- [63] Latven, A.R.; Molitor, H. (1939) Comparison of the Toxic, Hypnotic and Irritating Properties of Eight Organic Solvents. **Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics** 65:89-94
- [64] Alarie, Y. (1981) *Toxicological Evaluation of Airborne Chemical Irritants and Allergens Using Respiratory Reflex Reactions*. In: **Inhalation Toxicology and Technology Symposium**, Kalamazoo, MI, 23-24 October 1980, pp. 207-231. B.K.J. Leong, Ed. Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, MI
- [65] Graham, C.; Rosenkranz, H.S.; Karol, M.H. (1997) Structure-Activity Model of Chemicals That Cause Human Respiratory Sensitization. **Regulatory Toxicology and Pharmacology** 26:296-306
- [66] Clary, J.J.; Feron, V.J.; van Velthuisen, J.A. (2001) Evaluation of Potential Neurotoxic Effects of Occupational Exposure to (L)-Lactates. **Regulatory Toxicology and Pharmacology** 33(1):21-28
- [67] Maekawa, A.; Matsushima, Y.; Onodera, H.; Shibutani, M.; Yoshida, J.; Kodama, Y.; Kurokawa, Y.; Hayashi, Y. (1991) Long-Term Toxicity/Carcinogenicity Study of Calcium Lactate in F344 Rats. **Food and Chemical Toxicology** 29(9):589-594
- [68] Steele, V.M.; Canning, D.R.; Keller, R.J.; Kraemer, D. (2001) Teratogenicity in Avian Embryo Model System Upon Exposure to Positive Photoresist. **SSA Journal** 15:16-21
- [69] JSR (May 1st, 2000) **Material Safety Data Sheet - Product Name: JSR KRF M20G**. JSR Microelectronics Inc., Sunnyvale, CA
- [70] U.S. NLM (2002) **Ethyl Lactate**. United States National Library of Medicine, Hazardous Substances Data Bank, Bethesda, MD
- [71] OCDE (1993) **Lignes directrices de l'OCDE pour les essais de produits chimiques**. Organisation de coopération et de développement économiques, Paris
- [72] Bowmer, C.T.; Hooftman, R.N.; Hanstveit, A.O.; Venderbosch, P.W.M.; van der Hoeven, N. (1998) The ecotoxicity and biodegradability of lactic acid, alkyl lactate esters and lactate salts. **Chemosphere** 37(7):1317-1333
- [73] NCMS (1997) **SOLV-DB**. National Center for Manufacturing Sciences, Ann Arbor, MI
- [74] Gouvernement du Canada (20 janvier 1988) Liste de divulgation des ingrédients DORS/88-64. **Gazette du Canada Partie II** 122(2):488-545
- [75] CSST (2001) **Lactate d'éthyle**. Commission de la santé et de la sécurité du travail, Service du répertoire toxicologique, Montréal
- [76] SNBOSH (2000) **Occupational Exposure Limit Values and Measures against Air Contaminants (AFS 2000:3)**. Swedish National Board of Occupational Safety and Health, Solna
- [77] MSAH (2002) **HTP-arvot 2002**. Ministry of Social Affairs and Health, Työsuojelusäädöksiä 3, Tampere
- [78] SER (2004) **Dutch OEL Databank**. Sociaal Economische Raad, Subcommissie MAC-waarden, Den Haag
- [79] DECOS (2001) **Lactate esters - Health-based recommended occupational exposure limit**. Dutch Expert Committee on Occupational Standards, Health Council of the Netherlands (publication no. 2001/04OSH), The Hague
- [80] Gouvernement du Canada (29 mars 2000) Règlement sur la persistance et la bioaccumulation. **Gazette du Canada Partie II** 134(7):607-608
-

- [81] Gouvernement du Canada (2004) **Règlement sur le transport des marchandises dangereuses - DORS/2001-286**. Transport Canada, Ottawa
- [82] Gouvernement du Québec (14 novembre 1979) Règlement relatif à la qualité de l'atmosphère. **Gazette officielle du Québec Partie 2, 111(53):6939-6970**
- [83] Gouvernement du Canada (1988) Règlement sur les produits contrôlés (DORS/88-66). **Gazette du Canada Partie II 122(2):551-589**
- [84] Gouvernement du Québec (1997) Règlement sur les matières dangereuses et modifiant diverses dispositions réglementaires. **Gazette officielle du Québec 129(45):6681-6714**
- [85] 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
- [86] 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
- [87] Callaghan, J.M.; Cooper, D.M. (1991) **Fiche technique sur la sécurité des substances - Guide pratique pour l'élaboration des consignes de premiers soins**. Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (P91-4F), Hamilton, ON
- [88] CCOHS (2003) **CHEMINFO: Ethyl lactate**. Canadian Centre for Occupational Health and Safety, Hamilton, ON
- [89] Purac (14 August 2003) **Safety Data Sheet N° SD0310/2003-01**. PURAC America, Inc., Lincolnshire, IL
- [90] ADM (1st September 2004) **Material Safety Data Sheet: Ethyl Lactate, FCC**. Archer Daniels Midland Company, Decatur, IL
- [91] McCaughey, G. (1998) Bonding and grounding - Static situations. **Occupational Safety and Health Canada 14(4):20, 22**
- [92] NFPA (1998) **NFPA 30 - Code des liquides inflammables et combustibles - Édition 1996**. National Fire Protection Association (Quincy, MA). Traduction effectuée sous la direction de la Commission de la santé et de la sécurité du travail. Les Publications du Québec, Sainte-Foy, QC
- [93] Gouvernement du Québec (18 juillet 2001) Règlement sur la santé et la sécurité du travail. **Gazette officielle du Québec, Partie 2, Lois et règlements 133(29):5020-5133**
- [94] North (2002) **ezGuide™ Glove / Respirator Selection Guide Version 2.2**. North Safety Products, Cranston, RI
- [95] Perron, G.; Desnoyers, J.E.; Lara, J. (2002) **Résistance des vêtements de protection aux mélanges de solvants industriels - Développement d'un outil de sélection**. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (Rapport R-305), Montréal
- [96] Purac (2000) **Safety Data Sheet N° EC 93/112: Purasolv® EL**. Purac biochem, Gorinchem, Pays-Bas
- [97] Potter, W. (1994) **Sampling and Analytical Method Number PV2081: Ethyl Lactate**. United States Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration, Salt Lake City, UT
- [98] Axelson, O.; Hogstedt, C. (1994) *The Health Effects of Solvents*. In: **Occupational Medicine**, pp. 764-778. C. Zenz; O.B. Dickerson; E.P. Horvath, Eds. Mosby-Year Book, St-Louis
- [99] White, R.F.; Proctor, S.P. (1997) Solvents and neurotoxicity. **The Lancet 349(9060):1239-1243**
- [100] Spurgeon, A. (2001) **The validity and interpretation of neurobehavioural data obtained in studies to investigate the neurotoxic effects of occupational exposure to mixtures of organic solvents - The feasibility of a benchmarking approach to interpretation**.

Contract Research Report 355/2001 from the United Kingdom Health and Safety Executive to The Institute of Occupational Health, The University of Birmingham, Birmingham, UK.

Published by HSE Books, Sudbury, Suffolk, UK

[101] 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, QC

[102] Lißner, L., Ed. (1997) **SUBSPRINT - Substitution of Organic Solvents in the Printing Industry - Results of a European Innovation Project**. Kooperationsstelle Hamburg, Hamburg

[103] Ruth, J.H. (1986) Odor Thresholds and Irritation Levels of Several Chemical Substances: A Review. **American Industrial Hygiene Association Journal** 47(3):A142-A151

[104] Rousselin, X.; Bosio, E.; Faley, M. (1994) Comparaison des seuils olfactifs de substances chimiques avec des indicateurs de sécurité utilisés en milieu professionnel. **Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail N° 156**:315-328

[105] Flick, E.W. (1998) **Industrial Solvents Handbook**. Noyes Data Corporation, Westwood, NJ

[106] Purac (2000) **Product data (Rev. No. 2/1008): Purasolv® EL**. PURAC America, Lincolnshire, IL

[107] NFPA (1997) **Fire Protection Guide to Hazardous Materials**. National Fire Protection Association, Quincy, MA

[108] ACGIH (2004) **TLVs® and BEIs® Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices**. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH

[109] ECETOC (1993) **Monograph No. 20: Percutaneous Absorption**. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals, Brussels

[110] Lundberg, P. (1999) Consensus Report for Some Lactate Esters. **Arbete och Hälsa** (26):75-82

[111] Kane, L.E.; Barrow, C.S.; Alarie, Y. (1979) A short-term test to predict acceptable levels of exposure to airborne sensory irritants. **American Industrial Hygiene Association Journal** 40(3):207-229

[112] Schaper, M. (1993) Development of a Database for Sensory Irritants and Its Use in Establishing Occupational Exposure Limits. **American Industrial Hygiene Association Journal** 54(9):488-544

[113] Lu, F.C. (1992) **Toxicologie. Données générales, procédures d'évaluation, organes cibles, évaluation du risque**. Masson, Paris

[114] 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

[115] Bost, J. (1985) **Matières plastiques I. Chimie - Applications**. Technique et Documentation (Lavoisier), Paris

[116] Stull, J.O. (2003) *Types of Chemical Protective Clothing*. In: **Chemical Protective Clothing**, Second Edition, pp. 111-174. D.H. Anna, Ed. American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA

[117] Pichard, A.; Bisson, M.; Diderich, R.; Hulot, C.; Lacroix, G.; Lefèvre, J.P.; Lévêque, S.; Magaud, H.; Pepin, G.; Thybaud, E. (2004) **Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques - Méthodologie de renseignement de la fiche -**

- version 4.** Institut national de l'environnement industriel et des risques, Verneuil-en-Halatte, France
- [118] Bégin, D.; Gérin, M. (2001) **Substitution des solvants - Études de cas d'implantation.** Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (R-269), Montréal, QC
- [119] Gérin, M.; Bégin, D. (2002) *Substitution : démarche et outils.* In: **Solvants industriels - Santé, sécurité, substitution**, pp. 39-60. M. Gérin, Ed. Masson, Paris
- [120] Gagné, M.; Fillion, A.M. (2002) **Guide d'utilisation d'une fiche signalétique.** Commission de la santé et de la sécurité du travail, Service du répertoire toxicologique, Montréal
- [121] MDL Information Services Inc. (2004) **Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS).** Canadian Centre for Occupational Health and Safety, Hamilton, ON
- [122] CAS (2004) **SciFinder Scholar.** American Chemical Society, Chemical Abstracts Service, Columbus, OH
- [123] Boit, H.G., Ed. (1977) **Beilsteins Handbuch der Organischen Chemie.** Springer-Verlag, Berlin
- [124] Lide, D.R., Ed. (2002) **CRC Handbook of Chemistry and Physics, 83rd Edition.** CRC Press, Baton Rouge, FL
- [125] Vertec (22 July 2003) **Material Safety Data Sheet: Vertecbio Ethyl Lactate.** Vertec BioSolvents, Inc., Downers Grove, IL
- [126] Purac (14 August 2003) **Safety Data Sheet Ref. SD310/2003-02: Ethyl-(S)-Lactate, PURASOLV[®] EL.** PURAC biochem, Gorinchem, The Netherlands
- [127] Fischetti Jr, F. (2000) *Flavors.* In: **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (On-Line)**, John Wiley & Sons, New York, NY
- [128] Bisesi, M.S. (2001) *Esters of Mono- and Alkenyl Carboxylic Acids and Mono- and Polyalcohols.* In: **Patty's Toxicology, Volume 6**, pp. 543-633. E. Bingham; B. Cohrssen; C.H. Powell, Eds. John Wiley & Sons, New York, NY
- [129] USEPA (2003) **Estimation Program Interface EPI Suite[™] Version 3.11.** United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention & Toxics, Washington, DC
- [130] Riddick, J.A.; Bunger, W.B.; Sakano, T.K. (1986) **Organic Solvents - Physical Properties and Methods of Purification.** A. Weissberger, Ed. John Wiley & Sons, New York, NY
- [131] Stewart, J.H.; Herrick, R.F.; Horowitz, M.; Labato, F.J.; Shapiro, J. (1999) **Industrial-Occupational Hygiene Calculations: A Professional Reference.** Millennium Associates, Westborough, MA
- [132] SRC (2004) **Interactive LogK_{ow} (K_{ow} Win) Demo.** Syracuse Research Corporation, North Syracuse, NY
- [133] Hansen, C.M. (2000) **Hansen Solubility Parameters - A User's Handbook.** CRC Press, Boca Raton, FL
- [134] U.S. Coast Guard (1999) **Chemical Hazards Response Information System: Ethyl Lactate.** United States Coast Guard, Washington, DC
- [135] Dean, J.A. (1999) **Lange's Handbook of Chemistry.** McGraw-Hill, New York, NY
-

Annexe I

Propriétés physico-chimiques⁷³ et de SST du lactate d'éthyle

Propriété	Valeur	Référence
Synonymes	Lactate d'éthyle Ester éthylique de l'acide lactique (S)-2-hydroxypropionate d'éthyle (R)-2-hydroxypropionate d'éthyle D-Lactate d'éthyle L-Lactate d'éthyle DL-Lactate d'éthyle	(17, 121)
Numéro CAS	97-64-3 (mélange racémique) 687-47-8 (S) ⁷⁴ 7699-00-5 (R)	(122)
Numéro RTECS	OD5075000	(121)
Numéro EINECS	202-598-0	(122)
Formule brute	C ₅ H ₁₀ O ₃	(123)
Formule semi-développée	CH ₃ -CH(OH)-CO-O-C ₂ H ₅	
Masse moléculaire	118,13	(124)
État physique	Liquide	(105)
Apparence	Incolore	(105)
Odeur	Pratiquement inodore (la présence de lactides ⁷⁵ peut engendrer une odeur désagréable)	(105)
Seuil de détection olfactive	1,62 ppm 67,62 mg/m ³ 0,89 mg/m ³ = 0,18 ppm 8,0 mg/m ³ 1 mg/m ³ (65 mg/m ³ = niveau désagréable pour 50 % d'un panel)	(104) (103) (125, 126) (127) (49)
Densité	1,0328 g/cm ³ @ 20 °C	(124)
Point de fusion	-26 °C	(124)
Point d'ébullition	154,5 °C	(124)
Tension de vapeur	1,7 mmHg @ 20 °C 3,75 mmHg @ 25 °C	(128) (129)

⁷³ Plusieurs propriétés sont vulgarisées dans le Guide d'utilisation d'une fiche signalétique de la CSST (120)

⁷⁴ S = sinister (en latin) = configuration gauche; R = rectus (en latin) = configuration droite

⁷⁵ Nom générique des éthers doubles cycliques des acides-alcools

Propriété	Valeur	Référence
	5 mmHg = 0,7 kPa @ 30 °C	(130)
Densité de vapeur	4,07	(58)
Concentration de vapeur saturante	2237 ppm @ 20 °C	calculée ⁷⁶
Taux d'évaporation (acétate de butyle normal = 1)	0,214 @ 25 °C	(34)
Taux d'évaporation (éther éthylique = 1)	80	(25)
Point d'éclair (coupelle fermée)	49 °C 47 °C 46 °C 55 °C (qualité technique) 61 °C (ISO 2719) 61 °C (ASTM D93) 59 °C (ASTM D93)	(34) (130) (107) (107) (126) (106) (125)
Limite inférieure d'inflammabilité	1,5 % @ 100 °C 1,6 % @ 100 °C	(107, 126) (125)
Limite supérieure d'inflammabilité	11,4 % @ 100 °C 10,6 % @ 100 °C	(126) (125)
Température d'auto-ignition	400 °C 294 °C	(107) (25)
Coefficient de partage octanol-eau (Log k _{ow})	-0,18 -0,072	(129, 132) (72)
Solubilité dans l'eau	Soluble en toutes proportions	(130)
Solubilité dans les autres liquides	Soluble dans les alcools, cétones, esters, hydrocarbures.	(105)
Paramètres de solubilité de Hansen	$\delta_d = 16,0 \text{ MPa}^{1/2}$ $\delta_p = 7,6 \text{ MPa}^{1/2}$ $\delta_h = 12,5 \text{ MPa}^{1/2}$	(133)
Stabilité	Stable	(134)
Incompatibilité	Acides forts et oxydants	(17)
Constante diélectrique	15,4 @ 30 °C	(135)
Coefficient de Henry	$4,82 \times 10^{-5} \text{ atm} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mole}^{-1}$ @ 25 °C $5,8 \times 10^{-7} \text{ atm} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mole}^{-1}$	(129) (70)
Chaleur latente de vaporisation	46,4 kJ·mol ⁻¹ au point d'ébullition 180 Btu/lb	(130, 135) (28)
Chaleur de combustion (enthalpie de combustion)	-2739,3 kJ·mol ⁻¹ (à pression constante et à 25 °C)	(130)
Tension superficielle	27,98 dyne/cm @ 25 °C 28,90 dyne/cm @ 17,3 °C	(34) (130)

⁷⁶ Concentration de vapeur saturante à une température donnée = $(P_v/P_{\text{atm}}) \times 10^6$ où P_v est la tension de vapeur de la substance à la température donnée et P_{atm} est la pression atmosphérique (131).

Propriété	Valeur	Référence
Viscosité dynamique	1,08 cP @ 25 °C	(34)
	2,44 cP @ 25 °C	(130)
	2,44 mPa · s @ 20 °C	(25)
Facteurs de conversion	1 ppm = 4,8 mg/m ³ @ 25 °C 1 mg/m ³ = 0,21 ppm @ 25 °C	Calculés à partir de la loi des gaz parfaits

Annexe II

Fabricants de lactate d'éthyle*

Archer Daniels Midland Company
4666, Faries Parkway
Decatur, IL 62526
USA
Tél. : 217-424-5200
Télé. : 217-451-2473
<http://www.admworld.com>

Musashino Chemical Laboratory, Ltd
Yaesu-DAIBIRU Bldg.
1-1, Kyobashi 1-Chome, Chuo-ku
Tokyo, Japan
Tél. : 81-3-3274-5501
Télé. : 81-3-3278-9249
<http://www.musashino.com>

PURAC America, Inc.
111, Barclay Blvd.
Lincolnshire, IL 60069
USA
Tél. : 847-634-6330
Télé. : 847-634-1992
<http://www.purac.com>

Vertec BioSolvents, Inc.
1441, Branding Lane, Suite 100
Downers Grove, IL 60515
USA
Tél. : 630-960-0600
Télé. : 630-960-0660
<http://www.vertecbiosolvents.com/>

* Liste non exhaustive.
